

Endbericht

Pilotstudie Inspektion teilgefüllter Kanäle



**Sokoll, O.
Gelsenkirchen, 2007**

Auftraggeber:



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

Bearbeitung:



IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen



STEB Stadtentwässerungsbetrieb Paderborn
Technisches Rathaus
Pontanusstraße 55
33102 Paderborn

WISSENSCHAFTLICHE LEITUNG

Dr.-Ing. Bert Bosseler

PROJEKTLEITUNG UND BEARBEITUNG

Dipl.-Ing. Oliver Sokoll

Dipl.-Ing. Andreas Downar

DANKSAGUNG

Für die zahlreichen Anregungen und die fachliche Diskussion im Rahmen der Beteiligung im Projektbeirat danken wir:

- Christine Appelt, Stadtentwässerung Neuss
- Dieter Drieschner (Vertreter: Detlef Enders, Matthias Ventker), Stadt Hilden
- Frank Großklags, Stadt Bochum
- Andreas Hengstler (Beiratssprecher), Stadtentwässerungsbetrieb Paderborn
- Stefan Hüttenrauch, Stadtentwässerungsbetrieb Köln AöR
- Roland Kammerer, Stadtentwässerung Frankfurt am Main
- Jens Klingebiel, Wupperverband
- Christian Koch, Stadt Olpe
- Thomas Palz, Stadtbetrieb Abwasserbeseitigung Lünen AöR (SAL)
- Michael Schoppen, Stadtentwässerungsbetrieb Düsseldorf
- Friedrich Schürmann, Umweltbetrieb der Stadt Bielefeld, Stadtentwässerung
- Norbert Wigger, Stadtentwässerung Stadt Ahaus

Ein besonderer Dank für die Vorbereitung, Begleitung und Unterstützung der im Paderborner Untersuchungsobjekt durchgeführten Kanalinspektionen gilt den beteiligten Mitarbeitern des Stadtentwässerungsbetriebes Paderborn. Darüber hinaus danken wir den Mitarbeitern folgender Firmen für ihr Engagement bei den Inspektionsmaßnahmen: Tauchunternehmen und Apparatebau Hirt (Koblenz), ISAS GmbH (Füssen), Gustav Kehne Bauunternehmen GmbH (Detmold), Lönne Entsorgung GmbH & Co. KG (Lippstadt), Pader Kanal Technik - Rohr Frei GmbH & Co. KG (Paderborn-Sennelager) und Radiodetection Ltd. (Bristol, UK). In diesem Zusammenhang danken wir auch der Stadtwerke Osnabrück AG, die ihren auf das Kamerasystem „Argus“ abgestimmten Fahrwagenzusatz zur Verfügung stellte, sowie der IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG (Kiel) für die Bereitstellung des Systems „Cerberus“.

Der ISAS GmbH gilt unser Dank dafür, dass wir im Vorfeld des Praxiseinsatzes in Paderborn eine Kanalbegehung in Kaiserslautern begleiten durften, um auf diese Weise einen Einblick in die Arbeitsweise der Inspektoren zu erhalten. Bedanken möchten wir uns ebenfalls bei Herrn Meyer-Hübner von der BASF AG für die Erläuterungen zum Einsatz einer Heberanlage im Rahmen eines Vor-Ort-Termins in Ludwigshafen sowie bei Herrn Bernd Otte (Horstedt) für die Bereitstellung eines Ejektors für Versuche zum Thema Durchleiten. Mit Blick auf den Demonstrationseinsatz einer Propellerdüse zur Großkanalreinigung (Hersteller: Enz Technik AG, Giswil/Schweiz) in Paderborn danken wir sowohl der Günther Sausgruber Kanaltechnik GmbH (Frankenthal) für die Bereitstellung des Reinigungsgerätes und die Begleitung der Vorführung als auch der Firma ZRKT - Zentrum für Rohr- und Kanaltechnik (Lünen) für die Dokumentation des Vor-Ort-Einsatzes unter Verwendung der Inspektionssysteme Schachtkamera (Hersteller: Ritec GmbH, Haldenwang) und Quickview (Hersteller: EnviroSight LLC, Randolph, USA).

Darüber hinaus danken wir Herrn Dr.-Ing. Olaf Kaufmann (öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Kanalisationstechnik und Dichtheitsprüfungen) vom gleichnamigen Ingenieurbüro (Bochum, Köln) für die Unterstützung in Fragen der Anwendung von temporären Absperrelementen unter besonderer Berücksichtigung der betrieblichen Randbedingungen des Paderborner Untersuchungsobjektes.

BILDNACHWEIS FÜR DIE TITELSEITE:

1. Reihe: links: TV-Inspektionsroboter: Argus 4¹ mit Fahrgestell² für Großrohre; Foto: IKT
rechts: bemannte Kanalbefahrung: Inspekteur mit Fahrwagen³; Foto: IKT
2. Reihe: links: Kanalbegehung: Inspekteur der ISAS GmbH, Füssen; Foto: IKT
rechts: TV-Inspektionsroboter: Argus 4¹ mit Schwimfloß⁴; Foto: IKT

¹ Hersteller: IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG, Kiel

² Hersteller: Pader Kanal Technik - Rohr Frei GmbH & Co. KG, Paderborn-Sennelager

