

II/4 Leckortung an Rohrleitungen

Dipl.-Ing. Matthias Hübner

1. Ziele

Das gesteigerte Umweltbewusstsein und die laufend verstärkten Umweltauflagen erfordern es, die Lagerung und den Transport wassergefährdender Stoffe auch auf schleichende Leckagen kontinuierlich zu überwachen. Maßnahmen zum Schutz von Gewässer und Boden haben das erklärte Ziel, Verunreinigungen nicht erst entstehen zu lassen. Vermeidungsmaßnahmen sind an der Quelle anzusetzen. Das Vorsorgeprinzip hat Vorrang.

Besonders im Bereich der chemischen Industrie, für Pipelines, Produktenleitungen, Gas- und Flüssiggasleitungen, Erdgasröhrenanlagen, Unterflurbetankungsanlagen und Lagertanks wird heute eine leistungsfähige und langzeitbewährte Lecküberwachung benötigt.

Während plötzlich auftretende Lecks meist relativ leicht festgestellt werden, ist die Erkennung und Lokalisierung kleinster und schleichender, aber auf Dauer ebenso schädlicher Leckagen ohne besondere Maßnahmen kaum möglich. Eine Lösung ist das Leckage-Erkennung- und Ortungssystem LEOS.

2. Systemtechnik

LEOS ist ein Messverfahren, das in der Lage ist, Gase, Dämpfe und Flüssigkeiten oder in Wasser gelöste Substanzen in der Umgebung eines Sensorschlauchs mit hoher Empfindlichkeit zu messen und zu lokalisieren. Der Sensorschlauch basiert auf der Membranschlauchtechnik und der Nutzung der physikalischen Gesetze der Gasdiffusion. Der Sensorschlauch ist gegenüber außen anstehenden Flüssigkeiten dicht und ist trotzdem für Gas- und Dampfmoleküle permeabel.

Der Sensorschlauch ist aus einem speziellen Kunststoff gefertigt, der eine hohe Diffusionsfähigkeit für die im jeweiligen Anwendungsfall nachzuweisenden Stoffe besitzt und eine hohe Dauerbeständigkeit aufweist. Hieraus resultiert das nachstehend beschriebene „intelligente Schnüffelsystem“.

Der Sensorschlauch wird längs der zu überwachenden Strecke z. B. einer Rohrleitung verlegt. Der Schlauch liegt luftgefüllt unter Atmosphärendruck im Erdreich. Gelangt infolge eines Lecks in der Rohrleitung Leckmedium an die Schlauchwandung, so diffundiert die Substanz nach einer ausreichenden Diffusionszeit durch die Schlauchwandung und bildet an der Berührungsstelle im Innern des Sensorschlauchs einen Dampfpfropf. Dies geschieht unabhängig davon, ob das Leckmedium flüssig oder in Dampfform an den Sensorschlauch gelangt, oder ob das Leckmedium im Wasser gelöst ist, welches den Sensorschlauch umgibt.

In periodischen Zeitabständen saugt eine Pumpe die den Dampfpfropf enthaltene Luftsäule mit nahezu konstanter Geschwindigkeit durch eine Detektoreinheit, deren Signal in Abhängigkeit von der Pumpzeit aufgezeichnet wird (**Bild 1**).

Das Detektorsignal liegt nahezu bei Null, solange der Detektor nur von reiner Luft durchströmt wird. Beim Durchlauf des Dampfpfropfs durch den Detektor liefert dieser jedoch einen erkennbaren Signalanstieg (Leckagepeak). Zusätzlich wird vor jedem Pumpvorgang eine ge-

