

LECKÜBERWACHUNG BEI ROHRFERNLEITUNGEN

L. Billmann

Technische Hochschule Darmstadt
Institut für Regelungstechnik

Juli 1980

1. Einleitung

Die Leckerkennung im normalen Betrieb von Rohrfernleitungen war bisher für relativ große Lecks möglich [1]. Zur Erkennung kleiner Lecks benötigte man entweder einen großen und teuren gerätetechnischen Aufwand (z.B. Ölmeldesonden, Lecksuchmolche) oder die Verfahren müssen bei Betriebsstillstand durchgeführt werden (Druckprobe).

In den letzten Jahren wurde eine Leckerkennungsmethode entwickelt, die allein aufgrund von Druck- und Durchflußmessungen am Anfang und am Ende der Pipeline auch kleine Lecks erkennen und orten kann [2], [3].

Hierbei wird die Korrelation von Druck oder Durchflußsignalen durchgeführt, um Störeinflüsse zu mindern. Bei Versuchen mit einer Modellpipeline von 100 m Länge mit üblichen Meßfühlern konnten Lecks mit einer Leckrate von 0,05 % erkannt und auf $\pm 0,5$ % geortet werden. Dies entspricht einer Verbesserung gegenüber bisher bekannten, ebenfalls an dieser Modellpipeline verwendeten Verfahren (z.B. [4], [5]), etwa um den Faktor 20. Das Verfahren eignet sich für Pipelines mit gasförmigen und flüssigen Medien.

In diesem Bericht sollen zunächst die Grundlagen des Verfahrens angesprochen werden und die Erprobung an einer Benzinpipeline aufgezeigt werden.

2. Beschreibung des Verfahrens

Es wird angenommen, daß der zu überwachende Rohrleitungsabschnitt nach Bild 1 instrumentiert ist. Am Eingang und am Ausgang sind jeweils Druck- und Durchfluß-Meßeinrichtungen vorhanden.

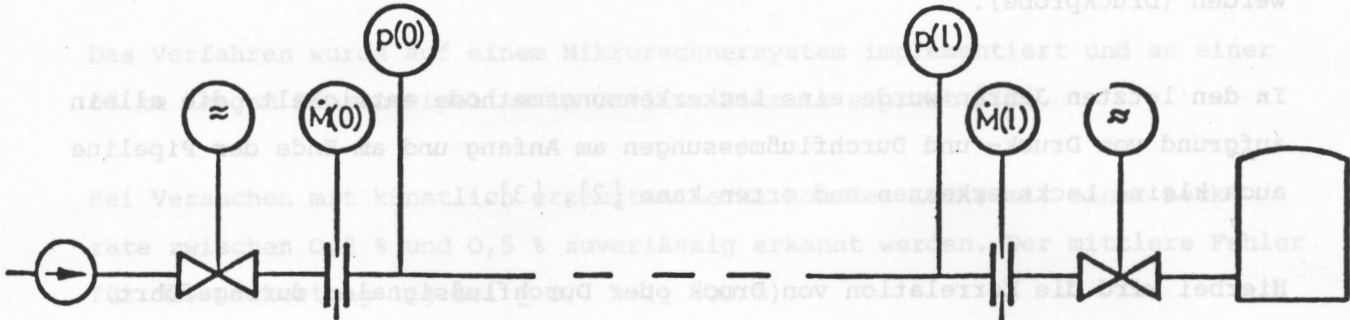


Bild 1 Pipeline-Abschnitt mit Meß- und Steuereinrichtungen

Der Abschnitt ist frei von Pumpstationen, Verzweigungen und Zwischenlagern. Höhenunterschiede sind zugelassen, ebenso Drosselstellen oder -strecken.

Die 4 Meßwerte müssen an einer Stelle in einer dem Mikrorechner zugänglichen Form zur Verfügung stehen.

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Rohrleitungen mit flüssigen Medien. Für Gase erhält man ähnliche Ergebnisse, wenn man anstatt der Drücke $p(0)$ und $p(1)$ ihre Quadrate $p^2(0)$ und $p^2(1)$ verwendet [11], [12].

