

neutral
unabhängig
gemeinnützig



IKT – Institut
für Unterirdische Infrastruktur

Kurzbericht

Kanal- und Baugrunderkundung im nicht begehbaren Bereich

- Voruntersuchungen -



Redmann, A.
Gelsenkirchen, 2007

Kurzbericht zum Forschungsprojekt: „*Geophysikalische Verfahren zur Kanal- und Baugrund-
erkundung im nicht begehbaren Bereich: Miniaturisierung und Erprobung der Gerätetechnik*“,
Phase I: Machbarkeitsstudie

Forschungsprojekt
gefördert durch:



Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes NRW

Bearbeiter:



IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

Wissenschaftliche Leitung:

Dr.-Ing. Bert Bosseler

Projektleitung und Bearbeitung:

Dipl.-Ing. Andreas Redmann

1 Veranlassung und Zielstellung

Kanäle müssen standsicher, funktionsfähig und dicht sein. Die hydraulische Funktionsfähigkeit und die Dichtheit einer Kanalhaltung lassen sich meist schon aus der optischen Inneninspektion bewerten. Auch eine weitergehende Dichtheitsprüfung kann allein durch Befüllen des Rohrrinneren mit einem Prüfmedium erfolgen. Demgegenüber lassen sich zuverlässige Aussagen zur Standsicherheit nicht allein aus dem Rohrzustand ableiten, denn diese hängt wesentlich vom umgebenen Erdreich und den Bettungsbedingungen der Leitung ab. Grundsätzlich ist der Leitungsgraben einschließlich vertikalem Abschluss durch die Fahrbahn und dem Hohlraumausbau durch das Rohr statisch als Gesamtbauwerk zu betrachten. Der Erkundung dieses Gesamtsystems, d.h. des Kanals und des Baugrunds, kommt insbesondere dann eine große Bedeutung zu, wenn die Standsicherheit z.B. aufgrund von Rohrschäden, Setzungen oder Bodeneinbrüchen an der Oberfläche schon anzuzweifeln ist. Zahlreiche Messverfahren wurden mit Blick auf diese Fragestellung entwickelt und auch schon in praktischen Anwendungsfällen eingesetzt. Umfangreiche **Forschungsarbeiten, z.B. in [1]**, lieferten hierzu schon in der Vergangenheit weitergehende Erkenntnisse, so z.B. zum Einsatz geophysikalischer Messverfahren wie Seismik, Ultraschall und Radar zur Kanal- und Baugrunderkundung im begehbaren Nennweitenbereich.

Der überwiegende Teil der Kanalnetze besteht allerdings aus Rohren kleinerer, nicht begehbaren Nennweite. Ziel der vorliegenden Studie ist es daher, einen Überblick über den gegenwärtigen Stand der Technik der Kanal- und Baugrunderfassung zu geben und die in der Forschung entwickelten sowie am Markt angebotenen Produkte mit Blick auf das besondere Anforderungsprofil in kleinen Nennweiten zu bewerten. Das Handling und die Bedienbarkeit der Messgeräte stehen dabei im Vordergrund.

2 Vorgehensweise

In der Langfassung des Berichts werden zunächst beispielhaft Kanalschäden und deren Ursachen dargestellt und ein Anforderungsprofil für die ganzheitliche Zustandserfassung von Kanal und Baugrund abgeleitet. Der **rechtliche Hintergrund** ist in Abbildung 1 zusammengefasst. Ausgehend von der europäischen Wasserrahmenrichtlinie und deren Umsetzung im Wasserhaushaltsgesetz des Bundes [2] leiten sich konkrete Anforderungen an die Selbstüberwachungspflichten aus der nachgeordneten Landesgesetzgebung ab. In Nordrhein-Westfalen wurden dazu die „Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen“ [3] bzw. der Runderlass „Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen“ [4] erlassen, in denen eine planmäßige, regelmäßige und systematische Erfassung des baulichen und betrieblichen Zustandes der Kanalisation gefordert wird.

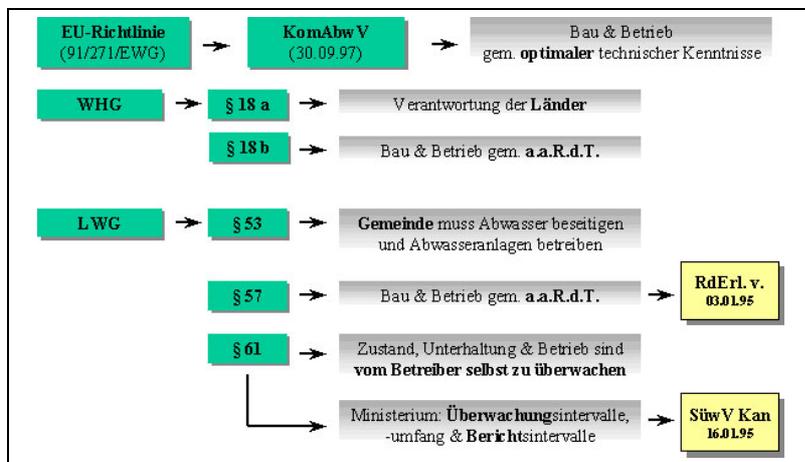


Abbildung 1: Gesetzlicher Rahmen für die SüwVKan [3] und den RdErl. v. 03.01.1995 [4], nach [5]

Im Rahmen des Vorhabens wurden anschließend Verknüpfungen mit technischen Regelwerken, z.B. den Arbeits- und Merkblätter der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) oder der DIN EN 1610 [6] herausgestellt. Schadensbeispiele unterstreichen den möglichen Zusammenhang zwischen Schäden an der Kanalisation und einer Beeinträchtigung des Leitungsumfelds, z.T. bis zur Geländeoberfläche. Eine besondere Betrachtung liegt dabei auf dem Alter der Kanalisation, den in der Vergangenheit eingesetzten Bauverfahren und Materialien sowie den einwirkenden Belastungen z.B. aus Straßenverkehr. Presseberichte, insbesondere über sog. Tagesbrüche im Zusammenhang mit Kanalschäden, bestätigen diese Einschätzung. Die Schlagzeilen: „*Tiefes Loch klafft in der Heimannstraße Aufgrund eines beschädigten Abwasserrohrs wurde die Fahrbahn so unterspült ...*“ [7] oder „*Tagesbruch nach Kanalschaden Der Kanal wurde vom Tiefbauamt umgehend mit einer Spezialkamera untersucht. Auf einer Länge von 175 Metern sei der Zustand des Kanals sehr schlecht ...*“ [8] veranschaulichen dies.

Das gesamte „**Ingenieurbauwerk Leitungsraben**“, d.h. die Rohrleitung einschließlich Bettung, Überschüttung und Straßenoberbau (vgl. Abbildung 2), ist somit als Untersuchungsobjekt für die Kanal- und Baugrunderkundung zu definieren, an dem sich dann auch ein detailliertes **Anforderungsprofil für die Zustandserfassung** orientieren muss. Dabei ist zu unterscheiden, inwieweit Informationen über

- das Rohr,
- das Rohr-Boden-System oder
- den Bodenkörper oberhalb des Rohres

gewonnen werden sollen. Die Inspektionsziele sind entsprechend zu definieren.