³ Hersteller: Tauchunternehmen und Apparatebau Hirt, Koblenz

⁴ Hersteller: Lönne Entsorgung GmbH & Co. KG, Lippstadt

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | VERANLASSUNG, ZIELSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE..... | 1 |
| 2 | STAND DER TECHNIK..... | 4 |
| 2.1 | INSPEKTIONSTECHNIK | 5 |
| 2.2 | KANALREINIGUNG..... | 15 |
| 2.3 | VORFLUTSICHERUNG..... | 17 |
| 2.3.1 | Absperren..... | 18 |
| 2.3.2 | Überleiten..... | 22 |
| 2.3.3 | Durchleiten..... | 25 |
| 3 | ERGÄNZENDE UNTERSUCHUNGEN | 26 |
| 3.1 | ERFAHRUNGEN DER KANALNETZBETREIBER..... | 26 |
| 3.2 | IN-SITU-BEOBACHTUNGEN | 29 |
| 3.2.1 | Heber-Einsatz in Ludwigshafen | 29 |
| 3.2.2 | Kanalbegehung in Kaiserslautern..... | 31 |
| 3.3 | IKT-VERSUCHE..... | 33 |
| 3.3.1 | Ejektordüse zur Wasserspiegelabsenkung..... | 34 |
| 3.3.2 | Druckkammer zur Kanalsohleninspektion | 36 |
| 4 | ARBEITSSICHERHEIT | 41 |
| 4.1 | ALLGEMEINE GEFÄHRDUNGEN UND SICHERHEITSHINWEISE | 41 |
| 4.2 | PROVISORISCHE ROHRABSPERRGERÄTE..... | 44 |
| 4.2.1 | Gefahren und Arbeitsunfälle | 45 |
| 4.2.2 | Anwendungsfall: Paderborner Haupt-Schmutzwassersammler..... | 47 |
| 5 | IN-SITU-INSPEKTIONEN IN PADERBORN | 52 |
| 5.1 | EINFÜHRUNG..... | 53 |
| 5.2 | IST-AUFNAHME DES UNTERSUCHUNGSOBJEKTES..... | 55 |
| 5.2.1 | Vorgehensweise..... | 55 |
| 5.2.2 | Vermessung und Inspektion der Schächte..... | 57 |
| 5.2.3 | Daten-Zusammenfassung | 64 |
| 5.3 | LÖSUNGSANSÄTZE UND VERFAHRENSAUSWAHL..... | 77 |
| 5.3.1 | Kanalreinigung | 77 |
| 5.3.2 | Wasserhaltung..... | 79 |
| 5.3.3 | Inspektion..... | 82 |
| 5.4 | UMSETZUNG..... | 84 |
| 5.4.1 | Inspektionstechnik I: Fahrender Roboter A | 87 |
| 5.4.2 | Inspektionstechnik II: Fahrender Roboter B..... | 90 |
| 5.4.3 | Inspektionstechnik III: Fahrender Roboter C | 93 |
| 5.4.4 | Inspektionstechnik IV: Schwimmfähiger Roboter..... | 95 |
| 5.4.5 | Inspektionstechnik V: Bemannte Kanalbefahrung | 99 |
| 5.4.6 | Inspektionstechnik VI: Kanalbegehung..... | 104 |
| 5.4.7 | Zusammenfassung | 107 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6 | PLANUNGSEMPFEHLUNGEN..... | 113 |
| 7 | ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK..... | 117 |
| 8 | LITERATUR..... | 124 |

1 Veranlassung, Zielstellung und Vorgehensweise

Zum Schutz der Umwelt vor Verschmutzung durch Niederschlagswasser und Abwasser aus Haushalten, Gewerbe und Industrie werden Abwasseranlagen (u.a. Kanalnetz, Schächte, Entlastungsbauwerke, Pumpwerke, Regenklärbecken) zur Sammlung und Ableitung von Regen- und Schmutzwasser gebaut und betrieben. Die Anlagen müssen zum einen so geplant und gebaut sein, dass sie die sicherheitstechnischen und betrieblichen Anforderungen erfüllen. Zum anderen müssen sie jederzeit betriebsbereit sein. Dies wird gewährleistet durch Maßnahmen zur **Instandhaltung** (vgl. [1]). Nach [2] sind unter dem Begriff Instandhaltung sowohl Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Soll-Zustandes als auch zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes zu verstehen, d.h. Wartung, **Zustandserfassung** und Sanierung. Der Entwurf zum DWA-Merkblatt M 149-2 aus dem Jahr 2006 [3] beinhaltet als Definition der Zustandserfassung „Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des baulichen/betrieblichen, hydraulischen und umweltrelevanten Ist-Zustandes von Entwässerungssystemen“ und fasst unter dem Begriff **Inspektion** „Untersuchungen zur Erfassung des baulichen/betrieblichen Zustandes“ zusammen.

Die **Inspektion von Kanälen ist ein Hauptprozess des Kanalnetzbetriebes** (vgl. [4]). Die rechtliche Notwendigkeit der Inspektion ergibt sich aus der Verkehrssicherungspflicht nach dem Bürgerlichem Gesetzbuch (BGB) und den allgemeinen Sorgfaltspflichten des Kanalnetzbetreibers. Diese sind im **Wasserhaushaltsgesetz (WHG)**, insbesondere in den §§1a und 18b, sowie in den **Landeswassergesetzen** und in **länderspezifischen Regelungen** festgelegt. Schadhafte Kanalisationen können zu Grundwasserinfiltration oder Abwasserexfiltration führen und dadurch eine Umweltgefährdung darstellen. Die regelmäßige Inspektion ist eine Voraussetzung zur Vermeidung haftungs-, abgabe-, ordnungs- und strafrechtlich (Verunreinigung des Grundwassers im Sinne von § 324 Strafgesetzbuch - StBG) relevanter Störungen sowie zur wirtschaftlichen Betriebsführung bei der Abwasserableitung (vgl. [3], [5]).

Mit Blick auf die Kanalinspektion sind auch die von einzelnen Bundesländern eingeführten Vorschriften über die **Selbstüberwachung von Kanalisationen** sowie die Anforderungen an deren Betrieb und Unterhaltung zu beachten (vgl. [6]). In Nordrhein-Westfalen ist seit dem 01.01.1996 die Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitungen von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem (Selbstüberwachungsverordnung Kanal – SüwV Kan) [7] in Kraft. Nach dieser Verordnung sind die Betreiber von Abwasseranlagen unter anderem dazu verpflichtet, in regelmäßigen Abständen für das gesamte Kanalnetz eine Zustandserfassung durchzuführen. Für die Ersterfassung wurde eine Frist von 10 Jahren gesetzt, d.h. diese Arbeiten mussten bereits Ende 2005 abgeschlossen worden sein. Im Anschluss daran ist der Zustand des Netzes in einem Rhythmus von 15 Jahren zu erfassen.

Im Jahr 2003 schloss das IKT ein durch das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (MUNLV) gefördertes Projekt zum Thema „Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) bei den kommunalen Netzbetreibern und Wasserverbänden in NRW“ ab [8]. Im Rahmen der

Abschlussbesprechung zu diesem Vorhaben mit den Projektbeteiligten der Landesumweltverwaltung (MUNLV, StUÄ, LUA) wurde festgehalten [9], dass erhebliche Unsicherheiten bezüglich der Inspektion teilgefüllter Abwasserkanäle bestehen. Zahlreiche Netzbetreiber hatten angegeben, insbesondere den Zustand von Hauptsammlern, in denen kontinuierlich, d.h. sowohl tagsüber als auch nachts, erhebliche Abwassermengen abgeleitet werden, noch nicht erfasst zu haben. Als Grund wurde das **Fehlen von Strategien und Verfahren zur Inspektion teilgefüllter Abwasserkanäle** genannt.

