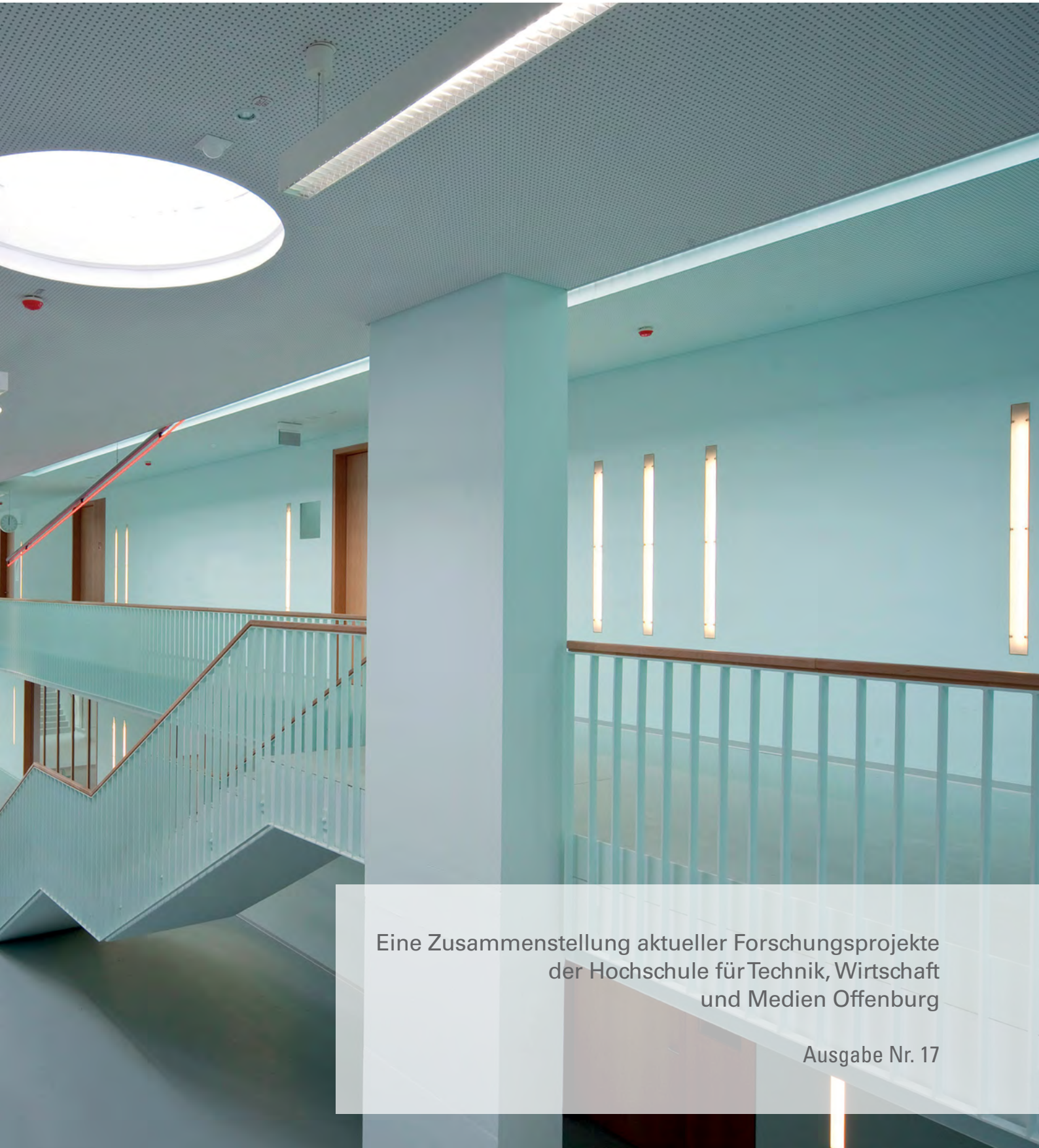


forschung im fokus



Eine Zusammenstellung aktueller Forschungsprojekte
der Hochschule für Technik, Wirtschaft
und Medien Offenburg

Ausgabe Nr. 17

Soundcheck – Akustische Vermessung von Abwasserkanälen

Michael Lange, Prof. Dr. rer. nat. Werner Schröder

Damit Abwasserkanäle grabungsfrei saniert werden können, muss die zu sanierende Kanallänge bekannt sein. Hierfür wurde am Institute for Unmanned Aerial Systems zusammen mit dem Kooperationspartner aus der Kanalsanierungsbranche ein Messgerät entwickelt, das die Rohrlänge auf akustischem Weg ermittelt. Ebenso wurde realisiert, dass die Position eines Fräßroboters im Rohr bestimmt werden kann.