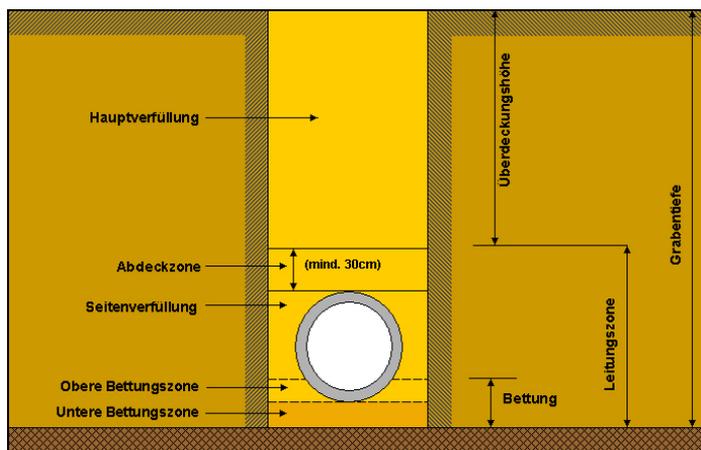


Abbildung 2: Leitungsraben in Anlehnung an DIN EN 1610 [6]

Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen **einer Marktrecherche** innovative Verfahren, Methoden und Technologien zur Kanal- und Baugrunderkundung erfasst, ggf. ersten Testeinsätzen unterzogen und mit Blick auf ihre **grundsätzliche Einsatzmöglichkeit für den vorliegenden Anwendungsfall** bewertet. Bewährte Systeme für Arbeiten in Kanälen kleiner Nennweite wurden ebenso betrachtet, wie großformatige Systemkomponenten, für die eine Miniaturisierung der Sensorik bzw. Anpassung auf den vorliegenden Anwendungsfall möglich erscheint. Der Auswahl geeigneter Trägersysteme kam eine übergreifende Bedeutung zu. Eine vollständige Darstellung der Ergebnisse enthält die Langfassung. Im Folgenden werden einzelne Anwendungsfälle und Schlussfolgerungen beispielhaft dargestellt.

3 Systeme zur Untersuchung des Rohres

Systeme zur optischen Inneninspektion werden von zahlreichen Herstellern angeboten. Analoge und digitaleameratechnik mit unterschiedlichen rad- oder kettengetriebenen Träger- bzw. Fahrwagen sowie Schwimm- und Tauchsysteeme sind im Einsatz. Die Abbildung 3 zeigt beispielhaft 3 aktuelle Modelle von TV-Inspektionssystemen.

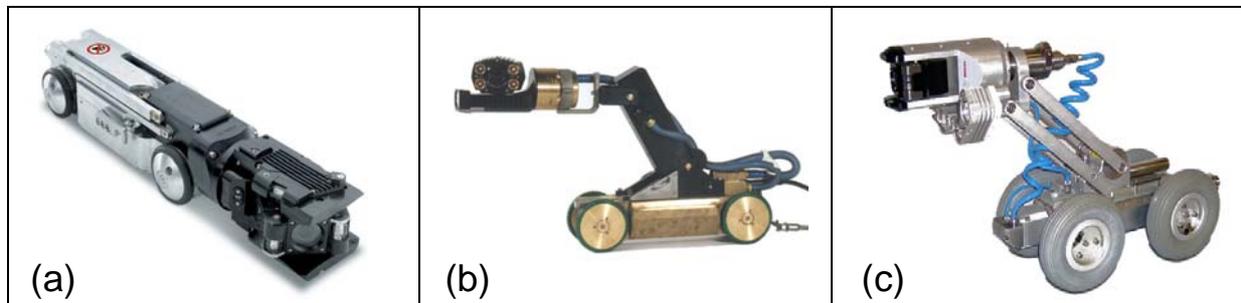


Abbildung 3: TV-Inspektionssysteme

- (a) Kamerafahrwagen KRA 75 für den Einsatz in Kanälen ab der Nennweite DN 150, ausgestattet mit einer Schwenkkopfkamera System Argus mit integriertem Laser zur Durchmesserbestimmung, Temperaturfühler und optionaler Ex Zulassung [9]
- (b) Kamerafahrwagen Turbo II-ex für den Einsatz in Kanälen ab der Nennweite DN 350, exgeschützte Ausführung mit Sensoren zur elektronischen Neigungs- und Temperaturmessung sowie Drucküberwachung, ausgestattet mit einer Dreh-/ Schwenkkopfcameras Typ Rota-RZL [10]
- (c) Kamerafahrwagen FW200 mit Hubeinrichtung für den Einsatz in Kanälen ab der Nennweite DN 400 mit integrierten Neigungssensoren, Kippschutz sowie einer internen Temperatur- und Drucküberwachung, ausgestattet mit einer Schwenk-/Roto-Kamerasonde SR100 Zoom [11]

Nachteil der optischen Inspektion ist, dass das Erkennen und Kodieren der Defekte von der Qualifikation und Motivation des Bedienungspersonals abhängt und folglich immer subjektiv ist [12]. Ergänzend können quantitative Messsysteme weitere belastbare Daten zur Zustandsbewertung liefern, z.B. auf der Basis des Laserlichtring- bzw. Lasertriangulationsverfahrens (Abbildung 4) oder mechanischer Verfahren zur Deformations- bzw. Kalibermessung.

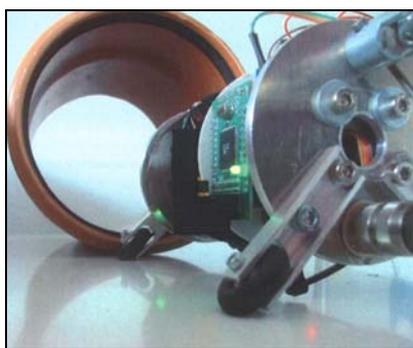


Abbildung 4: Prototyp eines optischen Sensors zur Vermessung von Kanalrohren [13]

Indirekte physikalische Messverfahren, wie Ultraschall und Geoelektrik, werden derzeit zur Inspektion der Rohreigenschaften im Kanalbereich kaum eingesetzt und am Markt hauptsächlich für die Inspektion von Pipelines angeboten. Bei diesen Verfahren lassen sich die Ergebnisse erst im Zusammenhang mit weiteren physikalischen Informationen, wie Werk-

stoffdichte oder Leitfähigkeit, bewerten. In der Regel dienen sie der weitergehenden Beurteilung der Rohrwandungseigenschaften, z.B. mit Blick auf Risse und Fehlstellen oder einer Wanddickenbestimmung. Im Rahmen von Machbarkeitstests zeigte sich, dass Ultraschallverfahren auch zur Detektion von Wurzeleinwuchs in Rohrverbindungen geeignet sein können.