Während eines stationären Betriebs hat der Eintritt eines Lecks zwischen den Meßstellen im allgemeinen zur Folge:

- der Massenstrom vor dem Leck $\dot{M}(0)$ wird größer,
- der Massenstrom nach dem Leck $\dot{M}(1)$ wird kleiner,
- der Eingangsdruck $p(0)$ wird geringfügig kleiner,
- der Ausgangsdruck $p(1)$ kann sich vergrößern.

Bild 2 zeigt den stationären Leitungsdruck p (bei Gasen wäre dies p^2) in Abhängigkeit vom Ort nach Eintritt eines Lecks. Zur Vereinfachung werde angenommen, daß sich $p(0)$ und $p(l)$ nicht ändern.

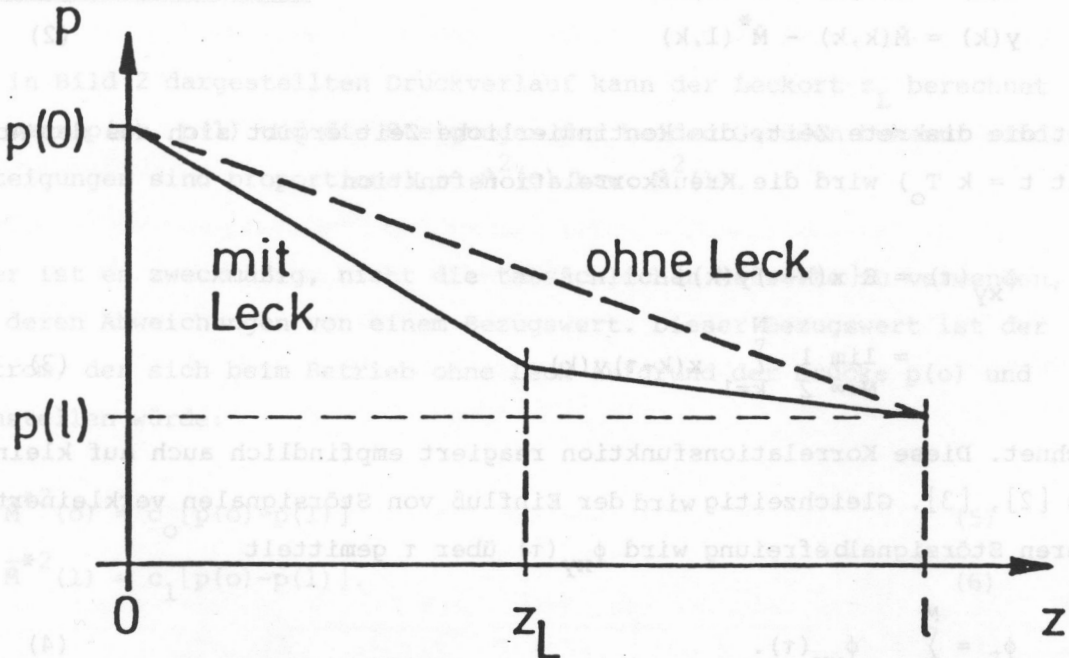


Bild 2 Druckverlauf in einer horizontal verlegten Rohrleitung nach Eintritt eines Lecks an der Stelle z_L

2.1 Leckerkennung durch Korrelation [2]

Bei der bisher vielfach durchgeführten Lecküberwachung durch Bilanzierung wird die Differenz zwischen Zustrom $\dot{M}(0)$ und Abstrom $\dot{M}(l)$ beobachtet. Überschreitet diese Differenz einen bestimmten Grenzwert, so erfolgt ein Leckalarm. Dieses reine Bilanzierungsverfahren ist wegen der stets überlagerten Störsignale und dynamischen Betriebszustände jedoch nicht für das Erkennen kleiner Lecks geeignet. Eine Verbesserung stellt die Korrelationsmethode dar, welche empfindlicher bezüglich des Erkennens von Lecks ist und auch den Einfluß von Störgrößen mindert.

