

Diss. ETH Nr. 8527

BEITRAG ZUR AKUSTISCHEN  
ORTUNG VON LECKSTELLEN

ABHANDLUNG  
zur Erlangung des Titels eines  
DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN  
der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN  
HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von  
MATTHIAS BRECHBÜHL  
Dipl. El.-Ing. ETH  
geboren am 22. April 1956  
von Trachselwald, BE

Angenommen auf Antrag von:  
Prof. Dr. E. J. Rathe, Referent  
Prof. Dr. J. L. Massey, Korreferent

1988

20. Juni 1988  
E. J. Rathe

## ZUSAMMENFASSUNG

Leckstellen in Trinkwasserversorgungen werden meistens mit akustischen Methoden geortet. Als Ergänzung zu den bereits realisierten Methoden wird in vorliegender Arbeit eine Methode untersucht, die den von der Leckstelle abgestrahlten Körperschall in zwei räumlich getrennten Sensoren auf der Erdoberfläche erfasst. Mit Hilfe adaptiver Signalverarbeitungsalgorithmen und iterativer Ortungsmethoden wird entschieden, wo die Quelle liegt.

Analysen von Leck- und typischen Störgeräuschen zeigen, dass keine signifikanten Unterschiede im Frequenzbereich vorhanden sind. Einzig werden bei Leckgeräuschen häufig ausgeprägte Reintonkomponenten festgestellt.

Diese Reintonkomponenten und die häufig schlechten Nutz/Stör-signal-Verhältnisse der erfassten Signale verunmöglichen den Einsatz einfacher Korrelationsmesstechnik. Deshalb werden anhand von theoretischen Überlegungen und Computersimulationen die Eigenschaften verschiedener verallgemeinerter Korrelatoren untersucht. Diese Korrelatoren versuchen durch Filterung der Eingangssignale die Resultate der Kreuzkorrelation zu verbessern. Die Filter werden aus den Eingangssignalen abgeleitet. Die Untersuchungen zeigen, dass kein Filter sowohl für annähernd periodische, als auch für stark verrauschte Signale optimale Resultate ergeben kann.

Anhand von Phasenestimation wird aufgezeigt, wie dispersive und gedämpfte Schallausbreitung die Laufzeitdifferenzbestimmung beeinflussen. Im weiteren werden die Verhältnisse beim Vorhandensein eines diffusen Störfeldes oder einer diskreten Störquelle betrachtet und daraus Konsequenzen für das praktische Messen abgeleitet.

Die Beziehung zwischen Sondenabstand und Kohärenz wird aufgrund von Messungen abgeschätzt. Diese Beziehung und der berechnete relative Fehler der Laufzeitbestimmung erlauben ein Optimieren des Sondenabstandes.

Dass auch das geschickte Anordnen mehrerer beweglicher Sonden

die Ortungsgenauigkeit und -sicherheit erhöhen kann, wird anhand von Überlegungen zur Ortung mit mehreren Sonden aufgezeigt. Dabei zeigt sich, dass sich beim Einsatz von nur zwei Sonden ein iteratives Ortungsverfahren aufdrängt.

Ein völlig automatisiertes, vierkanaliges Ortungssystem wurde aufgebaut und bei Feldversuchen erprobt. Dabei zeigte sich, dass bei guten Nutz/Störsignalverhältnissen eine dreidimensionale Ortung von Leckstellen möglich ist. In andern Fällen zeigte sich jedoch, dass adaptive Signalverarbeitung erforderlich ist.

All diese Untersuchungen führten schliesslich zur Entwicklung eines tragbaren, zweikanaligen Lecksuchgeräts. Der Analogteil unterstützt die Lecksuche durch eine optische Intensitätsanzeige und ein flexibles Bandpassfilter. Durch die Möglichkeit, zweikanalig abzuhören, kann der Benützer mit seinem Gehör die räumliche Lage der Quelle erfassen.

Der Digitalteil teilt dem Benützer mit, welche Sonde sich näher der Quelle befindet, oder ob beide Sonden gleich weit entfernt sind. Dieser Entscheid wird aufgrund einer Laufzeitdifferenzestimation mit Hilfe eines verallgemeinerten Korrelators oder normaler Korrelation durchgeführt.

**ABSTRACT**

Leaks in water distribution systems are usually located by means of acoustical methods. A new method has been investigated, viz. monitoring the sound radiated from the leak using two spatially separated sensors on the surface. Where the leak actually is located, is determined by using adaptive signal processing and iterated location methods.

Analysis of noise radiated from leaks and of typical background noise shows no significant difference. Leak noise contains often distinct pure tone components.

These pure tones and the frequently encountered low S/N ratio of the recorded signals often prevent the use of the ordinary cross correlation methods to estimate the delay between two signals. Therefore, the advantages and disadvantages of various generalized cross correlators have been examined by computer simulations and theoretical studies. A generalized cross correlator attempts to improve the performance of the ordinary correlator by adaptive filtering of the input signals. The filters are derived from the properties of the input signals.

It became obvious that the demand for a high and sharp correlation peak excludes optimal performance with noisy input signals ( and vice versa).

The influence of attenuation and dispersion on time delay estimation was investigated using phase data. Conclusions on how to position the sensors relative to the source, were drawn based on studying the conditions in a diffuse and a directional noise field.

The relation between sensor distance and coherence could be estimated based on measurements. This relation and the computed relative error of time delay estimation based on phase data were used to minimize the expected error by optimizing the distance between the sensors.

Investigations showed, that the geometrical placement of movable sensors might influence the location error. When only

two sensors were used it became evident, that iterative location procedures had to be used.

A completely automated four channel location system was implemented and tested in field measurements. The results indicated that three dimensional location is possible for high S/N ratios. Other situations showed a need for adaptive signal processing.

All investigations contributed to the developement of a portable two channel instrument. The analog part of this instrument supports the operator with an optical indication of the recorded sound intensity. By listening to both channels once, the operator may locate the leak by aural discrimination. A flexible bandpass filter improves operation in noisy environments.

The digital part of the instrument determines, which sensor is closer to the source, or that the source is located in the middle. This is determined by means of a generalized cross correlator ( type SCOT ) or by means of ordinary cross correlation.