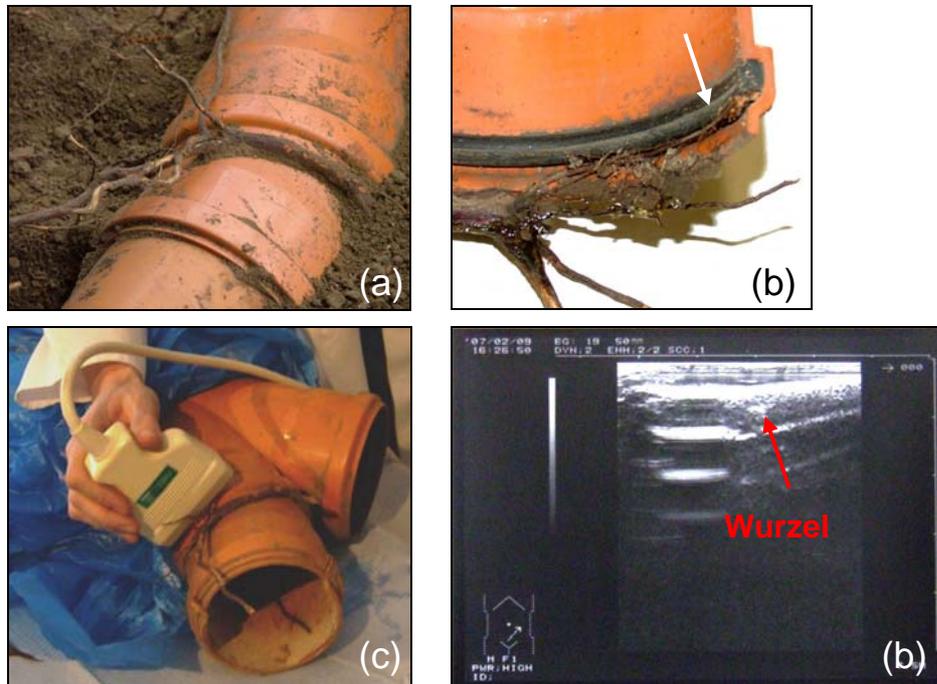


Abbildung 5: Einsatz des Ultraschallverfahrens zur Detektion von Wurzeleinwuchs [IKT]

- (a) Bergung des Probekörpers
- (b) Aufgeschnittenes PVC Rohr mit Wurzeleinwuchs nahe der Dichtung
- (c) Untersuchung einer Rohrverbindung mit Ultraschall (7,5 MHz)
- (d) Ergebnisdarstellung der Ultraschalluntersuchung einer Rohrverbindung mit Wurzeleinwuchs

In einigen Fällen werden Techniken zur optischen Inspektion auch mit Geräten zur Dichtheitsprüfung kombiniert, so z.B. als sog. opto-hydraulische Verfahren (vgl. z.B. [14]). Darüber hinaus wurde auch in zahlreichen wissenschaftlichen Forschungsprojekten die Entwicklung von Multisensorsystemen vorangetrieben, so z.B. unter den Bezeichnungen KURT [15], PIRAT [16] und MAKRO [15].

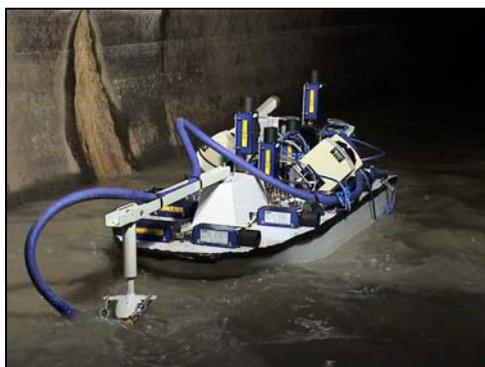


Abbildung 6: Prototyp des Schadenerkennungssystems (SEK) [18]

Als praxisorientiertes Beispiel für die Entwicklung maßgeschneiderter Inspektionstechnik für spezielle Fragestellungen der Abwassertechnik kann das Inspektionssystem der Emscher-Genossenschaft (Abbildung 6) angesehen werden. Der künftige, ständig teilgefüllte „Abwasserkanal Emscher“ soll durch dieses unbemannte System fortlaufend mit Kamertechnik und Sensoren inspiziert werden [17], [18].

4 Verfahren zur Untersuchung des Rohr-Boden-Systems

Die Untersuchung des Rohr-Boden-Systems umfasst die Erfassung der statischen Wechselwirkungen zwischen Rohr und dem umgebenden Bettungskörper. Die angebotenen Messsysteme setzen das Gesamtsystem impulsartig einer physikalischen Beanspruchung aus und zeichnen die Systemantwort für weitere Analyseschritte auf.

Ein **mechanisches Messverfahren**, das bereits als Prototyp in der Praxis eingesetzt wird, ist das sog. „Ovameter“ (Abbildung 7). Bei diesem Verfahren (vgl. [19]) wird eine definierte Verformung aufgebracht und aus der gemessenen Kraft auf die elastischen Eigenschaften des Rohr-Boden-Systems geschlossen, wie z.B. die horizontale Bettungssteifigkeit der Leitungszone. Dies geschieht unmittelbar während der Messkampagne und wird auf einem Monitor dargestellt. Das Messverfahren ist bei biegsamen Rohren bis DN 600 in Sand- oder Sand/Kies-Böden anwendbar.

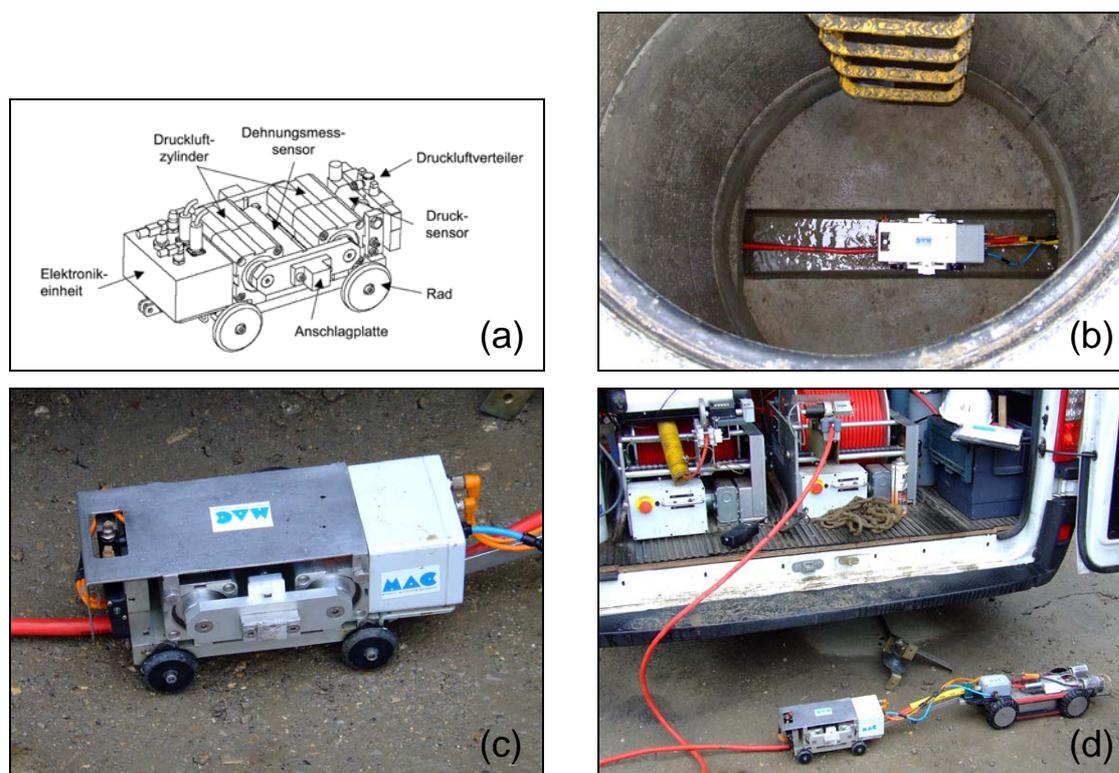


Abbildung 7: Einsatz des „Ovameters“ am 27.02.2007 in Paris [IKT]