Hierzu werden nicht die Massenströme selbst verwertet, sondern ihre Abweichung von den Bezugswerten $\dot{M}^*(0)$ und $\dot{M}^*(l)$.

2. Beschreibung des Verfahrens

Die Bezugswerte stellen das Verhalten der intakten (leckfreien) Rohrleitung dar. Ihre Bestimmung wird in Abschnitt 2.3 näher erklärt. Aus den sich ergebenden Abweichungen

$$x(k) = \dot{M}(o,k) - \dot{M}^*(o,k) \quad (1)$$

$$y(k) = \dot{M}(k,k) - \dot{M}^*(l,k) \quad (2)$$

(k ist die diskrete Zeit, die kontinuierliche Zeit ergibt sich aus der Abtastzeit T_0 mit $t = k T_0$) wird die Kreuzkorrelationsfunktion

$$\begin{aligned} \phi_{xy}(\tau) &= E\{x(k-\tau)y(k)\} \\ &= \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N x(k-\tau)y(k) \end{aligned} \quad (3)$$

berechnet. Diese Korrelationsfunktion reagiert empfindlich auch auf kleine Lecks [2], [3]. Gleichzeitig wird der Einfluß von Störsignalen verkleinert. Zur weiteren Störsignalfreieung wird $\phi_{xy}(\tau)$ über τ gemittelt

$$\phi_{\Sigma} = \sum_{\tau=-M}^M \phi_{xy}(\tau) \quad (4)$$

Bei Eintritt eines Lecks tritt folgende Reaktion ein:

- $x(k)$ wird größer, $y(k)$ kleiner als Null, Bild 3
- die einzelnen Werte von $\phi_{xy}(\tau)$ werden kleiner, ebenso ϕ_{Σ}

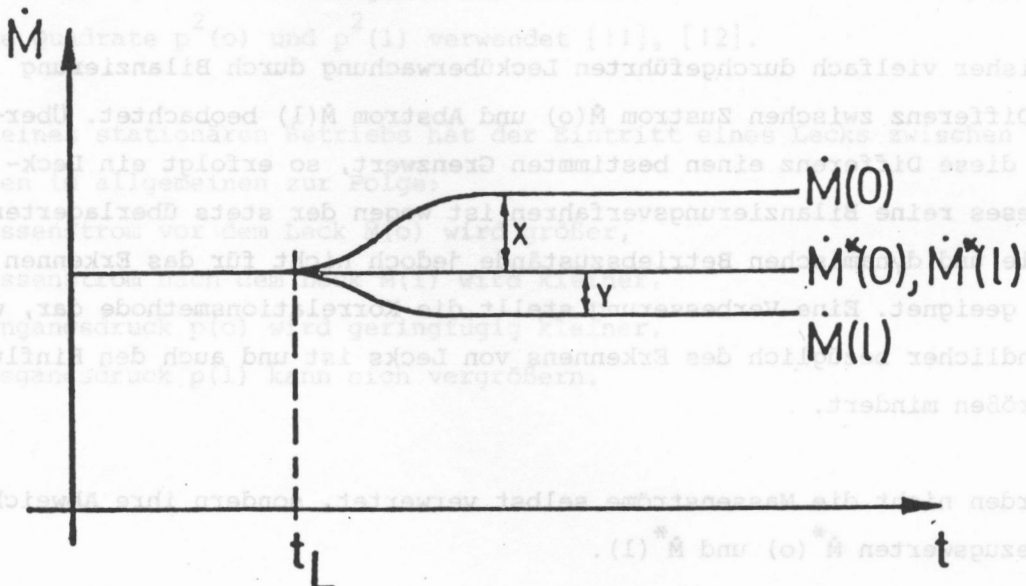


Bild 3 Zeitlicher Verlauf der Massenströme bei Eintritt eines Lecks

Diese Verschiebung von ϕ_{Σ} nach negativen Werten wird nun als Alarmkriterium verwendet. Sobald ein vorgegebener Grenzwert $\phi_{\Sigma\epsilon}$ unterschritten wird erfolgt ein Leckalarm.