Auch der Stadtentwässerungsbetrieb (STEB) Paderborn sah sich mit der oben genannten Problematik konfrontiert. Zur Großkläranlage des Netzbetreibers führt ein einzügiger Hauptschmutzwassersammler. Der Zustand des ständig teilgefüllten Kanals, der mit Blick auf seine bedeutende Funktion als **Hauptschlagader des Paderborner Kanalnetzes** bezeichnet werden kann, wurde seit seiner Inbetriebnahme im Jahre 1981 nicht erfasst. Der insgesamt ca. 8 km lange Sammler besteht aus Betonrohren mit Kunststoffauskleidung der Nennweiten DN 1200, DN 1600 und DN 1800. Messungen am Gruppenklärwerk (GKW) ergaben an Werk-, Sonn- und Feiertagen für den Zeitraum zwischen 2.00 Uhr bis 9.00 Uhr **Zulaufmengen** von 1.000 bis 1.500 m³/h bzw. **280 bis 400 l/s**. Die **minimale Teilfüllungshöhe** des Kanals liegt damit in den Nachtstunden bei etwa **30 bis 40 cm** bei einer **Fließgeschwindigkeit** von etwa **1,50 m/s**. Aufgrund großer Abwassermengen der Industrie liegt die **Zulaufmenge tagsüber bedeutend höher**. Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt ist die auftretende Fremdwassermenge. Bei hohen Grundwasserständen – insbesondere im Winter und im Frühjahr – ist mit erhöhten Abflussmengen zu rechnen.

Veranlasst durch das Bestreben, sich aktiv der zuvor beschriebenen Problematik zu stellen und detaillierte Informationen über den baulichen Zustand des ständig teilgefüllten Schmutzwasser-Hauptsammlers zu erfassen, initiierte der STEB Paderborn gemeinsam mit dem IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur die Pilotstudie „Inspektion teilgefüllter Kanäle“. Dieses Forschungsvorhaben (Aktenzeichen: IV-9-041 105 0240) wurde durch das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (MUNLV) gefördert. Die Ergebnisse des Projektes werden in dem vorliegenden Endbericht dargestellt.

Ziel des Vorhabens war es, mehrere Lösungsvarianten zur **optischen Inspektion eines 5,7 km langen Teilabschnittes des Paderborner Schmutzwasser-Hauptsammlers** zu erarbeiten, eine oder mehrere Varianten auszuwählen und vor Ort umzusetzen. Die im Rahmen der Begleitung der Maßnahmen gewonnenen Erkenntnisse wurden mit Blick auf Vor- und Nachteile der gewählten Vorgehensweise ausgewertet und auf diese Weise Verbesserungsmöglichkeiten sowie Einsatzmöglichkeiten und -grenzen aufgezeigt. Im Ergebnis werden den Kanalnetzbetreibern allgemeine **Hinweise zur Vorbereitung** von Inspektionsmaßnahmen und zur inspektionsgerechten Planung künftiger Anlagen an die Hand gegeben.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde eine praxisorientierte **Vorgehensweise** gewählt. Zunächst wurden mit Blick auf den gegebenen Anwendungsfall Recherchen zu Techniken und Geräten aus den Themenbereichen optische Inspektion, Kanalreinigung und Vorflutsicherung durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurden insbesondere auch

Fragestellungen und Anforderungen aus dem Bereich der Arbeitssicherheit betrachtet. Anschließend wurden die Randbedingungen des Paderborner Untersuchungsobjektes detailliert ermittelt. Dies beinhaltete u.a. die Sichtung von Bestandsunterlagen, die Erfassung von Praxiserfahrungen des STEB Paderborn, die Begehung der Kanaltrasse sowie die Inspektion und Vermessung der Schachtbauwerke. Im nächsten Arbeitsschritt wurden unterschiedliche Lösungsansätze zur optischen Inspektion des Schmutzwasser-Hauptsammlers erarbeitet, nach einer ersten Vorauswahl zu konkreten Verfahrensvorschlägen weiterentwickelt und schließlich sechs verschiedene Varianten zur optischen Inspektion vor Ort ausgewählt. Diese Inspektionstechniken wurden durch Fachfirmen – zum Teil unterstützt durch Personal des STEB Paderborn – im Untersuchungsobjekt angewendet. Im Rahmen der Pilotstudie „Inspektion teilgefüllter Kanäle“ wurde ein Projektbeirat gegründet, dem insgesamt 12 Vertreter von verschiedenen Kanalnetzbetreibern angehörten. Das IKT stand in regelmäßigem Informationsaustausch mit diesem Gremium und erhielt dabei zahlreiche Anregungen für die Bearbeitung des Forschungsvorhabens.

Im Ergebnis konnte der ausgewählte Teilabschnitt des Schmutzwasser-Hauptsammlers in Bezug auf seine Gesamtlänge von 5,7 km zu 92 % inspiziert werden. Die dafür notwendigen 10 Nachteinsätze wurden durch das IKT begleitet und ausführlich dokumentiert. Aus den dabei gewonnenen Erkenntnissen sowie ergänzenden Untersuchungen (u.a. Interviews mit Kanalnetzbetreibern, Versuchen in IKT-Prüfstrecken) wurden Planungsempfehlungen zur Inspektion teilgefüllter Kanäle abgeleitet.

2 Stand der Technik

Bei der Erfassung des baulichen Ist-Zustandes von Kanälen kann eine grundsätzliche **Unterscheidung zwischen** der **Außeninspektion** und der **Inneninspektion** getroffen werden. Dabei beinhaltet die Außeninspektion alle Maßnahmen, die von der Geländeoberfläche aus durchgeführt werden. Dazu gehören beispielsweise die Begehung der Leitungstrasse, Methoden der geophysikalischen Baugrunderkundung sowie Bauwerks- und Baugrunderkundung durch Aufschlüsse. Demgegenüber werden unter dem Begriff **Inneninspektion** alle Maßnahmen zur Feststellung des Ist-Zustandes zusammengefasst, die innerhalb des Kanals bzw. der Leitung zum Einsatz kommen. Hierbei kann wiederum eine Differenzierung vorgenommen werden zwischen der **qualitativen** und der **quantitativen Zustandserfassung**. **Regel der Technik** bei der Inneninspektion ist die **optische** Zustandserfassung (vgl. [2], [6]), d.h. die qualitative Feststellung des Ist-Zustandes. In der Regel werden **indirekte** Techniken eingesetzt, wie z.B. **ferngesteuerte Kameras** oder die Spiegelung des Kanals von einem Schacht oder einer Inspektionsöffnung aus. Im begehbaren Bereich kann als **direkte** Inspektionstechnik auch die **Begehung durch Personal** zur Anwendung kommen (vgl. [3], [10]). Sind die im Rahmen der optischen Inspektion gewonnenen Erkenntnisse mit Blick auf die gegebene Aufgabenstellung der Inspektionsmaßnahme nicht ausreichend, so können ergänzend Techniken zur quantitativen Zustandserfassung zum Einsatz kommen. Dazu gehören u.a. Profilmessungen mit Hilfe von Kaliber- oder Lasermessgeräten, um beispielsweise Verformungen biegeweicher Rohre oder Innenkorrosion biegesteifer Rohre zu ermitteln.