- (a) Systemskizze des „Ovameters“ [19]
- (b) „Ovameter“, bereit zur Messung und TV-Inspektionssystem im Kanal
- (c) „Ovameter“, Druckzylinder und Anschlagplatte im Vordergrund
- (d) „Ovameter“ und TV-Inspektionssystem vor dem Inspektionsfahrzeug

Die Abbildung 8 zeigt beispielhaft das Ergebnis einer Messung in der französischen Stadt Samoussy. Untersucht wurde hier die Hinterfüllung eines PVC Rohres DN 200. Es ist zu erkennen, dass die mittels „Ovameter“ ermittelte Steifigkeit der Hinterfüllung des Rohres

(Ovametric stiffness) weitgehend oberhalb des erforderlichen Wertes liegt. Im Bereich der Einsteigschächte (Manhole) und eines seitlichen Anschlusses (Lateral) zeigt die gemessene Steifigkeit eine deutliche Unterschreitung des erforderlichen Wertes.

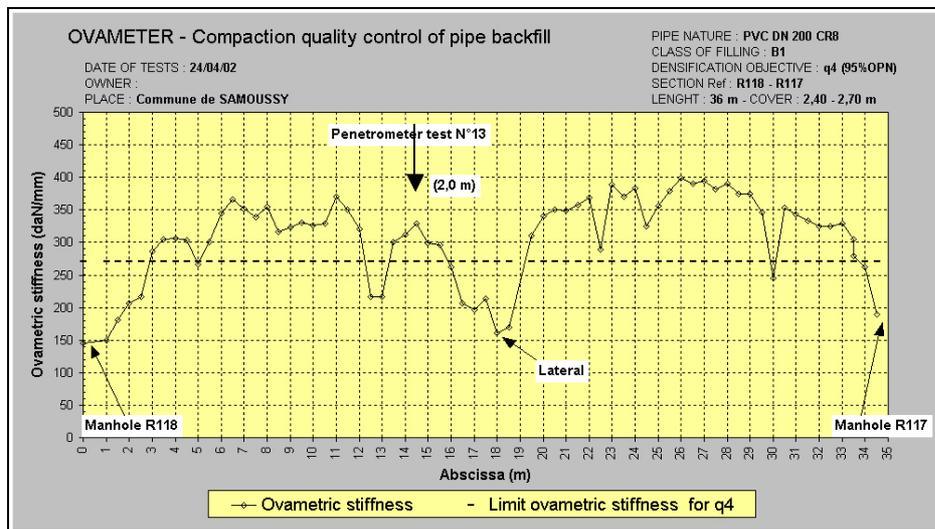


Abbildung 8: Auswertung einer „Ovametermessung“ in Samoussy [20]

Außer zur Verdichtungskontrolle können die Messwerte des „Ovameters“ als Eingangsdaten für eine Kontrollrechnung (3D-FE-Analyse) genutzt werden.

Ein **akustisches Messverfahren** zur Untersuchung des Rohr-Boden-Systems ist die Klopf-schallprüfung, z.B. mit dem „Rohr.Impacto.Meter“ (vgl. [21] und [22]). Bei diesem Verfahren der Schallreflexionsanalyse wird das Rohr z.B. durch einen Hammer in Schwingung versetzt. Die schlagartige Anregung des verlegten Abwasserrohres erzeugt dann im Prüfobjekt eine Schwingungsantwort, die durch räumlich versetzt angeordnete Beschleunigungssensoren erfasst und anschließend, auch unter Einsatz numerischer Modelle, ausgewertet wird. Fehlstellen wie Risse oder Hohlräume im Bereich der Rohrbettung lassen sich so eingrenzen.

Das **Radar-Verfahren** ist ein elektromagnetisches Verfahren, bei dem kurze sehr schnell aufeinander folgende elektromagnetische Impulse von einer Antenne in das Erdreich abgestrahlt werden. Nach der Reflexion an Schichtgrenzen oder Objekten (Leitungen, Rohren, Steinen und Fundamenten) werden diese Signale durch das selbe Gerät wieder empfangen.



Abbildung 9: Kanalradar [23], [24]

Messungen aus dem Kanal heraus (vgl. Abbildung 9) können Informationen über die Lage- rungs- und Überschüttungsverhältnisse im Nahbereich eines Kanals liefern (vgl. [23]), die durch Messungen von der Straßenoberfläche durch den Straßenoberbau hindurch nicht er-

reicht werden. Insbesondere sind dies die Bettungsverhältnisse im „Zwickelbereich“ und unterhalb des Kanals. Voraussetzung für die Erkennung von Anomalien ist jedoch, dass in dem zu untersuchenden Bereich eine deutliche Änderung der dielektrischen Eigenschaften (Feldkonstante, Leitfähigkeit) vorliegt. Das Radarsystem ist nicht anwendbar bei anstehendem Grundwasser. Geräte für den Praxiseinsatz im Kanal werden bereits angeboten. Ergänzende Entwicklungen, auch im Rahmen von Forschungsvorhaben, werden in der Fachwelt gegenwärtig diskutiert (vgl. z.B. [25] und [26]).

Als ergänzende Untersuchungsmethode wurde im Rahmen dieser Studie ein radiometrisches Verfahren, auch als Computertomographie bekannt, beispielhaft zur Detektion von Wurzeln im Erdreich getestet und zeigte dort im Labormaßstab (Abbildung 10) gute Ergebnisse. Für den Praxiseinsatz sind allerdings noch erhebliche technische Weiterentwicklungen erforderlich.