2.2 Ermittlung des Leckorts

Bei dem in Bild 2 dargestellten Druckverlauf kann der Leckort z_L berechnet werden, wenn $p(0)$, $p(1)$ und die Steigungen der beiden Geraden bekannt sind. Diese Steigungen sind proportional zu $\dot{M}^2(0)$ bzw. $\dot{M}^2(1)$.

Auch hier ist es zweckmäßig, nicht die tatsächlichen Meßwerte zu verwenden, sondern deren Abweichungen von einem Bezugswert. Dieser Bezugswert ist der Massenstrom, der sich beim Betrieb ohne Leck aufgrund der Drücke $p(0)$ und $p(1)$ einstellen würde:

$$\bar{M}^{*2}(0) = c_0 [p(0) - p(1)] \quad (5)$$

$$\bar{M}^{*2}(1) = c_1 [p(0) - p(1)]. \quad (6)$$

Die Konstanten c_0 und c_1 werden während des normalen Betriebs aus $\dot{M}(0)$, $\dot{M}(1)$, $p(0)$ und $p(1)$ berechnet.

Sobald ein Leckalarm vorliegt, werden c_0 und c_1 nicht mehr neu berechnet. Von nun an werden die Abweichungen gebildet und aufsummiert:

$$U_{\Sigma}(k) = U_{\Sigma}(k-1) + \dot{M}^2(0,k) - \bar{M}^{*2}(0,k) \quad (7)$$

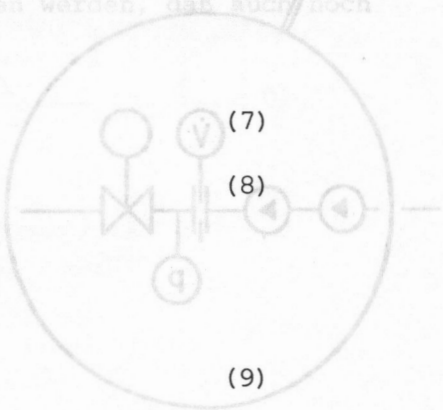
$$V_{\Sigma}(k) = V_{\Sigma}(k-1) + \dot{M}^2(1,k) - \bar{M}^{*2}(1,k) \quad (8)$$

Bei kleinen Lecks ergibt sich dann der Leckort aus [2]

$$z_L = l \left(1 - \frac{U_{\Sigma}}{V_{\Sigma}} \right)^{-1}, \quad (9)$$

wobei l die Rohrleitungslänge ist.

In ähnlicher Weise läßt sich auch der Leckstrom schätzen [2].



2.3 Bestimmung der Bezugswerte

Die Bezugswerte $\dot{M}^*(0)$ und $\dot{M}^*(1)$ müssen so gewählt werden, daß sie mit den gemessenen Größen $\dot{M}(0)$ und $\dot{M}(1)$, im leckfreien Betrieb, gut übereinstimmen.

Dies kann man durch ein dynamisches Modell der Pipeline erreichen, dessen Parameter durch eine Off-line-Identifikation ermittelt werden [12].

3. Lecküberwachung bei einer Benzin-Pipeline [9]

Bild 4 zeigt den Verlauf der Rohrleitung unter Berücksichtigung der Höhe über dem Meeresspiegel, der Lage der Pumpen, Ventile und Zwischenlager.