Grundsätzlich erscheint es jedoch auch hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Inspektionsmaßnahme sinnvoll, zunächst eine optische Inneninspektion durchzuführen, um einen qualitativen Eindruck vom Zustand des Kanals zu gewinnen, und erst im Anschluss über die Notwendigkeit weitergehender Untersuchungen zu entscheiden. **Aus diesem Grund lag der Schwerpunkt bei der vorliegenden Pilotstudie auf der optischen Inneninspektion.**

Die optische Inspektion von Kanälen, die im Betriebszustand permanent teilgefüllt sind, stellt besondere Anforderungen an die Planung der durchzuführenden Maßnahmen. Von wesentlicher Bedeutung sind dabei möglichst detaillierte Informationen über die **Einsatzmöglichkeiten und -grenzen der Inspektionstechniken und -verfahren**, die am Markt verfügbar sind und sich in der Praxis bereits bewährt haben. Auf dieser Grundlage kann unter Berücksichtigung der Randbedingungen des jeweiligen Anwendungsfalles eine Vorauswahl geeignet erscheinender Geräte und Verfahren getroffen werden.

In Bezug auf die Aufgabenstellung „Optische Inspektion eines teilgefüllten Kanals“ stellt die **Methode der Zustandserfassung** nur eine von mehreren technischen Fragestellungen dar. Darüber hinaus ist insbesondere mit Blick auf die inhaltliche Qualität und Aussagekraft des Inspektionsergebnisses auch die Umsetzung notwendiger **vorbereitender und begleitender Maßnahmen** zu klären. Dazu gehört zum einen die Auswahl eines geeigneten Verfahrens zur **Kanalreinigung**, denn nach [11] bzw. [12] ist der Kanal falls erforderlich zu reinigen, um die Feststellung und Beurteilung des Zustandes zu ermöglichen. Zudem muss das Inspektionsobjekt nach [5] grundsätzlich so gereinigt sein, dass der Ist-Zustand

(Bestandsaufnahme) einwandfrei erfasst werden kann. Zum anderen ist die Entwicklung von **Ansätzen zur Reduzierung der Abwasserstandshöhe** im Untersuchungsobjekt von wesentlicher Bedeutung. Nach [11] bzw. [12] ist der Kanal während der Zustandserfassung, soweit notwendig, frei von Abwasser zu halten. In [5] wird für die Dauer der Inspektion gefordert, dass das Inspektionsobjekt soweit abwasserfrei sein soll, dass eine aufgabengerechte Erfassung des Ist-Zustandes möglich ist.

Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen der vorliegenden Studie **Recherchen** zu den Bereichen **Inspektionstechnik, Kanalreinigung** und **Vorflutsicherung** durchgeführt. Mit Blick auf die Entwicklung von Varianten (vgl. Kapitel 5.3) und deren beispielhafte Umsetzung zur Inspektion des Paderborner Schmutzwasser-Hauptsammlers wurde die Erhebung auf drei, als **wesentlich** eingestufte, **Randbedingungen** des Untersuchungsobjektes ausgerichtet. Dabei handelt es sich um die Nennweite der Rohre sowie die zu erwartende Durchflussmenge und Füllhöhe. Der insgesamt **ca. 5,7 km lange Kanal** besteht größtenteils aus Rohren der **Nennweiten DN 1600 und DN 1800**. Lediglich bei der 0,24 km langen Unterquerung des Flusses „Alme“ wurden Rohre der Nennweite DN 1200 verwendet. Die zu erwartende **Durchflussmenge** liegt in den Nachtstunden der Sommermonate bei **ca. 280 bis 400 l/s**. Dies entspricht einer **Teilfüllung von etwa 35 cm Höhe**.

Die in den nachfolgenden Abschnitten beschriebenen Recherche-Ergebnisse beinhalten eine Auswahl der am Markt angebotenen Geräte, um die Vielfalt der Systeme aufzuzeigen. Demnach erhebt die Liste keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

2.1 Inspektionstechnik

Das vorliegende Kapitel stellt eine Auswahl verschiedener Inspektionstechniken vor. Dabei wurden die einzelnen Verfahren anhand ihrer wesentlichen Unterscheidungsmerkmale zunächst **zwei Hauptgruppen** und anschließend ggf. weiteren Untergruppen zugeordnet. Die erste Hauptgruppe beinhaltet **unbemannte** (vgl. Tab. 1) **und** die zweite Hauptgruppe **bemannte Inspektionssysteme** (vgl. Tab. 2).

Hauptgruppe 1 führt Systeme zur Zustandserfassung von Schächten und Kanälen auf. Unter **I** sind **Schachtinspektionssysteme** aufgeführt. Geräte zur Zustandserfassung von Kanälen wurden entsprechend ihrer Fortbewegungsart in den Klassen **II fahrende, III schwimmende und IV gleitende Kanalinspektionssysteme** zusammengefasst:

- **I Schachtinspektionssysteme** wurden betrachtet, da es möglich erscheint, dass diese Geräte, über ihr eigentliches Anwendungsgebiet hinausgehend, auch dazu eingesetzt werden können, mit verhältnismäßig geringem Aufwand einen ersten Eindruck vom Zustand des Kanals zu gewinnen. Insgesamt sind in Tab. 1 vier Schachtinspektionssysteme aufgeführt. Bei den ersten beiden Geräten (Schachtkamera [13] und Quickview [14], [15]) handelt es sich um Kameras, die, an Teleskopstangen befestigt, manuell in den Schacht abgesenkt werden. Durch Abschwenken des Schachtes wird dessen Zustand optisch erfasst. Im Vergleich dazu sind die anderen beiden Systeme (CUS [16] und Visus [17]) mit aufwendigerer Technik ausgestattet. Abhängig von der verwendeten Sensoreinheit ist neben der optischen Inspektion auch eine lasergestützte Vermessung des Schachtbauwerkes und von Rissbreiten möglich. Darüber hinaus sind das Absenken und Schwenken der Sensoreinheit mechanisiert.