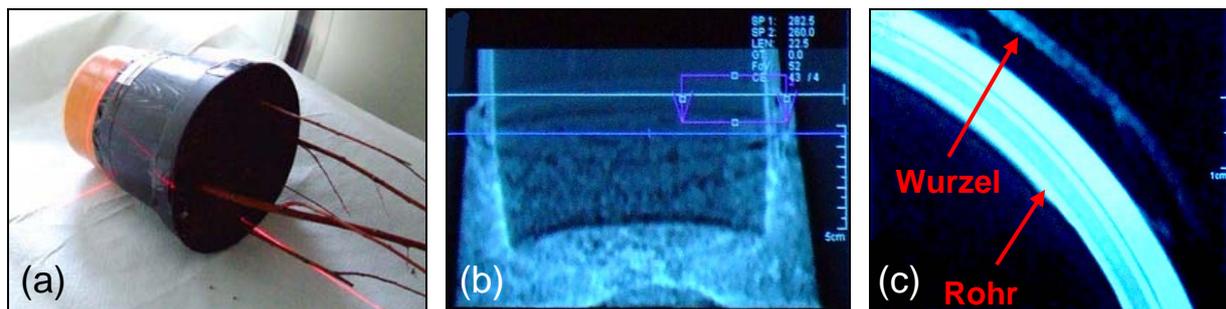


Abbildung 10: Untersuchung eines Probekörpers (KG-Rohr) mittels Spiral-CT [IKT]

- (a) Probekörper (KG-Rohr) während der Untersuchung
- (b) Berechnetes Computertomogramm
- (c) 2D-Schnittbild des Probekörpers

Multisensorsysteme, wie KARO [27] und SAM [28], bieten darüber hinaus die Möglichkeit zum Einsatz weiterer Sensoren und Messverfahren, wie z.B. Mikrowellen-Rückstreuungssensoren [29]. Zur optischen Untersuchung bereits festgestellter Schwachstellen im Rohr-Boden-System bietet sich ggf. der Einsatz von Endoskopen (vgl. [30]) an, z.B. durch offene Schäden oder Bohrlöcher in der Rohrwandung.

5 Verfahren zur Untersuchung des Bodenkörpers

Ergänzend zu den o.a. Techniken wurde auch der Einsatz klassischer Verfahren der Baugrunderkundung für den vorliegenden Anwendungsfall hinterfragt, wie z.B. Sondierungsverfahren, Ramm- und Drucksondierung. Die Vorgehensweise beim Einsatz der Reflexions- und Refraktionsseismik sowie der seismischen Tomographie wurde erläutert und auf der Grundlage von Erfahrungen aus eigenen Messkampagnen bewertet. Die seismische Tomographie wurde im Rahmen dieser Studie zur Erkundung des Bodenkörpers einer Testhaltung DN 300 eingesetzt. In einem Messdurchgang wurden die Signale mit einer sog. Terfenol-D Quelle innerhalb des wassergefüllten Kanalrohres erzeugt und an der Geländeoberfläche mit Geophonen empfangen. In einer zweiten Messreihe wurden die Signale mittels Hammerschlag an der Geländeoberfläche erzeugt und innerhalb des wassergefüllten Kanal über Hydrophone empfangen (vgl. Abbildung 11).

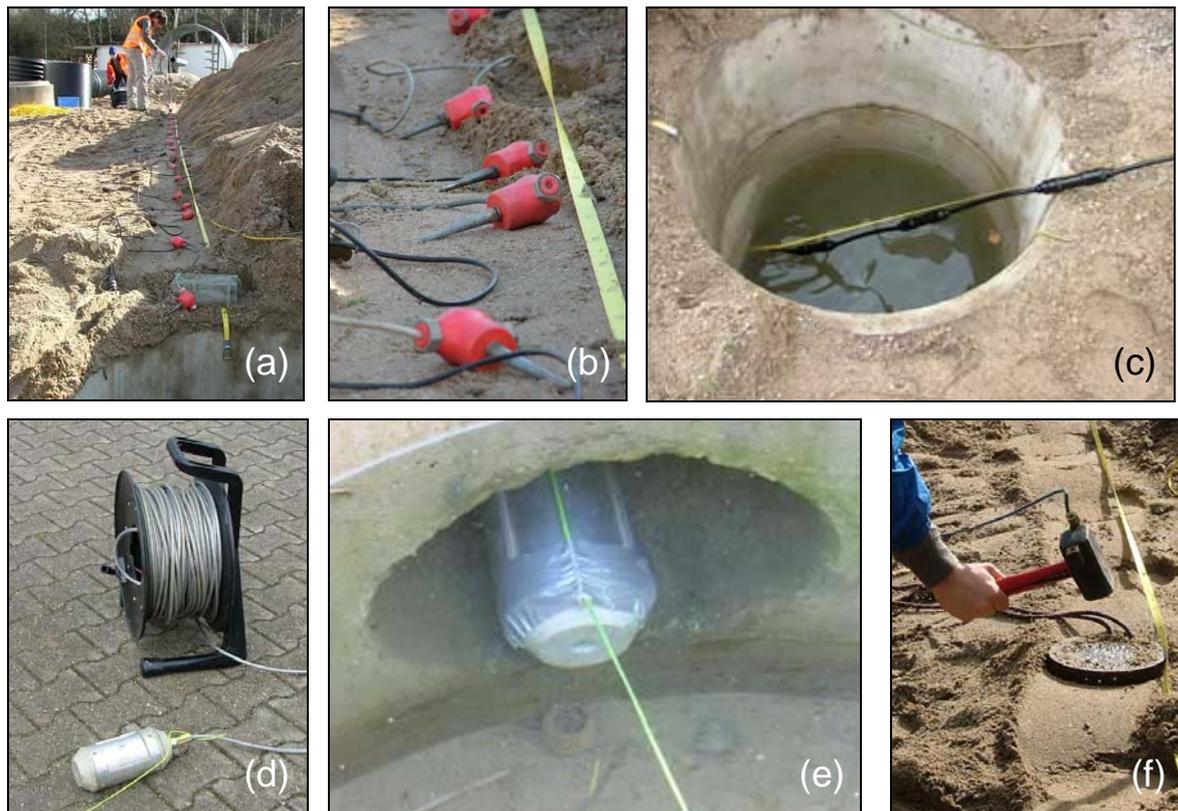


Abbildung 11: Einsatz der seismischen Tomographie innerhalb einer Testhaltung [IKT]

- (a) Testhaltung, Überdeckungshöhe 0,9 m, Einsteigschächte DN 1000 mit ausgelegten Geophonen
- (b) Geophone
- (c) Hydrophonkette mit einem Messaufnehmerabstand von 0,5 m
- (d) Terfenol-D Quelle zur Signalanregung innerhalb des vollgefüllten Kanals
- (e) Terfenol-D Quelle im Kanal
- (f) Signalanregung an der Geländeoberfläche mittels eines 2 kg Hammer mit piezoelektrischer Keramik als Impulsgeber

In Abbildung 12 ist ein Ergebnisbeispiel für die „*Hammerschlagmessung*“ dargestellt. Größere Störkörper und signifikante Bodenstrukturänderungen sind dabei nicht zu erkennen. Lediglich wassergesättigte Bereiche des Bodenkörpers und verfestigtem Bodenmaterial zeichnen sich ab (blaue Bereiche). Während die Auswertung der gewonnenen Daten besondere Qualifikationsanforderungen stellt, können die ausgewerteten Messergebnisse auch dem messtechnischen Laien als Grundlage für die weitere bautechnische Bewertung dienen.