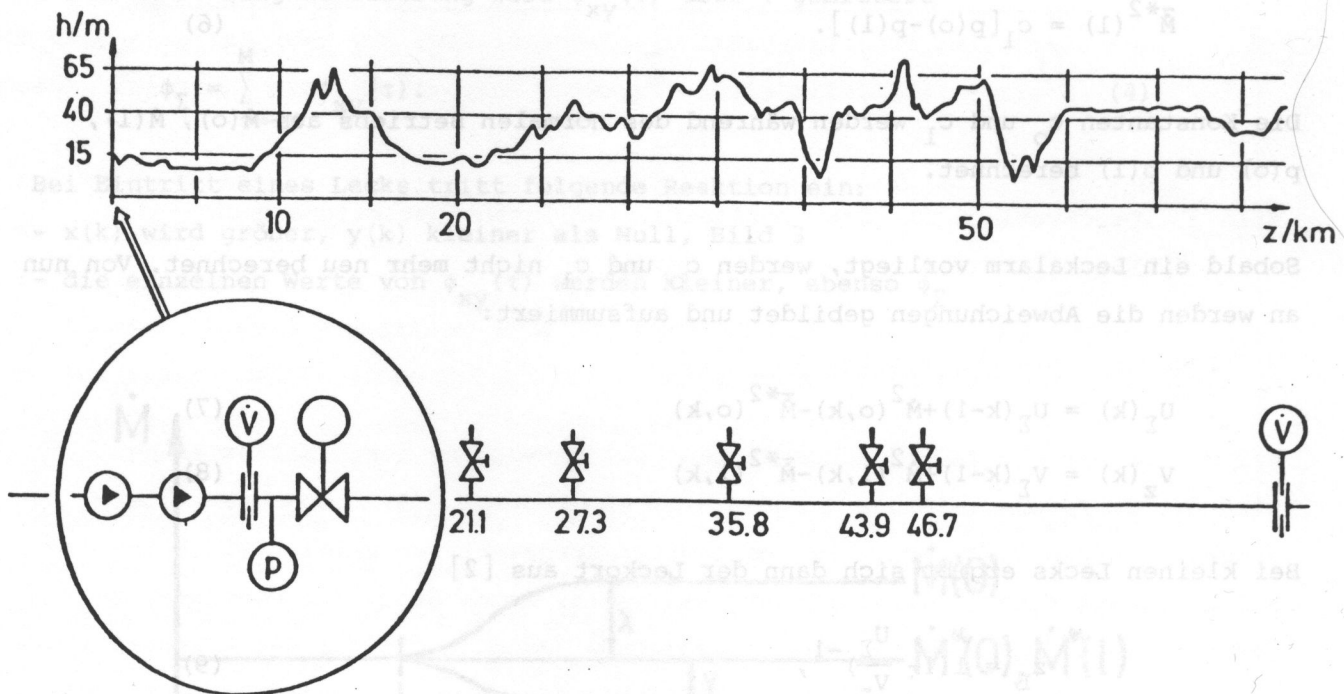


Bild 4 Schematische Darstellung der Pipeline mit Höhenprofil

Die Gesamtlänge der Rohrleitung ist 68,8 km. Sie hat einen Durchmesser von 273 mm bei einer Wandstärke von 8 mm. Zwischenlager sind bei km 21,1; 27,3; 35,8; 43,9 und 46,7 angeordnet. Zwischen km 52,2 und 55,0 durchquert die Leitung ein Trinkwasserschutzgebiet. In diesem Bereich ist die Rohrwandstärke erhöht worden, und somit der Durchmesser nur noch 254,46 mm. Am Ende der Leitung befindet sich ein Tanklager. Der dadurch fast konstante Ausgangsdruck $p(1)$ (Atmosphärendruck) wurde deshalb nicht erfaßt. Zur Lecküberwachung wurden somit nur die beiden Volumenströme $\dot{V}(0)$ und $\dot{V}(1)$ sowie der Druck am Leitungsanfang $p(0)$ verwendet.

Zur Durchführung der On-line-Versuche wurde ein Mikrorechner-Entwicklungssystem INTEL MDS-800 eingesetzt. Als Zentraleinheit wird der Prozessor 8080A verwendet. Das System ist mit 48 kbytes Arbeitsspeicher (RAM) ausgerüstet und übernimmt die Meßwerte durch Analog-Digital-Wandler (12 bit).

An der oben beschriebenen Pipeline wurden Versuchsreihen zur Leckerkennung durchgeführt. Dabei konnten an den Abzweigungen zu den Zwischenlagern künstlich Lecks erzeugt werden. Bild 5 zeigt einen der Versuche mit einem Leck bei 35,8 km und einer mittleren Leckrate von 0,19 %. Das Leck wurde zum Zeitpunkt $t = t_L$ erzeugt und konnte nach 98 s erkannt werden (Leckalarm).