- **II Fahrende Kanalinspektionssysteme** sind Roboter, die auf Rädern gelagert sind und sich mit Hilfe eines eigenen elektrischen Antriebes fortbewegen. Zur optischen Erfassung des Kanalzustandes sind die Geräte mit Lichtquellen sowie dreh- und schwenkbaren Kameras ausgestattet. Die in Tab. 1 dargestellten Roboter unterscheiden sich u.a. hinsichtlich Größe, Gewicht, der Bandbreite des nennweitenbezogenen Anwendungsbereiches, der Konstruktion der Kamera-Hubvorrichtung, der Art und Länge des Datenübertragungskabels (Aktionsradius) sowie der (optionalen) Ausstattung mit zusätzlichen Sensoren (z.B. Querschnitts- oder Schadensvermessung). Die vorgestellten Systeme werden von Firmen aus Deutschland, England, den USA und Russland hergestellt (vgl. [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26]).
- **III Schwimmende Kanalinspektionssysteme** sind Roboter, die mit Auftriebskörpern ausgestattet sind und sich dadurch an der Abwasseroberfläche halten. In in Tab. 1 sind vier verschiedene Systeme aufgeführt. Die ersten beiden Geräteeinheiten bestehen aus einem TV-Inspektionsroboter vom Typ Argus 4 (Fa. IBAK, Kiel), der auf verschiedene **Auftriebskörper** montiert ist. Dabei handelt es sich im ersten Fall um **Standard-Dichtblasen** (vgl. [27]), deren ursprünglicher Zweck in der provisorischen Absperrung von Kanälen liegt, und im zweiten Fall um ein **Doppelrumpf-Floß aus Kunststoffrohren** (vgl. [28]). Beide Systeme besitzen keinen eigenen Antrieb, d.h. in Abhängigkeit des Durchflusses treiben sie entweder an einem Seil gehalten durch den Kanal oder werden mit Hilfe eines Seils gezogen. Dies gilt auch für den im Anschluss vorgestellten Roboter einer russischen Firma [24]. Alle drei Systeme dienen ausschließlich der optischen Zustandserfassung. Im Vergleich dazu ist das vierte schwimmfähige Kanalinspektionssystem wesentlich komplexer aufgebaut. Bei dem in Tab. 1 abgebildeten Gerät handelt es sich um den Prototyp eines **Schadenserkennungssystems** (SEK) [29]. Hintergrund dieser Entwicklung ist die Umsetzung einer insgesamt 3-stufigen Strategie zur Inspektion und Reinigung des zukünftig unterirdisch verlaufenden Emscherkanals. Der Schmutzwassersammler wird eine permanente Teilfüllung aufweisen und kann aufgrund der besonderen Randbedingungen nicht mit herkömmlichen Inspektionsmethoden untersucht werden [30]. Seit 2001 entwickelt die Emschergenossenschaft (Essen) gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) in Magdeburg innovative Roboter zur Inspektion und Reinigung des o.g. Kanals [31]. Unter Einsatz des Schadenserkennungsgerätes soll in der ersten Stufe eine Grobinspektion des Kanals während der kontinuierlichen Bewegung des Systems entlang der Kanallängsachse durchgeführt werden. Der Zustand der im Gasraum liegenden Rohrrinnenwand wird mit Kameras erfasst. Ein Ultraschallscanner an der Unterseite des SEK erfasst Hindernisse, Ablagerungen und mechanischen Verschleiß im benetzten Bereich des Rohrquerschnittes. Der Prototyp wird in bestehenden Kanälen der Emschergenossenschaft getestet und optimiert. Nach [31] ist geplant, die Weiterentwicklung zur Nullserie bis 2007 abzuschließen. Darüber hinaus ist vorgesehen, zwei weitere Roboter (Reinigungs- und Schadensvermessungssysteme) für die inhaltliche Umsetzung der Stufen 2 und 3 der Inspektions- und Reinigungsstrategie bis 2007 als Prototypen zu entwickeln.

- Das unter **IV** vorgestellte, **gleitende Kanalinspektionssystem** wurde für die Zustandserfassung von Großkanälen konzipiert, die trotz vorheriger Reinigung nicht begangen werden können. Dieser Fall tritt insbesondere bei PE-Rohren auf, an deren Wandung eine feine Fettschicht haftet und in denen dadurch erhöhte Sturzgefahr besteht (vgl. [32]). Das Gerät **kombiniert einen TV-Inspektionsroboter mit Elementen der Kanalreinigung**. Der optischen Zustandserfassung dient das **System „Gullyver“** der Gullyver Gesellschaft für mobile Inspektionssysteme mbH, Bremen. Bei diesem Gerät handelt es sich um einen Inspektionsroboter, der auf Rädern gelagert ist und über einen eigenen Antrieb verfügt. Im vorliegenden Fall wurde dieses System auf ein Gestell montiert (vgl. Tab. 1, Abschnitt II), an dessen Unterseite **zwei Ejektordüsen** der Firma Dipl.-Ing. Bernd Otte, Horstedt, angeordnet sind (vgl. [33]). Dieser Gerätetyp wird zur Kanalreinigung eingesetzt. Auf der Vorderseite der Ejektordüse wird das im Kanal befindliche Abwasser angesaugt, innerhalb des Gerätes beschleunigt und anschließend an dessen Rückseite ausgestoßen. Auf diese Weise wird ein Spülschwall erzeugt und die Geräteeinheit bewegt sich nach dem Rückstoßprinzip vorwärts (vgl. Kapitel 2.2). In einer weiteren Anwendungsvariante wird zunächst nur der Schlitten vom unteren Schacht aus (Position des HD-Spülfahrzeuges) mittels Düsendruck zum Startschacht bewegt. Dort wird das Kamerasystem montiert und die Geräteeinheit anschließend mit Hilfe des Spülschlauches in Richtung Spülfahrzeug gezogen.

Tab. 1: Unbemannte Inspektionssysteme

| Bezeichnung | Bild | Hersteller | Systembeschreibung |
|--|---|--|---|
| I Schachtinspektionssysteme | | | |
| Schachtkamera |  | Ritec GmbH, Rohr-Inspektions- Technik, Haldenwang | Kamera zur optischen Inspektion, handgeführt, Teleskopstangen bis 12 m, Größe der Schächte: bis DN 1000, Quelle: [13] |
| Quickview |  | Envirosight LLC, Randolph, (USA) | Kamera zur optischen Inspektion (Schacht und Kanal), handgeführt, Teleskopstangen bis 5,5 m Länge, Größe der Schächte: k. A., Quellen: [14], [15] |
| CUS (computerunterstützte Schachtinspektion) |  | Bodemann GmbH Kommunal Service, Dornbirn (Österreich) | Roboter zur Inspektion und Vermessung von Schächten, absenkbare Sensoreinheit bestehend aus Lasermess-System und Inspektionskamera, Quelle: [16], Foto: IKT |