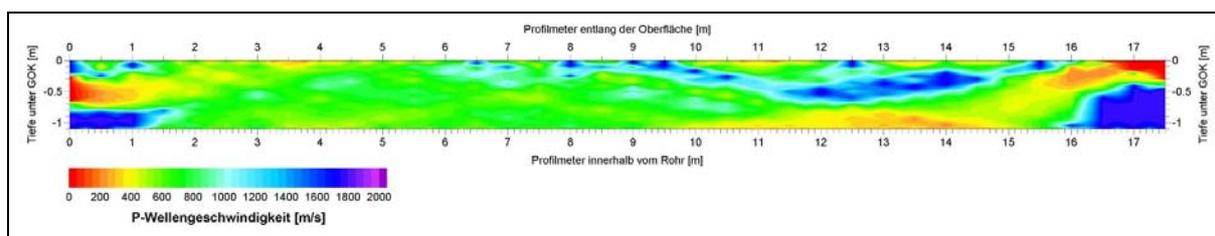


Abbildung 12: Verteilung der P-Wellengeschwindigkeit innerhalb des berechneten Modells [31]

Die kapazitive Geoelektrik (vgl. z.B. [32]) stellt ein weiteres Messverfahren dar, mit dem bereits heute der Untergrund von der Geländeoberfläche aus detektiert werden kann.

Neben der o.a. Anwendung des Radars aus dem Kanal heraus wird das Radarverfahren auch als Messsystem von der Straßenoberfläche aus eingesetzt bzw. weiterentwickelt. Im Rahmen dieser Studie wurde der Einsatz des Radarverfahrens ebenfalls zur Erkundung des Bodenkörpers der Testhaltung DN 300 eingesetzt. Dabei wurde die Antenne entlang einer Profillinie zwischen zwei Einsteigschächten bewegt. Bei einer weiteren Messung im Kanal wurde die Antenne auf einem Rollwagen platziert und durch den Kanal gezogen. Die Abbildungen 13 und 14 stellen ein Ergebnis dieser Messung dar. Die durchgeführten Messungen zeigen, dass das Radar in einem nicht begehbaren Abwasserkanal einsetzbar ist. Oberhalb des Grundwasserspiegels können auswertbare Messwerte gewonnen werden.

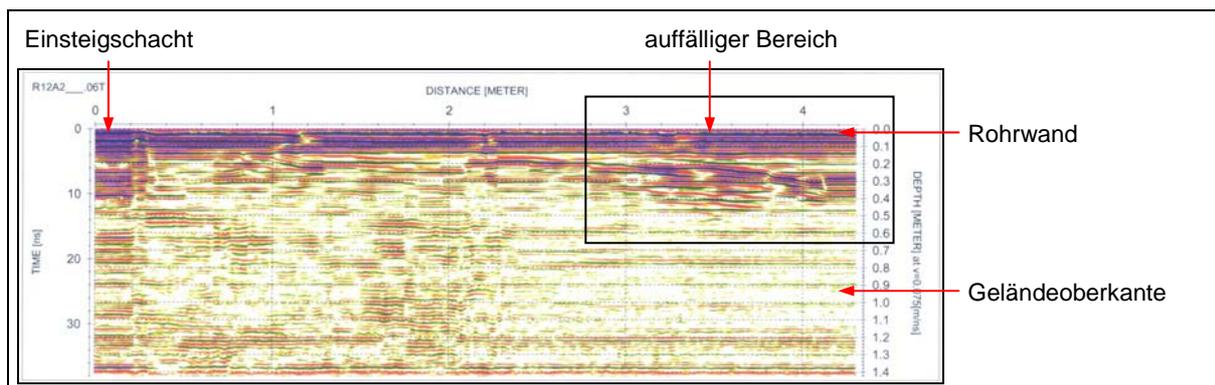


Abbildung 13: Radar-Profil, gemessen mit einer 1.200 MHz Antenne im Kanalrohr [31]

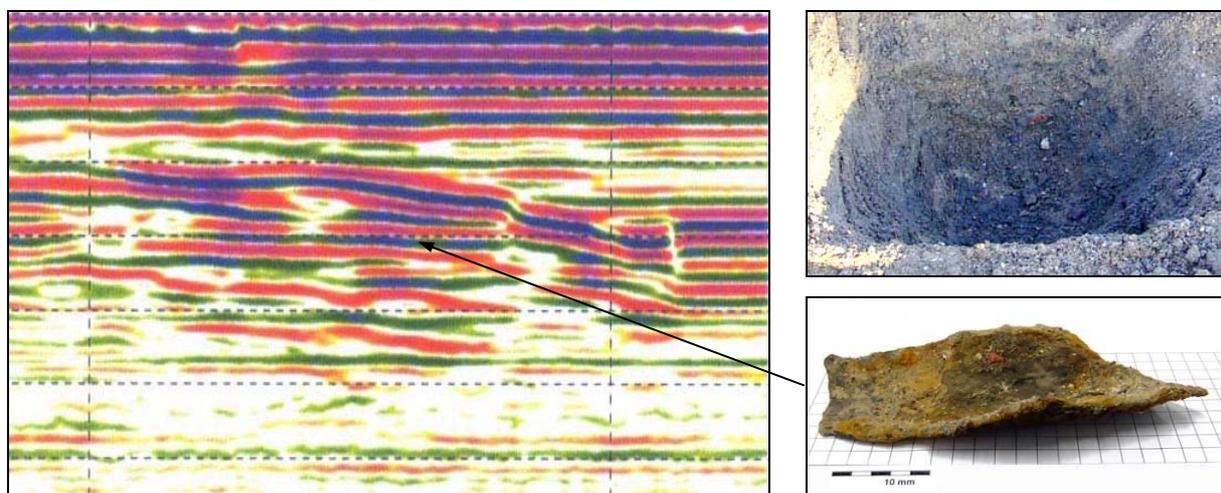


Abbildung 14: Detaildarstellung zwischen Profilmeter 3 und 4, Aufgrabung und Ursache der Reflexion, Scherbe eines Gussrohres [89]

Radiometrische Messgeräte (vgl. [33]) werden heute im Hoch- und Straßenbau vielfach zur Schadenserkennung und Qualitätskontrolle eingesetzt. Ein praktischer Einsatz im Kanal- oder Leitungsbau ist bisher nicht bekannt.

6 Arbeitsroboter und Trägersysteme

Zum Einsatz von Messtechnik oder Sensoren innerhalb eines nicht begehbaren Abwasserkanals müssen diese Geräte i.d.R. innerhalb des Kanals bewegt oder geführt werden bzw. Vorarbeiten geleistet werden. Bereits heute sind eine Vielzahl unterschiedlicher Roboter am

Markt verfügbar, die in nicht begehbaren Kanälen für unterschiedliche Arbeiten, z.B. Wurzelschneiden, Fräsen, Spachteln, Sanierungsarbeiten, Kabelinstallation und auch zur Inspektion, eingesetzt werden (vgl. z.B. [34]). Ein Einsatz als Trägersysteme für die o.a. Techniken der Kanal- und Baugrunderkundung scheint vielfach nach Modifikation möglich. Eine umfassende Darstellung enthält die Langfassung.

7 Schlussfolgerungen und Perspektiven

Die vorliegende Studie – insbesondere die Langfassung - gibt einen Überblick über den gegenwärtigen Stand der Technik der Kanal- und Baugrunderfassung sowie die in der Forschung entwickelten und am Markt angebotenen Produkte. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Anforderungsprofil einer Zustandserfassung in Kanälen kleiner, nicht begehbaren Nennweiten. Auf dieser Basis werden nachfolgend einige grundlegende Schlussfolgerungen für die Praxis der Zustandserfassung sowie Perspektiven für weitere Untersuchungen zusammengefasst.