Da der zu überwachende Kennwert ϕ_Σ in allen Versuchen eine deutliche Unterschreitung der Ansprechschwelle zeigte, darf angenommen werden, daß auch noch kleinere Lecks erkannt werden können.

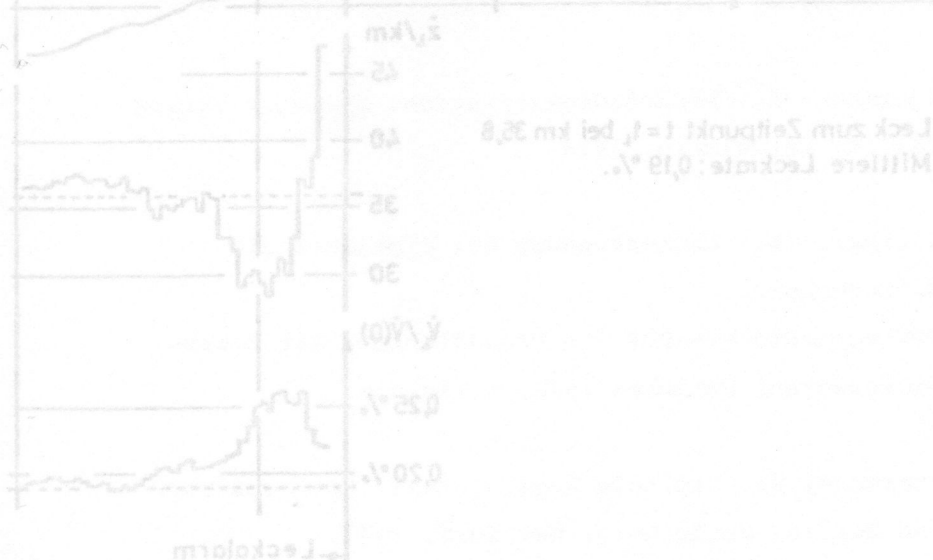


Bild 5
Verlauf von $p(0)$, $\dot{V}(0)$ und $\dot{V}(1)$ bei
Eintreten eines Lecks zum Zeitpunkt $t = t_L$