Tab.1 : Unbemannte Inspektionssysteme (Fortsetzung)

| Bezeichnung | Bild | Hersteller | Systembeschreibung |
|---|---|---|--|
| I Schachtinspektionssysteme | | | |
| Visus |  | IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG, Kiel | Roboter zur Inspektion und (in Kombination mit Argus 5) zur Vermessung von Schächten, bestehend aus Schwenkkopf - kamera mit lagegerichtetem Bild und integriertem Laser, Quelle: [17] |
| II Kanalinspektionssysteme (fahrend) | | | |
| Kamera Argus 4 auf Fahrwagenzusatz und Zusatzscheinwerfer |  | IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG, Kiel | Dreh-Schwenkkopf-Kamera, optional explosionsgeschützt, mit Messtechnik (u.a. Rohrneigung) ausrüstbar, Fahrwagen nicht lenkbar, B: 120 mm, L: 432 mm, G: 38 kg, Hubhöhe max: 175 mm, Einsatzbereich: bis DN 2000 Quelle: [17] |
| Tractor P448 |  | Radiodetection Limited, Bristol, UK | Dreh-Schwenkkopf-Kamera mit bis zu 70-fachem Zoom, optional explosionsgeschützt, steuerbarer Fahrwagen, bis zu 600 m Kabellänge, G: ca. 100 kg, H: ca 1,0 m, Einsatzbereich: DN 400 - DN 2300, Quelle: [18] |
| Kamera KS 200 auf Fahrwagen L 500 |  | Wolfgang Rausch GmbH & Co. KG, Weißenberg bei Lindau | Kreis- und Schwenkkopf-Kamera, lenkbarer Kamerawagen mit elektrischem Hubgetriebe, G: ca. 32 kg, Einsatzbereich: DN 200 - DN 1600, Quelle: [19] |
| Kamera Argus 4 auf Fahrgestell der Fa. PKT |  | IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG, Kiel / PKT – Pader Kanal Technik, Paderborn | Kamera vom Typ Argus 4 (s.o.), Fahrwagen nicht lenkbar, Allradantrieb, Einsatzbereich: DN 1000 - DN 2000, Quelle: [20], Foto: IKT |

Tab.1 : Unbemannte Inspektionssysteme (Fortsetzung)

| Bezeichnung | Bild | Hersteller | Systembeschreibung |
|--|---|---|---|
| II Kanalinspektionssysteme (fahrend) | | | |
| Rovver 900 |  | GE Inspection Technologies GmbH, Hürth | Dreh-Schwenkkopf-Kamera, lenkbarer Kamerawagen, Hubhöhe: 150 mm auf 300 mm, Gewicht: 25 kg, Einsatzbereich: DN 225 - DN 1500 Quelle: [21] |
| RPP DuoVision auf Fahrwagen FW 200 |  | RICO EAB Gesellschaft für Microelektronik mbH, Kempten | Dreh-Schwenkkopf-Kamera, verfügt über Schadensvermessungstechnik und Radar zur Untersuchung der Rohrbettung, Kabellänge bis 1000 m (EX-Schutz nach ATEX) Einsatzbereich: DN 100 - DN 1400 Quelle: [22] |
| Gullyver mit Zusatzfahrgestell und Zusatzbeleuchtung für die Inspektion großer Rohre |  | Gullyver Gesellschaft für mobile Inspektionssysteme mbH, Bremen | Dreh-Schwenkkopf-Kamera, lenkbarer Kamerawagen, verfügt über Funktionen zur Vermessung (z.B. Rissbreiten, Deformation), Datenaustausch über Glasfaserkabel (Aktionsradius bis 3000 m), G: 25 kg, Einsatzbereich: DN 200 - DN 1200, Quelle: [23] |
| P-200 Robotic System |  | Research & Production Taris, Moskau, Russland | drehbare Kamera mit Zoom-Funktion, verfügt über Technik zur Schadensvermessung, Kabellänge 400 m, Fahrwagen nicht lenkbar, Einsatzbereich: DN 200 – 1800, Quelle: [24] |
| Storm Crawler (Kamera auf Fahrwagen) |  | Cobra Technologies, Smyrna, USA | Roboter mit Cobra Zoomkamera und LED-Beleuchtung, Fahrwagen nicht lenkbar, Heber fernsteuerbar, Einsatzbereich: 24" to 200" (600 bis 5080 mm) Quelle: [25] |
| Steerable Storm (Fahrwagen) |  | RS Technical Services, Petaluma, USA | lenkbarer Roboter, dient als Transporter für Inspektionskameras, L: 0,91m, B: 0,38 m, H: 0,4 m (bei eingefahrenem Heber), G: 45 kg, Einsatzbereich: 2 - 12 ft, (610 - 3660 mm) Quelle: [26] |

Tab.1 : Unbemannte Inspektionssysteme (Fortsetzung)

| Bezeichnung | Bild | Hersteller | Systembeschreibung |
|---|---|---|---|
| III Kanalinspektionssysteme (schwimmend) | | | |
| Schwimmkamera (Kamera Argus 4) |  | Fa. Meyer Entsorgung, Osnabrück | Kamera Argus 4 (Fa. IBAK, Kiel, s. II), Dichtblasen als Auftriebskörper, kein eigener Antrieb, Einsatzbereich: DN 1300 bis 2000 (mit Zusatzscheinwerfern auch größere DN) Quelle: [27] |
| Floß mit Kamera Argus 4 |  | Lönne Entsorgung GmbH & Co. KG, Lippstadt | Kamera Argus 4 (Fa. IBAK, Kiel, s. II), Doppelrumpf-Floß aus Kunststoffrohren, kein eigener Antrieb, G: 40 kg, Maße: 1900x600 mm (LxB), Einsatzbereich: DN 1000 - 2000 (abhängig von der Teilfüllung), Quelle: [28], Foto: IKT |
| P200-Robotic System mit Auftriebseinheit W400 |  | Research & Production Taris, Moskau, Russland | P200-Robotic System (s. II) in Verbindung mit Auftriebseinheit W400 und Zusatzbeleuchtung, kein eigener Antrieb, Einsatzbereich: DN 400 - 3000, Quelle: [24] |
| SEK – Schadens- Erkennungsgerät (Prototyp) |  | Entwicklung: Emscher- genossenschaft, Essen, und Fraunhofer-Institut IFF, Magdeburg | Kanalinspektion während der Bewegung des Systems (eigener Antrieb), Gasraum: Erfassung mit Kameras, benetzter Rohrquerschnitt: Erfassung mit Ultraschall-scanner (u.a. Ablagerungen Hindernisse,), Einsatzbereich: DN 1400 - DN 3400, Quellen: [29], [31] |
| IV Kanalinspektionssysteme (gleitend) | | | |
| System Gullyver auf Spülschlitten |  | Gullyver Gesell- schaft für mobile Inspektions- systeme mbH, Bremen, und Firma Dipl.-Ing. Bernd Otte, Horstedt | Roboter Gullyver (Fa. Gullyver, Bremen, s. II), Untergestell: 2 Ejektordüsen der Fa. Otte, angetrieben nach dem Rückstoßprinzip oder gezogen mit Hilfe eines Spülfahrzeuges Einsatzbereich: DN 800 - 1800 Quellen: [23], [32], [33], [34] |