Die heutige Praxis der Zustandserfassung und -bewertung zeigt:

- Mit der **optischen Inspektion** werden die Anforderungen des technischen Regelwerkes an die Zustandserfassung bereits grundsätzlich erfüllt. Verstärkt werden dabei auch digitale Systeme mit ergänzender Auswertesoftware (2D-, 3D-Abwicklungen) eingesetzt, die eine Trennung der einzelnen Inspektions- und Auswerteschritte unterstützen. Vermessungssysteme, z.B. mit Lasertechnik, ergänzen ggf. die qualitative Aufnahme um weitere Messdaten.
- Zur zuverlässigen **Bewertung der Standsicherheit** reichen Informationen allein aus der optischen Inspektion nur selten aus (z.B. Einsturz). Neben den Informationen über das Rohr, fordert eine Standsicherheitsanalyse - auch in Anlehnung an geltende Regelwerke zur statischen Berechnung - weitergehende Kenntnisse zum Rohr-Boden-System in der Leitungszone und dem darüber liegenden Boden. Schadensbilder an Kanälen belegen diese Notwendigkeit anschaulich.
- Eine stärkere Betrachtung des Baugrundes im Rahmen der Inspektion wird auch durch eine **Ergänzung des Regelwerkes** durch die DWA angestrebt, insbesondere da z.B. geophysikalische Verfahren durch den Praktiker noch häufig mit Skepsis betrachtet werden. Dies scheint dadurch begründet, dass der Einsatz dieser Technik eine besondere **Qualifikation** erfordert und auch die Interpretation der Ergebnisse dem Laien kaum vermittelbar ist.
- Als **Trägersysteme** auch für neue Inspektionstechniken kann auf eine Vielzahl von Fahrzeugen, Arbeitsrobotern und sog. Fernlenkmanipulatoren zurückgegriffen werden. Diese werden bereits zur Inspektion von Leitungen und Kanälen sowie für den Einsatz in schwer zugänglichem Gelände und unter Wasser angeboten.

Weitergehende Inspektions- und Messsysteme wurden bereits in zahlreichen Forschungsvorhaben, aber auch in einzelnen Praxisanwendungen eingesetzt. Eine Fortentwicklung ist insbesondere im Bereich der optischen Inspektion und Vermessungstechnik zu beobachten:

- Als **ergänzende Messmethoden** zur Erfassung der Rohrgeometrie und Rohr-Boden-Eigenschaften werden heute bereits Lasermessgeräte, mechanische Prüfungen („Ovameter“), Radar und akustische Messverfahren („Rohr.Impacto.Meter“) eingesetzt. Einige Mess-Module werden auch zur Ergänzung klassischer Videoinspektionssysteme angeboten, so z.B. als Lichtring-Verfahren zur Querschnittsvermessung.
- Die Ultraschalltechnik zur Analyse der Rohrwandung und Schweißnähte gehört insbesondere im Pipeline-Bereich (Rohre aus Metall) zum Standard.
- **Hochtechnisierte Messsysteme** wurden in der Vergangenheit meist in Zusammenarbeit mit Universitäten und Forschungsgesellschaften – auch unter Einsatz erhebli-

cher Fördermittel – entwickelt. Als Ziel wurde dabei häufig angestrebt, eine Vielzahl unterschiedlicher Techniken in Multisensorsystemen so zu kombinieren, dass auch schwierige Fragestellungen unter Einsatz eines einzelnen Fahrwagens gelöst werden können. Die grundsätzlichen Einsatzmöglichkeiten und –grenzen der Verfahren standen dabei im Zentrum der wissenschaftlichen Analyse. In der Regel handelte es sich um vorwettbewerbliche Forschung. Eine Praxiserprobung bis zur Marktreife steht i.d.R. noch aus.

- Einzelne **geophysikalische Messmethoden**, insbesondere Radar, wurden schon erfolgreich auch in nicht begehbaren Abwasserkanälen eingesetzt. Andere geophysikalische Methoden wie z.B. seismische Tomographie scheinen zwar prinzipiell anwendbar, fordern aber noch erhebliche Entwicklungsarbeit bis zur Praxisreife. Dies betrifft z.B. die Bewegung und genaue Positionierung der Sensoren innerhalb des Abwasserkanals, die Identifikation geeigneter Schallquellen für den Vor-Ort-Einsatz sowie die Eingrenzung möglicher Störeinflüsse, wie z.B. Umgebungsgeräusche und –erschütterungen.
- Eine umfassende Analyse des Rohr-Boden-Systems fordert häufig den gleichzeitigen Einsatz unterschiedlicher Messverfahren. Darüber hinaus empfiehlt sich stets ein Abgleich mit Ergebnissen aus der klassischen Baugrunderkundung, z.B. Aufschlüssen, Bohrungen oder Rammsondierungen. Die qualitativen flächenhaften Aussagen aus der Erkundung mit geophysikalischen Verfahren lassen sich so anhand quantitativer Messwerte an Einzelpunkten kalibrieren bzw. auf Plausibilität überprüfen.

Mit Blick auf den künftigen Einsatz innovativer Messverfahren zur Kanal- und Baugrunderkundung lässt sich folgender Informations- und Untersuchungsbedarf feststellen:

- Die heute übliche Zustandsbewertung allein auf Basis der optischen Inneninspektion greift zu kurz. Das „**Ingenieurbauwerk Leitungsraben**“ umfasst neben dem Hohlraumausbau durch das Kanalrohr auch den umgebenden Boden, die Überschüttung und ggf. den Straßenoberbau. Eine Weiterentwicklung des Regelwerkes sollte hier ansetzen und die bereits in der statischen Berechnung dargestellten Zusammenhänge auch in das Betriebswissen einfließen lassen. Hieraus könnten dann auch praxisnahe Empfehlungen abgeleitet werden, die sich am speziellen Informationsbedarf des Betriebspersonal orientieren. So ließen sich neben den bekannten Schadensbildern auch ergänzende Informationen zum Leitungsumfeld, wie z.B. Verkehrsbelastungen, angrenzende Baumaßnahmen und Leitungen, Zustand der Fahrbahndecke und Grundwasserstand, erfassen.
- Die Vielfalt der möglichen Erkundungsverfahren fordert Kenntnisse hinsichtlich der spezifischen Einsatzmöglichkeiten und –grenzen. Die Entscheidung, welches Erkundungsverfahren wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden kann, hängt insbesondere von den örtlichen Randbedingungen ab und bleibt eine Ingenieurleistung. Zusammenhänge zwischen den erkennbaren Schadensbildern, den örtlichen Belastungsbedingungen und möglichen Lagerungsdefekten oder Hohlräumen sind zu erkennen und sinnvolle **Entscheidungskriterien zur Methoden- und Verfahrensauswahl** auf der Basis von Laboruntersuchungen sowie Testeinsätzen in Abwasserkanälen zu entwickeln. Die einzelnen Messsysteme sind insbesondere hinsichtlich der auflösbaren Informationsdichte und deren Genauigkeit zu bewerten.
- Der aktuelle Markt-Überblick lässt vermuten, dass **künftig verstärkt modulare Messsysteme** entwickelt werden, die dann für unterschiedliche Fragestellungen kombiniert eingesetzt werden können. Spezialisierte Anbieter (optische Inspektion, Vermessung, Erkundung der Kanalumgebung) können dann im Qualifikationsverbund spezialisierte Leistungen anbieten. Wie derartige Leistungen auszuschreiben, zu überwachen und zu dokumentieren sind, ist noch weitgehend offen. Ggf. sind hier entsprechende **Ausschreibungsempfehlungen** für Netzbetreiber zu erarbeiten.