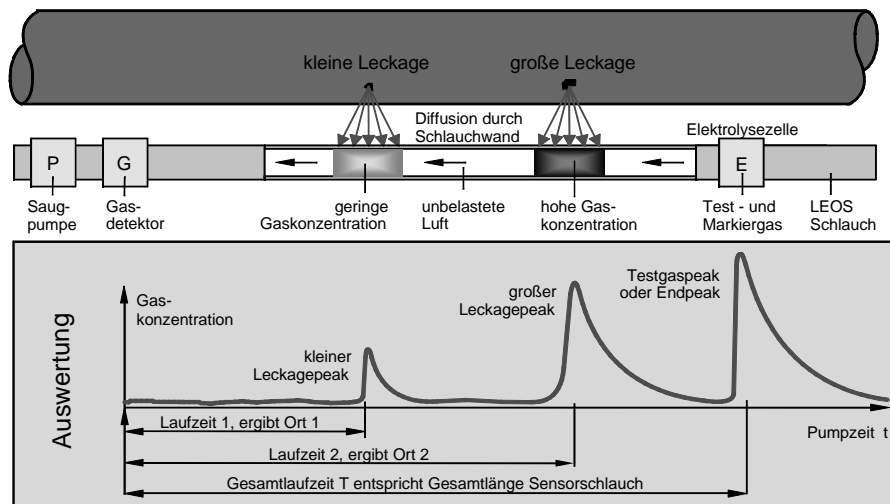


Bild 1: Funktionsprinzip (Saugbetrieb)

ringe Testgasmenge am Schlauchende injiziert und mit der Luft durch die gesamte Schlauchlänge transportiert. Der dadurch entstehende Testpeak wird von der Messstation erfasst und markiert mit seiner Durchlaufzeit das Ende der Überwachungsstrecke. Aus dem Verhältnis der Laufzeit des Leckagepeaks zu jener des Testpeaks kann der Ort der Leckage genau angegeben werden (Leckortung). Während einer Messung wird zusätzlich der nahezu konstante Massenstrom erfasst und der aus der Laufzeit errechenbare Laufweg des Testpeaks mit der bei der Schlauchverlegung vermaßten Länge zur Kontrolle verglichen. Die Funktion bzw. Verfügbarkeit des LEOS-Systems wird durch das Testgas integral überprüft. Amplitude und Ankunftszeit des Testpeaks sollten bei eingestelltem System in einem engen Erwartungsbereich liegen.

Die Nachweisempfindlichkeit des Systems wird durch die Empfindlichkeit der Gasdetektoren, die Durchlässigkeit des Sensorschlauchs, die Art und Menge des Leckagemediums, die Ausbreitung des Leckagemediums vom Leckageort zum Sensorschlauch sowie der Aufenthaltsdauer am Sensorschlauch bestimmt.

3. Systemkomponenten

LEOS benötigt zwei Komponenten pro Überwachungsstrecke: den Sensorschlauch und die Messstation. Bei vielen Überwachungsstrecken werden die Informationen mehrerer Messstationen in einer LEOS-Zentrale zusammengefasst.

Sensorschlauch:

Der Standard-Sensorschlauch besteht aus drei Schichten und hat einen Innendurchmesser von ca. 9,6 mm. Das innere Transportrohr besteht aus modifiziertem PVC oder PVDF und ist mit einer ausreichenden Zahl von Perforationen versehen. Darüber befindet sich die Diffusionschicht aus permeablen Kunststoff mit Ethylvinylacetat. Die Diffusionschicht wird durch ein durchlässiges äußeres Geflecht aus PE-HD-Bändchen gegen mechanische Beschädigungen geschützt. Der Sensorschlauch wird in Losgrößen von ca. 330 m geliefert und durch eine spezielle Technik miteinander wasserdicht verbunden (**Bild 2**).

Messstation:

Die LEOS-Messstation ist ein Messschrank, der alle erforderlichen Komponenten für eine automatische zyklische Messung enthält. Der Testpeak kann in einem räumlich getrennten Testpeakgenerator oder mittels eines im Messsystem integrierten Systemmoduls erzeugt wer-

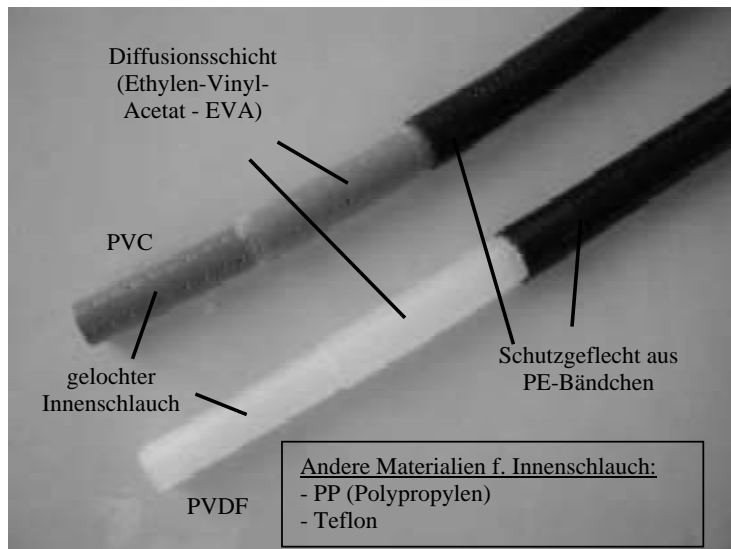


Bild 2: Sensorschlauch



Bild 3: Messstation

den. Die Flexibilität des Hardware- und Softwarekonzeptes erlaubt es, mehrere Messschleifen aufzubauen und mit einer Messstation zu bedienen (**Bild 3**).