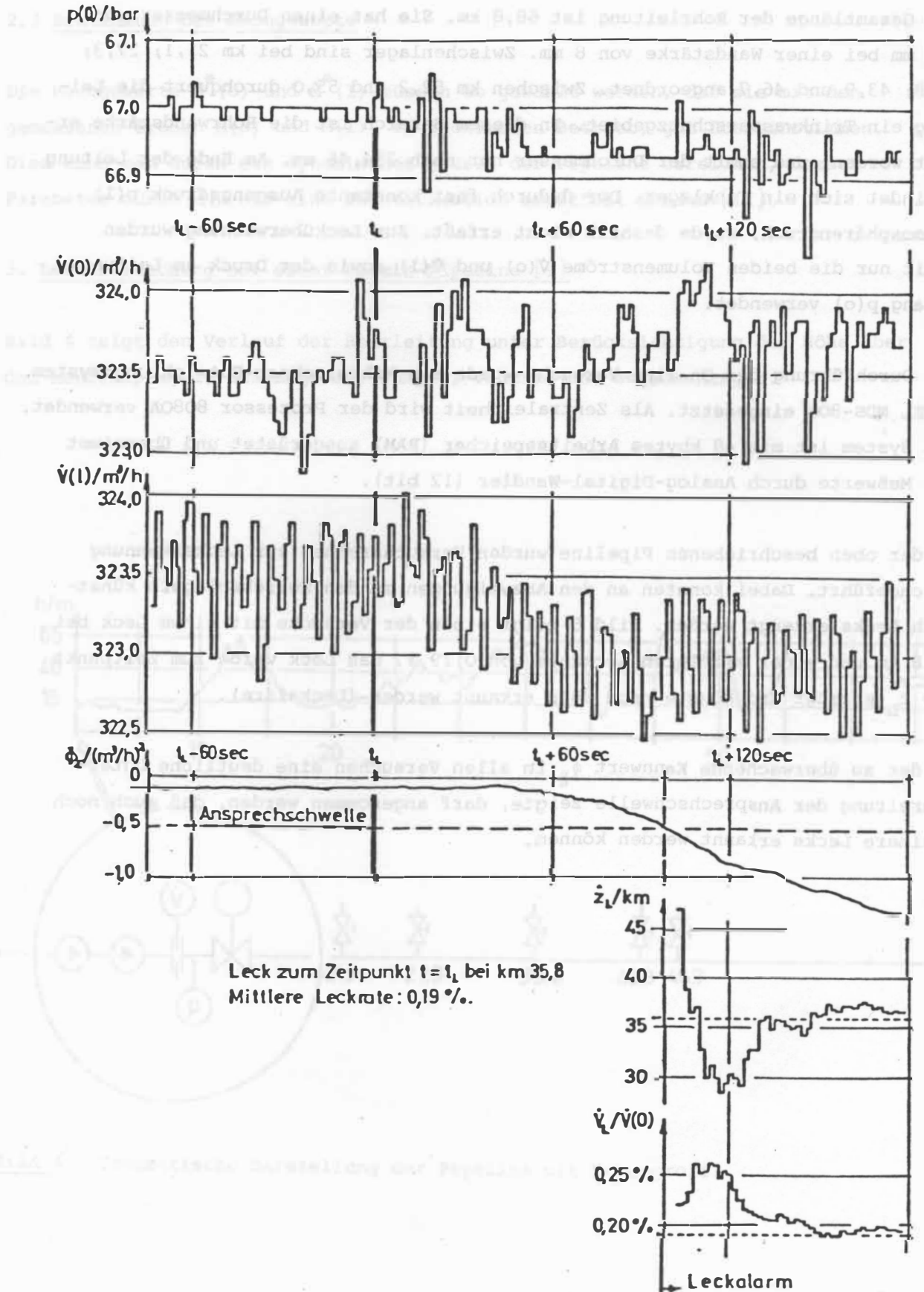


Bild 5 Verlauf von $p(o)$, $\dot{V}(o)$, $\dot{V}(1)$ und ϕ_L bei
 Eintritt eines Lecks zum Zeitpunkt $t = t_L$

4. Zusammenfassung

Eine Methode zur Erkennung und Lokalisierung kleiner Lecks mittels einer Korrelationsanalyse wurde vorgestellt. Versuche an einer 68,8 km langen Benzinpipeline mit 230 m³/h Durchsatz zeigten, daß sprungförmig entstehende Lecks mit einer Leckrate von 0,2 % (ca. 0,2 Liter/sec) zuverlässig erkannt werden. Die Leckortung ergab einen mittleren Fehler von $\pm 0,7$ %, das sind ± 500 m. Das beschriebene Verfahren läßt sich mit einigen Modifikationen auch auf Gaspipelines anwenden [12].

Literatur:

[1] Siebert, H.: Kleiber, Th.: Lecküberwachung und Leck-

ortung an einer Benzin-Pipeline mit einem Mikrorechner

38-International (1977)

Kleiber, Th.: Siebert, H.: Überprüfung einer Methode zur Leck-

überwachung an einer Benzin-Pipeline. Regelungstechnische

Praxis (1978)

Localisierung bei Pip-

on notated etc. of bottom A.: H. Trubels

lation mit einem Prozessrechner.

notated etc. of bottom A.: H. Trubels

[3] Isermann, R.: Siebert, H.: Verfahren zur Leck-

den gemessenen aus mehreren Leckstellen

erkenntnis und Leckortung bei Rohrleitungen.

Patent P 2603 715.0, Januar 1976.

[4] Schaffhausen, H.: Heger, L.: Leckerkennung und

Ordnung von Verlusten beim Betrieb von Mineralöl-

fernleitungen. Technische Überwachung 11 (1970),

Nr. 5, S. 135 - 137; Nr. 6, S. 213 - 215 und

Nr. 7, S. 236 - 238.