Als abschließender Ausblick bleibt festzuhalten:

- Auch wenn die technische Entwicklung rasant fortschreitet, scheint eine Kanal- und **Baugrunderkundung des gesamten Netzes**, d.h. sämtlicher älterer, bereits verlegter Kanäle und Leitungen wirtschaftlich kaum realisierbar. Innovative Techniken stehen stets im Wettbewerb zu bewährten Methoden der Baugrunderkundung, wie z.B. Rammsondierungen. Nur wenn bessere Aussagen zum gleichen Preis oder andere wirtschaftliche Vorteile zu erwarten sind, werden neue Techniken sich überhaupt durchsetzen können. Der Einsatz scheint daher bis auf Weiteres auf Einzelfälle, z.B. Schäden mit besonderem Gefährdungspotenzial, beschränkt.
- Eine echte Perspektive besitzt der „**gläserne Kanal**“, wenn die Anforderungen an die Inspektion des „*Ingenieurbauwerkes Leitungsraben*“ bereits bei der Planung und Dimensionierung neuer Netze, der Auswahl von Rohr- und Bodenmaterialien sowie der Qualitätssicherung beim Einbau berücksichtigt werden. Ein Beispiel bietet das Inspektionssystem für den sog. „*Abwasserkanal Emscher*“. Entsprechende Zusammenhänge sind in künftigen Studien und Forschungsarbeiten zu erkennen und ggf. in Produktlebenszyklus-Analysen weiter auszuarbeiten.

8 Literatur

- [1] Endbericht zum Forschungsvorhaben „*Quantitative Inspektion von Abwasserkanälen und -leitungen mittels geophysikalischer Verfahren*“, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (MUNLV); Abschluss September 2003.
- [2] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) vom 27.07.1957 in der Fassung und Bekanntmachung vom 12.11.1996.
- [3] Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitungen von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem (Selbstüberwachungsverordnung Kanal – SüwVKan, 16. Januar 1995.
- [4] Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen, RdErl. d. Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft v. 03.01.1995; Ministerialblatt für das Land NRW, Nr. 14: S. 251- 253; Düsseldorf 1995.
- [5] Bosseler B.; Birkner T., Gronau U.: Erfassung und Auswertung von Erfahrungen mit der Umsetzung der SüwVKan; Untersuchung am IKT im Auftrag des MUNLV; Entwurf August 2001.
- [6] DIN EN 1610, Ausgabe: 1997-10: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen.
- [7] Westdeutsche Allgemeine Zeitung. Lokalausgabe Bottrop vom 09.04.2005.
- [8] Westdeutsche Allgemeine Zeitung. Lokalausgabe Bottrop vom 08.01.2005.
- [9] Informationen der IBAK Helmut Hunger GmbH, Kiel (www.ibak.de).
- [10] Informationen der JT- elektronik GmbH, Lindau (www.jt-elektronik.de).
- [11] Informationen der RICO EAB Gesellschaft für Mikroelektronik mbH, Kempten (www.rico-eab.de).
- [12] Starke, D.: Kanalspiegelung, UmweltMagazin 10/2003, S. 44, 45.
- [13] Informationen der ProKasro Mechatronik GmbH, Karlsruhe (www.prokasro.de) und des Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung IITB, Karlsruhe (www.iitb.fraunhofer.de).
- [14] Informations-, Lern- und Arbeitsplattform Unitracc, www.unitracc.de, Stein & Partner GmbH, Bochum.
- [15] Informationen des Fraunhofer Institut für Autonome Intelligente Systeme AIS, Sankt Augustin (www.kanalrobotik.de).
- [16] Informationen der CSIRO Manufacturing and Infrastructure Technology, Australia (www.vision.cmit.csiro.au/project/pirat/).
- [17] Informationen des Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und –automatisierung IFF, Magdeburg (www.iff.fraunhofer.de).
- [18] Informationen der Emschergenossenschaft/Lippeverband, Essen.
- [19] Thépot, O.: *Prise en compte des caractéristiques en petites déformations des sols dans l'étude du comportement des collecteurs enterrés*, Dissertation, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2004.
- [20] Informationen der SAGEP service MAC, Paris.
- [21] Informationen der GSP Gesellschaft für Schwingungsuntersuchungen und dynamische Prüfmethode mbH, Mannheim (www.gsp-mannheim.de).
- [22] Herbst, J.: *Zerstörungsfreie Prüfung von Abwasserkanälen mit Klopferschall*. Dissertation, Universität Karlsruhe, Fakultät für Maschinenbau, Schriftenreihe des Instituts für Mess- und Regelungstechnik Nr. 003, 2004.
- [23] Merkblatt DWA-M 149-4: *Zustandserfassung und –beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 4: Detektion von Lagerungsdefekten und Hohlräumen in der Umgebung von Leitungen*, Entwurf Oktober 2006.

- [24] Meinecke, M.: Einsatz von Radar in der Kanalisation, bi Umweltbau 3/04 S. 60-63.
- [25] Informationsmaterial zum Workshop „Einsatzmöglichkeiten des Georadars als Verfahren zur Detektion und Bewertung von Lagerungsdefekten und Hohlräumen im Bereich erdverlegter Abwasserkanäle“ des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (ISA), 14. 02.2006, BEW Duisburg.
- [26] Informationen des FITR Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e.V. (www.fitr.de).
- [27] Kuntze, H. B.; Haffner, H.; Selig, M.; Schmidt, D.; Janotta, K.; Loh, M.: Entwicklung eines flexibel einsetzbaren Roboters zur intelligenten sensorbasierten Kanalinspektion (KARO), 4. Internationaler Kongress Leitungsbau, Hamburg, 1994.
- [28] Informationen des Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung IITB, Karlsruhe (www.iitb.fraunhofer.de).
- [29] Munser, R.; Hartrumpf, M.: Detektion verdeckter Anomalien im Bettungsbereich von Abwasserrohren mit einem Mikrowellen-Rückstreusensor, Technisches Messen 7–8/2003.
- [30] Informationen der Karl Storz GmbH, Tuttlingen (www.karlstorz.de).
- [31] Informationen der DMT GmbH, Essen (www.dmt.de).
- [32] Trassenuntersuchungen mittels hochauflösender kapazitiver 2D-Geoelektrik. Informationen der Dr. Donié Geo-Consult GmbH, Karlsbad (www.donie-geo-consult.de).
- [33] Informationen der Troxler Electronic Laboratories Inc., Research Triangle Park, NC (www.troxlerlabs.com).
- [34] Informationen der ProKasro Mechatronik GmbH, Karlsruhe (www.prokasro.de).