Hauptgruppe 2 enthält Geräte und Techniken zur **bemannten Kanalinspektion**. Die in Tab. 2 beispielhaft vorgestellten Systeme wurden den Klassen I-IV zugeordnet. Im Einzelnen handelt es sich um **I tragbare Inspektionssysteme, II Fahrwagen, III Taucher und IV eine Sonderkonstruktion**:

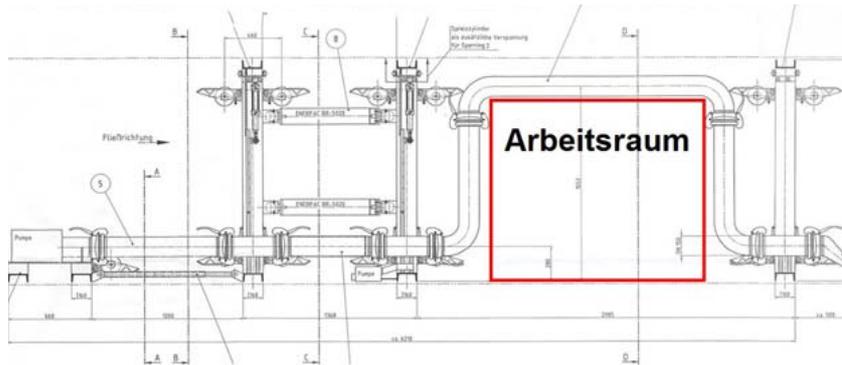
- Die in Tab. 2 unter **I** aufgeführten, **tragbaren Inspektionssysteme**, wurden für die Begehung von Großkanälen konzipiert. D.h. sie sind, unter Vernachlässigung der in Kanälen dieser Größenordnung zu erwartenden Wasserstandhöhen und unter Beachtung besonderer Sicherheitsmaßnahmen, grundsätzlich ab DN 800 [35] bzw. DN 1000 [36] einsetzbar. Sie bestehen im Wesentlichen aus den Komponenten **Handkamera** und **Scheinwerfer** sowie einem **Headset** (Mikrofon und Lautsprecher) mit Wechselsprechfunktion zur Kommunikation zwischen dem im Kanal befindlichen Inspekteur und dem Operator im TV-Inspektionsfahrzeug. Über eine **Kabelverbindung** findet nicht nur der **Informationsaustausch** zwischen den beiden Arbeitsplätzen statt, sondern auch die **Übertragung der Videodaten**.

Neben diesen grundsätzlichen Ähnlichkeiten gibt es im Vergleich der Angaben seitens der Hersteller bzw. Entwickler auch **Unterschiede** zwischen den einzelnen Systemen. So beträgt der maximale **Aktionsradius** in Abhängigkeit der Kabellänge bei der PortaCam 220 m, bei der Cerberus 300 m und beim System ISAS 400 m. Das System Goliath setzt ein leichtes Glasfaserkabel ein und kann dadurch theoretisch Einsatzlängen von bis zu 3000 m erreichen. Im Gegensatz zu den anderen Systemen verfügt die PortaCam über einen **LCD-Monitor**. Auf diese Weise kann der Inspekteur den erfassten Bildbereich selbständig kontrollieren und die Ausrichtung der Kamera ggf. korrigieren. Ein Alleinstellungsmerkmal des Systems Cerberus ist, dass es die **Projektion von** zwei, stets in 40 mm Abstand voneinander liegenden, **Lasermesspunkten** auf die Rohrwandung ermöglicht und damit eine Referenz für die Vermessung von Schäden oder anderen Auffälligkeiten bietet. Das System ISAS hebt sich durch eine für die Filmbranche entwickelten Kamera ab, die nach Angaben des Anwenders insbesondere auch für verwacklungsfreie Aufnahmen sorgt.

- Der zweite Abschnitt von Tab. 2 beinhaltet drei Prototypen von **Fahrwagen (II)**, auf denen der **Inspekteur** den Kanal **in sitzender Position** untersuchen kann (vgl. [37], [38], [39]). Der Einsatzbereich dieser Geräte beginnt im Nennweitenbereich zwischen DN 1400 und DN 1600. Die Fahrwagen verfügen über **keinen eigenen Antrieb**, d.h. sie müssen entweder von einer zweiten Person geschoben oder mit Hilfe einer Winde gezogen werden. Die Geräte unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Konstruktion und Ausstattung. In den ersten beiden Fällen wurden der Radstand und die Ausrichtung der Achsen so gewählt, dass sich die Räder in der Kanalsole abstützen. Im Vergleich dazu weist der dritte Fahrwagen einen größeren Radstand auf und die Achsen sind geneigt. So stützen sich die Räder im Bereich zwischen Sohle und Kämpfer ab. Ein weiterer Unterschied im **Kamerasystem zur Dokumentation der Inspektion**. In einem Fall wird eine handelsübliche Amateur-Videokamera verwendet. Dadurch ist das System nicht an ein Inspektionsfahrzeug gebunden. Da die Kamera nicht über Lichtquellen verfügt, ist der Fahrwagen mit Scheinwerfern und Akkus ausgestattet. Zur Lagebestimmung eventueller Schäden ist darüber hinaus ein Längenzählwerk montiert. Die beiden anderen Fahrwagen

sind auf die **Kombination mit praxisüblichen Kanalinspektionskameras** ausgelegt (vgl. Tab. 1, Abschnitt II und Tab. 2, Abschnitt I).