[5] Kreis, M.: Schnelles Erkennen von Leckagen an Rohr-

fernleitungen. Erdöl und Kohle - Petrochemie

26 (1973) Nr. 10, S. 585 - 589.

[6] Isermann, R.: Prozessidentifikation. Springer Verlag

Berlin, Heidelberg, 1974.

[7] Kleiber, Th.: Leckerkennung bei Pipelines mit

Mikrorechner.

PDV-Berichte KIK-PDV 165 Prozeßerkennung mit Mikro-

prozessoren, Dezember 1978, Karlsruhe.

[8] Isermann, R.: Digitale Regelsysteme. Springer Ver-

lag Berlin, Heidelberg, New York, 1977.

Literatur:

- [1] Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF) 301: Richtlinie für Fernleitungen zum Befördern gefährdender Flüssigkeiten. Heymanns Verlag, Köln, Ausgabe September 1974.
- [2] Siebert, H.; Isermann, R.: Leckerkennung und -lokalisierung bei Pipelines durch On-line-Korrelation mit einem Prozeßrechner. Regelungstechnik 25 (1977), Heft 3, S. 69 - 74.
- [3] Isermann, R.; Siebert, H.: Verfahren zur Leckerkennung und Leckortung bei Rohrleitungen. Patent P 2603 715.O, Januar 1976.
- [4] Schaffhausen, H.; Heger, L.: Leckerkennung und Ortung von Verlusten beim **Betrieb von Mineralöl-Fernleitungen**. Technische Überwachung 11 (1970), Nr. 5, S. 135 - 137; Nr. 6, S. 213 - 215 und Nr. 7, S. 236 - 238.
- [5] Kreiß, M.: Schnelles Erkennen von Leckagen an Rohrfernleitungen. Erdöl und Kohle - Erdgas - Petrochemie 26 (1973) Nr. 10, S. 585 - 589.
- [6] Isermann, R.: Prozeßidentifikation. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 1974.
- [7] Klaiber, Th.: Leckerkennung bei Pipelines mit Mikrorechner. PDV-Berichte KfK-PDV 165 Prozeßlenkung mit Mikroprozessoren, Dezember 1978, Karlsruhe.
- [8] Isermann, R.: Digitale Regelsysteme. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1977.

- [9] Siebert, H.; Klaiber, Th.: Lecküberwachung und Leck-
ortung an einer Benzin-Pipeline mit einem Mikrorechner,
3R-International (1980).
- [10] Klaiber, T.; Siebert, H.: Erprobung einer Methode zur Leck-
überwachung an einer Benzinpipline. Regelungstechnische
Praxis (1980).
- [11] Isermann, R.; Siebert, H.: A method for the Detection on
Localisation of Small Leaks in Gas-Pipelines. Process Automation
(1980).

- [12] Siebert, H.: Ein einfaches Verfahren zur Erkennung und
Ortung kleiner Lecks in Gaspipelines. Interner Bericht des
Instituts für Regelungstechnik, TH Darmstadt (1980).

Zusammenfassung

Der Vortrag behandelt die Funktionsweise und Architektur des Bussystems CS 275 im Automatisierungssystem TPI 2000 M. Ausgehend von den Anforderungen verteilter Automatisierungssysteme bezüglich Leistungsvermögen, Zuverlässigkeit und Aufwand werden die daraus abgeleiteten Konsequenzen auf die Busarchitektur diskutiert.

Die Nahbus-Fernbus-Struktur des Systems wird begründet und die Multi-Master-Bussteuerung ausführlich behandelt. Es wird gezeigt, wie die Systemarchitektur des Prozeßbussystems den Aufbau redundanter hochzuverlässiger Datenübertragungssysteme bei linearem Kostenverlauf als Funktion der Teilnehmerzahl und der Übertragungsdistanz ermöglicht.

D. JANETZKY
KARLSRUHE
SIEMENS AG
E STE 2
23. JULI 1980