In order to rehabilitate sewer, the pipe length must be known. The Institute for Unmanned Aerial Systems developed together with partners from the sewer rehabilitation industry a measuring device which determines the length of pipe by an acoustic signal. Moreover, it was realized that the position of a robot in the pipe can be determined.

Einleitung

Bei der Kanalsanierung hat sich die grabungsfreie Variante, bei der ein Liner in das Rohr gezogen wird, durchgesetzt. Um die erforderliche Länge des Liners im Vorfeld zuverlässig bestimmen zu können, wird eine Messmethode benötigt, mit der die Rohrlänge zuverlässig gemessen werden kann. Die bisherigen Messverfahren weisen Messfehler auf, die erhebliche Kosten mit sich ziehen. Zudem muss die Position eines Fräroboters im Rohr bestimmt werden. Dieser muss die genauen Positionen der Zuläufe, die durch den Liner verschlossen wurden, anfahren können, damit diese wieder geöffnet werden. Auch hierbei kam es in der Vergangenheit zu vielen Fehlbohrungen, was wiederum erhebliche Kosten verursachte.

Das Institute for Unmanned Aerial Systems entwickelte zusammen mit dem Kooperationspartner ein Messgerät, das die oberen Anforderungen auf akustische Weise ermittelt.

Funktionsweise

Durch Ermitteln der Schalllaufzeit t eines akustischen Signals durch die Messstrecke (Kanalrohr), kann über die Ausbreitungsgeschwindigkeit c die Länge L der Messstrecke ermittelt werden.

$$L = c \cdot t$$

Formel 1: Längenmessung durch Laufzeiterfassung

Mit diesem Verfahren ist es auch möglich, nicht nur Strecken zu messen, die nicht gradlinig verlaufen, sondern auch solche, die Abzweigungen und Bögen enthalten, sofern die Frequenz ausreichend niedrig ist.

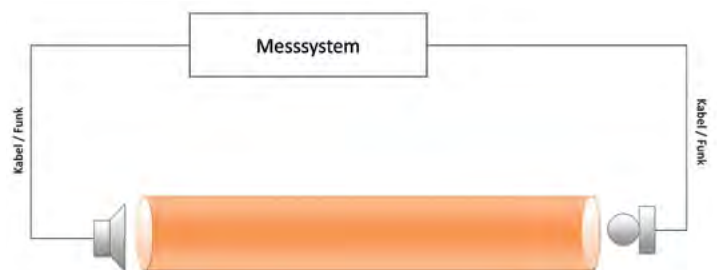


Abb. 1: Messprinzip der Längenmessung

Das Messgerät ist so aufgebaut, dass sich am einen Ende des Rohrs ein Lautsprecher und am anderen Ende ein Mikrofon befindet. Über Funk werden die beiden Messmodule synchronisiert, was das Ermitteln der Schalllaufzeit ermöglicht.

In einer anderen Variante wird die Position des Fräroboters gemessen. Hierbei befindet sich das Mikrofon auf dem Roboter, der per Kabel mit dem Lautsprechermodul verbunden ist. Die Schallgeschwindigkeit ist jedoch von der Temperatur abhängig, was eine genaue Ermittlung der Temperatur erfordert.

$$c = 331.5 * \sqrt{1 + \frac{T}{273.15}}$$

Formel 2: Ausbreitungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Temperatur

Ultraschallanemometer

Zudem muss bei Luftströmung im Rohr die Schallgeschwindigkeit entsprechend korrigiert werden. Um diese beiden Messgrößen zu ermitteln, wurde ein eindimensionales Ultraschallanemometer entwickelt.

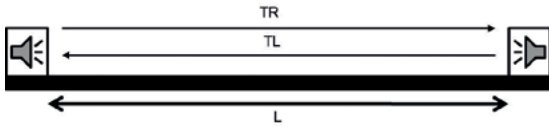


Abb. 2: Funktion der Lufttemperatur und Luftströmungsmessung

Das Messverfahren beruht auf dem Sing-Around-Verfahren. Dabei handelt es sich um die Laufzeitmessung zwischen zwei Ultraschallsensoren. Über die gemessene Zeit in jede Richtung, TR und TL, kann die Schallgeschwindigkeit ermittelt werden.

$$c = \frac{L}{\frac{TR+TL}{2}}$$

Formel 3: Schallgeschwindigkeit

Aus der Schallgeschwindigkeit wird die Temperatur berechnet zu:

$$T = \left[\frac{c^2}{331.5^2} - 1 \right] * 273.15$$

Formel 4: Temperatur

Mithilfe der Schallgeschwindigkeit und der Differenz der Laufzeiten TR und TL kann auf die Strömungsgeschwindigkeit v geschlossen werden.

$$v = \frac{TL + TR}{TL - TR} * c$$

Formel 5: Luftströmungsgeschwindigkeit

Mit diesem Verfahren ist es möglich, die Lufttemperatur und Luftströmungsgeschwindigkeit im Kanal in Sekundenschnelle und genau zu messen.