- ≠ Für jede Messstation können bis zu acht Messschleifen überwacht werden, von denen jede bis zu 10 km lang sein kann.
- ≠ Jede der maximal acht Messschleifen kann unabhängig voneinander in einer Split- oder Loop-Ausführung realisiert werden, je nachdem wie dies aufgrund der Geometrie der zu überwachenden Komponenten (Industriefläche oder Rohrleitung) geboten ist.

LEOS-Zentrale:

Für längere Fernleitungen oder Rohrleitungssysteme können bis zu 20 Messstationen zu einer Zentrale zusammengeschaltet werden. Der LEOS-Zentralrechner steht in der Regel in der Warte des Kunden. Der Zentralrechner empfängt die Messdaten aller Messstationen, bewertet diese und druckt im Falle eines Alarms ein Protokoll aus, indem alle systemrelevanten Informationen enthalten sind. Auch bei einem einzelnen LEOS-Messsystem als „stand-alone“-System stehen alle Soft- und Hardwarefunktionen an die Warte zur Verfügung.

4. Leistungsfähigkeit der Lecküberwachung

Empfindlichkeit bei der Detektion:

LEOS ist ein empfindliches Lecküberwachungsverfahren, das auch kleinste und schleichende Leckagen frühzeitig erkennt. Die Nachweisgrenze liegt bei <1 l/h bei Flüssigkeiten oder $<0,1$ m³/h bei Gasen. Damit ist LEOS weitaus empfindlicher als konventionelle Leckerkennungsverfahren, die auf der Überwachung des Betriebsdrucks und des Mengenvergleichs beruhen.

Lokalisierung:

Die Ortungsgenauigkeit hängt von der Gesamtlänge des Sensorschlauchs ab. Diese liegt ab einer Mindestschlauchlänge von 100 m unter 0,5 %, d. h. bei einer Länge von 1 km bei weniger als 5 m. Dabei ist es erforderlich, dass der verlegte Sensorschlauch einschließlich aller Zuleitungen zum System exakt vermessen und als Korrekturgröße in das System eingegeben wird. Durch zusätzliche Injektionsstellen oder durch ortsbekannte Untergrundanzeigen kann die Ortungsgenauigkeit verbessert werden, indem die relative Position der Leckanzeige zu den benachbarten Injektionsstellen bestimmt wird.

Ansprechzeit:

LEOS ist kein schnelles Leckdetektionssystem, da es auf Diffusionsvorgängen beruht. Die typische Ansprechzeit liegt bei ca. 24 h für Flüssigkeiten und 1 bis 3 h bei Gasen. Dabei ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Boden und im Sensorschlauch, sowie die relevanten Molekül-Konzentrationen an der Außenwand des Sensorschlauchs berücksichtigt. Flüssigkeiten wie Chlor, die bei Austritt durch die Lecköffnung vollständig verdampfen, sind hinsichtlich ihrer Ansprechzeit wie Gase zu betrachten. Die Ausbreitung des Leckagemediums in die Umgebung des Sensorschlauchs ist in diesem Falle sehr schnell; d. h., sie ist bei der Abschätzung der Ansprechzeit nicht von Bedeutung.

Sensoren:

Die Empfindlichkeit der Sensoren liegt im Bereich von 0,1 bis 50 ppm. Zur Auswahl stehen Gasdetektoren mit unterschiedlichen Empfindlichkeiten für verschiedene Stoffe. Dies macht LEOS vielfältig anwendbar, da heute weit mehr als 60 Stoffe aus den nachstehenden Stoffgruppen sicher und zuverlässig detektiert werden können:

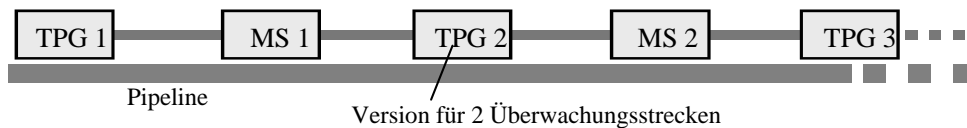
- ∄ Kohlenwasserstoffe und ihre Derivate, wie Alkane und aromatische Kohlenwasserstoffe.
- ∄ Halogenierte Kohlenwasserstoffe.
- ∄ Alkohole, Ketone und Ester.
- ∄ Anorganische Gase, wie Wasserstoff, Chlor, Ammoniak, Schwefelwasserstoff.
- ∄ Elektrisch leitende Flüssigkeiten.

Im Sensormodul des rechnergestützten LEOS-Systems stehen standardmäßig sieben Sensorkanäle zur Verfügung, welche die Gaskonzentration entlang der Überwachungsstrecke parallel aufzeichnen. Damit kann die Messempfindlichkeit gleichzeitig auf mehrere Stoffe optimiert werden.

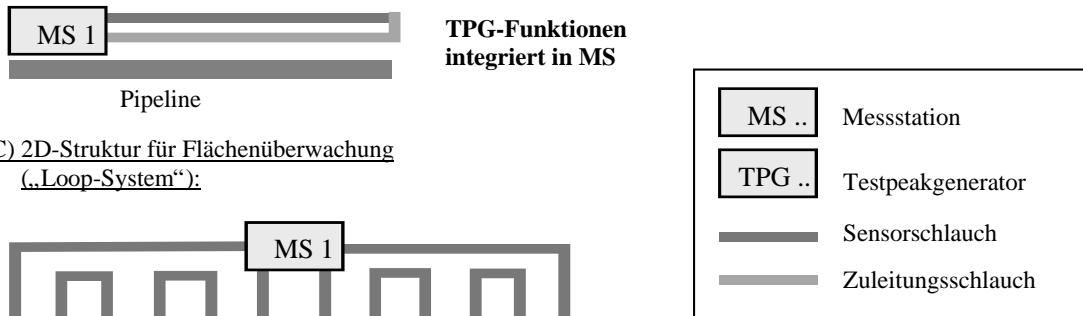
Einsatzbereich des Systems:

Die praktische Anwendung des Systems beschränkt sich nicht nur auf die Überwachung von Rohrleitungen, sondern umfasst auch die Überwachung von Lagerbehälter und großflächigen Gebieten. In diesem Falle wird der Sensorschlauch mäanderförmig im Boden verlegt, um die Fläche zu überwachen (**Bild 4**).

A) Lineare Struktur für lange Pipelines („Split-System“):



B) Lineare Struktur für kurze Abschnitte („Loop-System“):



C) 2D-Struktur für Flächenüberwachung („Loop-System“):

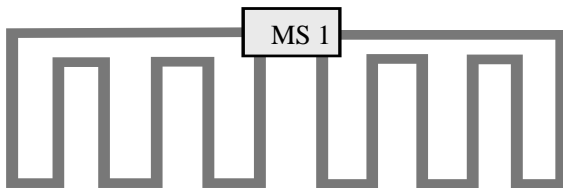


Bild 4: Anwendungen

Betriebserfahrungen:

In umfangreichen Labor- und Feldversuchen sowie im Überwachungsbetrieb konnte LEOS seine hohe Empfindlichkeit demonstrieren, Gase oder flüssige Kohlenwasserstoffe nachzuweisen. Die LEOS-Systemtechnik, sieben verschiedene Sensorkanäle mit unterschiedlicher Stoffempfindlichkeit einzusetzen, erlaubt es, Methan von anderen Kohlenwasserstoffen zu unterscheiden. Der Nachweis ist sowohl im trockenen und wassergesättigten Boden als auch im Grund- oder Seewasser gegeben. Im Rahmen eines Abnahmetests konnten bereits 10 g Propan – einmalig in ein Flußbett injiziert – detektiert und lokalisiert werden.