Abb. 3: Im Prototyp integrierte Sensoren zur Lufttemperatur und Luftströmungsmessung

Dimensionsmessung

Das Sendesignal muss für die exakte Ermittlung der Länge in Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser generiert werden. Um Fehler bei der Eingabe durch den Anwender zu vermeiden, wird eine automatische Messung des Rohrdurchmessers in das System integriert.



Abb. 4: Im Prototyp integrierter Messkopf zur Messung der Rohrdimension

Hierfür wird der Messkopf mit den Ultraschallsensoren am System angebracht, die sich bei der Messung im Inneren des Rohres befinden.

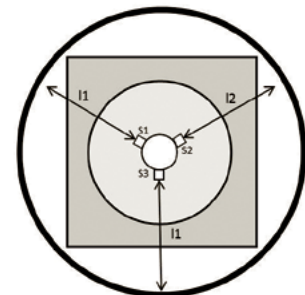


Abb. 5: Funktionsweise der Dimensionsmessung

Die Sensoren S1, S2 und S3 sind 120° zueinander angebracht. Sie messen jeweils die Längen I1, I2 und I3. Aus diesen drei Längen sollte der Rohrdurchmesser ermittelt werden können.

Dies erwies sich nach ersten Versuchen jedoch als schwierig, da die erwarteten Längen von den gemessenen stark abwichen. Dies kommt durch Reflexion zustande, da der Schall aus unterschiedlichsten Winkeln von einer gekrümmten Reflexionsfläche (Rohrinnenseite) reflektiert und somit die direkte Länge zwischen Rohrwand und Sensor nicht ermittelt werden kann.

Über ein vorher kalibriertes System und einem Auswertalgorithmus wurde dieses Problem gelöst. Hierfür muss jedoch jeder genormte Rohrdurchmesser kalibriert und sei-

ne Daten in einer Datenbank abgelegt werden. Dies kann größere Datenmengen verursachen, was wiederum Speicherplatz und Rechenzeit erfordert. Eine Lösung für dieses Problem wird aktuell untersucht.

Das Messgerät

Die komplette Technik befindet sich in einem Gehäuse, das mit 3D Rapide Prototyping gedruckt wurde. Das Gerät wird mit einer Teleskopstange in den Schacht hinuntergelassen und am Rohranfang platziert.



Abb. 6: Soundcheck im Einsatz

Auf Knopfdruck beginnt die Messung, und die Daten werden wenige Sekunden später per Funk an einen PC oben am Schacht weitergeleitet. Mit digitaler Signalverarbeitung werden aus den erfassten Daten die oben genannten Eigenschaften ermittelt. Diese werden in einer Benutzeroberfläche dargestellt und ausgegeben.



Abb. 7: Mit 3D Rapide Prototyping gedrucktes Gehäuse

Ergebnisse und Ausblick

Das vorgestellte Messgerät könnte ein wichtiges Hilfsmittel in der grabungsfreien Kanalsanierung sein. Durch den sekundenschnellen Messvorgang wird es gegenüber den bisherigen Messmethoden erhebliche Zeit und Kosten einsparen. Ebenso kann es durch seine zuverlässige Messung die bisherigen Messmethoden ablösen und die Kanalsanierungsbranche um eine weitere technische Neuheit bereichern.

Des Weiteren soll untersucht werden, inwieweit aus den Reflexionen im Rohr Informationen zu Positionen von Abzweigen gewonnen werden können und inwieweit sich Formteile (Bögen, Abzweige, Dimensionsänderungen) auf deren akustische Eigenschaften voneinander unterscheiden lassen. Erste Messungen sehen dazu recht vielversprechend aus.

AUTOREN

Michael Lange, B.Eng.
Projektmitarbeiter IUAS
michael.lange@
hs-offenburg.de



**Prof. Dr. rer. nat.
Werner Schröder**
Leiter Institute for Unmanned
Aerial Systems (IUAS)
w.schroeder@hs-offenburg.de