Das LEOS-System detektierte in einigen Fällen auch industrielle Kontaminationen im Boden, die auf ältere Leckagen oder durch andere Einflüsse als die der zu überwachenden Rohrleitung zurückzuführen waren. Die Systemtechnik ist heute so konzipiert, dass die zeitstabilen, bei der LEOS-Installation bereits vorhandenen Kontaminationen von neuen auf Leckagen basierenden Anzeigen unterschieden werden. Im Bedarfsfall kann eine Gasprobe aus dem Zeitbereich einer Leckanzeige gezogen und die darin enthaltenen Substanzen eindeutig identifiziert werden.

LEOS-Systeme sind seit 25 Jahren weltweit mit Erfolg im Einsatz. Die ersten Systeme wurden zur Überwachung von Äthylenleitungen in Wasserschutzgebieten installiert. Daran schlossen sich Überwachungsaufgaben an Produktenleitungen und Industrieflächen an. Waren die ersten Systeme noch im Bereich von wenigen Kilometern, so sind mit der Einführung neuer Systemgenerationen auch Überwachungslängen bis 40 km realisiert worden. Die Erwartungen an die hohe Langzeitbeständigkeit des Sensorschlauchmaterials (>50 Jahre) wurden voll bestätigt. So ist bis heute kein Ausfall eines Sensorschlauchs nach der Installation festzustellen, obwohl komplexe Bereiche wie Düker mit großem Aufwand bestückt wurden.

Besondere LEOS-Projekte:

- € Überwachung von 25 km umweltkritischen Abschnitten einer Rohölpipeline durch die Slowakei.
- € Überwachung von Treibstoffleitungen zum Transport von JET A1.

- € Überwachung einer 10 km langen Doppelleitung im arktischen Meer in einer Tiefe von ca. 15 m.
- € Überwachung einer Flüssigchlorleitung.
- € Überwachung von Flussquerungen innerhalb von Trinkwasserschutzgebieten.
- € Überwachung von Erdgasröhrenanlagen.

An vielen Umweltproblemen mit belastetem Boden und Grundwasser ist die Gasentwicklung schädlicher Stoffe maßgeblich beteiligt. Diese tritt im Untergrund von Industrieanlagen auf. Um die Gasentwicklung möglichst genau zu erfassen, bedarf es einer ungestörten Probenahme, die zudem in unterschiedlichen Tiefen erfolgt. Diese horizontbezogene Gasprobennahme in Böden und Gewässer erfolgt mit einem passiven Gassammelsystem, das als Hauptkomponente den LEOS-Sensorschlauch beinhaltet.

5. Überwachung von Rohrleitungen zum Transport elektrisch leitender Flüssigkeiten

In jüngster Zeit ist eine Erweiterung des Messprinzips auf die Detektion und Lokalisierung von elektrisch leitenden Flüssigkeiten sowie auf die schnelle Detektion von Gasen/Dämpfen realisiert worden. Hierzu wird der Sensorschlauch in spezifischer Weise modifiziert. Das modifizierte Verfahren ist in der Lage, elektrisch leitende Flüssigkeiten mit einer Leitfähigkeit >2 mS/cm zu detektieren. Dies gilt gleichermaßen für Bodenverhältnisse ohne und mit Grundwasservorkommen in den Verlegbereichen.

6. Bauartzulassung

LEOS besitzt die „Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung“ des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBT) Berlin. Basis für diese Zulassung ist ein Gutachten des Technischen Überwachungsvereins Bayern von 1989. Hierbei wurden die Empfindlichkeiten der Gasdetektoren, die des Sensorschlauchs, sowie die Lecksimulation im Erdreich eingehend untersucht.

Neben der „Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung“ in Deutschland wurde zwischenzeitlich eine vergleichbare Anerkennung in weiteren Ländern erreicht.

7. Fazit

Für die Überwachung kleinster und schleichender Leckagen wurde das System LEOS ausgewählt, weil die gestellten Forderungen der Genehmigungsbehörden hinsichtlich Empfindlichkeit übertroffen und das seit vielen Jahren etablierte System als sehr zuverlässig eingestuft wurde.

Verfasser: Dipl.-Ing. Matthias Hübner
 Vertrieb Sondertechnik, Framatome ANP GmbH
 Nuklear Service Deutschland
 Dynamische Untersuchungen und Diagnosesysteme FANP SGD
 Freyeslebenstraße 1
 91058 Erlangen
 Telefon: (0 91 31) 1 89 36 15
 171 / 3 37 16 84
 Telefax: (0 91 31) 1 89 54 97
 e-mail: matthias.huebner@framatome-anp.com