- Die Option, einen teilgefüllten Kanal durch einen **Tauchereinsatz** inspizieren zu lassen, ist in Tab. 2 unter **III** aufgeführt. Im Bereich der Abwassertechnik werden Taucher für Aufgaben in unterschiedlichen Bauwerken eingesetzt. Dazu gehören auf der einen Seite Betriebspunkte von Klärwerken (Belebungs-, Vorklär- und Nachklärbecken, Faulbehälter), aber auch Kanäle und Düker. In Becken und Behältern auf Kläranlagen werden vor allem Kontroll-, Montage- und Demontearbeiten, wie z.B. Installation oder Austausch von Schiebern, ausgeführt (vgl. [40], [41], [42], [43]). Im Zusammenhang mit der Sanierung von **Düchern** wurde nach [44] u.a. die Ablagerungssituation untersucht, sowie **Vermessungen** und **Abnahmeinspektionen** (inkl. Unterwasservideo-Dokumentation) durchgeführt. Als weitere Beispiele für Tauchereinsätze in Kanälen werden die **Inspektion eines Regenwasserkanals** [45], das Setzen von Packern und Dichtungen in Rohrleitungen und auch die Untersuchung von Kanälen genannt [46]. Die Taucher schützen sich durch spezielle Ausrüstung vor der kontaminierten Umgebung. Sie stehen per **Sprechfunkverbindung** (teilweise auch Videoverbindung) mit der Oberfläche in Kontakt und werden von dort aus permanent mit Atemluft versorgt.
- Der letzte Abschnitt in Tab. 2 beschreibt einen technischen **Sonderfall (IV)**. Es handelt sich dabei um eine **Vorrichtung zur Inspektion und Instandhaltung von in Betrieb befindlichen Freispiegelkanälen** mit dem begehbaren **Ei-Profil-Querschnitt DN 1200/1800** (vgl. Abb. 1). Dieses Gerät wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes, gefördert durch das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, entwickelt [47]. Ausgangspunkt dieses Vorhabens war, dass bei der Inspektion von begehbaren Kanälen mit großen Teilfüllungsgraden häufig nicht der gesamte Rohrquerschnitt optisch erfasst werden kann, weil aus technischen und ökonomischen Gründen die Vorflutsicherung für den Gesamtabfluss nicht möglich ist.
Der Prototyp besteht im Wesentlichen aus drei Absperrelementen (zwei vorderen und einem hinteren), die den Rohrquerschnitt vollständig abschließen und dazu dienen, einen abwasserfreien Arbeitsraum zu schaffen. Ein Teil des durch die Inspektionsvorrichtung aufgestauten Abwassers wird mittels eines beweglich Abflussrohres durch den Arbeitsraum geleitet. Mit Hilfe eines durch Druckzylinder betriebenen Schreitwerks ist eine sukzessive Bewegung durch den Kanal möglich. Versuche in einer Prüfstrecke (Stahlbetonrohre mit Ei-Profil DN 1200/1800) auf dem Außengelände des IKT zeigten zum einen, dass es durch den Einsatz des Gerätes möglich ist, den Ist-Zustand des gesamten Rohrquerschnitts optisch zu erfassen. Zum anderen konnten verschiedene Verbesserungspotentiale des Systems identifiziert werden.



a) Zeichnung

b) Absperrelement

Abb. 1: Vorrichtung zur Inspektion und Instandhaltung von sich in Betrieb befindlichen Freispiegelkanälen mit Ei-Profil-Querschnitt DN 1200/1800 [47]

Tab. 2: bemannte Inspektionssysteme

| Bezeichnung | Bild | Hersteller | Systembeschreibung |
|--------------------------------------|------|---|--|
| I tragbare Inspektionssysteme | | | |
| System ISAS | | ISAS GmbH, Füssen | tragbare, hochauflösende Filmkamera mit Bildstabilisator, Sprechfunkverbindung, Kabellänge: 400 m, Einsatzbereich: ab DN 1500 Quelle: [48] |
| Cerberus | | IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG, Kiel | Axial-Handkamera, Projektion von 2 Lasermesspunkten mit Abstand 40 mm, Headset mit Wechsel-sprechfunktion, 10-fach optischer Zoom, Kabellänge: 60-300 m, Einsatzbereich: ab DN 800/1000 (bei Begehungen) Quelle: [17] |
| Goliath | | Gullyver Gesellschaft für Mobile Inspektionssysteme mbH, Bremen | Inspektionssystem für begehbare Kanäle, Kamerasystem mit Akku als Stromversorgung, Wechsel-sprechverbindung zwischen Inspekteur und Begeher, Kabellänge: 300 m (Glasfaser), Einsatzbereich: DN 800-DN 4000 Quelle: [23] |

Tab. 2: bemannte Inspektionssysteme (Fortsetzung)

| Bezeichnung | Bild | Hersteller | Systembeschreibung |
|--|---|---|--|
| I tragbare Inspektionssysteme | | | |
| PortaCam |  | Wolfgang Rausch GmbH & Co. KG, Weißensberg bei Lindau | Tragbare Kameraeinheit mit LCD-Monitor für begehbare Kanäle, Sprechverbindung zwischen Begeher und Inspekteur über Kamerakabel, Kamera mit 10-fach Zoom, Kabellänge: 150 m /220 m (je nach Systemausführung), Einsatzbereich: ab DN 1000 Quelle: [19] |
| II Fahrwagen | | | |
| Sitzwagen mit Dreh-Schwenkkopf-Kamera (Prototyp) |  | JT-elektronik GmbH, Lindau | Einsatzbereich: ab DN 1500 Quelle: [37] |
| Sitzwagen |  | JT-elektronik GmbH, Lindau | Einsatzbereich: ab ca. DN 1600 Foto: [38] |
| Sitzwagen |  | Tauchunternehmen und Apparatebau Hirt, Koblenz | Einsatzbereich: ab DN 1000 Quelle: [39], Foto: IKT |
| Taucher |  | Nordseetaucher GmbH, Ammersbek | Videodokumentation und Vermessung, Ausrüstung schützt vor dem Abwasser, Sprechfunk-/ Videoverbindung, Atemluftversorgung von der Oberfläche, Einsatzbereich: etwa ab DN 1200, (ausreichende Teilfüllung und Sicht erforderlich) Quelle: [44] |

Tab. 2: bemannte Inspektionssysteme (Fortsetzung)

| Bezeichnung | Bild | Hersteller | Systembeschreibung |
|---|---------------------|---|--|
| IV Sonderkonstruktion | | | |
| Vorrichtung (Prototyp) zur Inspektion und Instandhaltung von in Betrieb befindlichen Freispiegelkanälen | siehe Abb. 1, S. 13 | Projektbearbeitung: Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH, Bochum, und weitere Partner | Einsatzbereich: Ei-Profil 1200/1800 Quelle: [47] |

2.2 Kanalreinigung

Im vorliegenden Abschnitt werden beispielhaft verschiedene Techniken zur Kanalreinigung von Großrohren vorgestellt. Die Gerätetypen können – ähnlich wie die unter Kapitel 2.1 beschriebenen Inspektionssysteme – in ferngesteuerte und manuell geführte Systeme unterteilt werden. Die ersten beiden **Kategorien I und II** beinhalten **ferngesteuerte Geräte**, die entweder ausschließlich zur **Entfernung von Sohlablagerungen** (Sohlenreiniger) dienen oder zur **Reinigung des gesamten Rohrquerschnittes** (rotierende Düsen). Demgegenüber ist in **Kategorie III ein manuell geführtes Gerät** (Spüllanze) aufgeführt.

Zur Reinigung des Sohlbereiches von Großrohren kommen vorwiegend flachstrahlende Düsen – so genannte **Sohlenreiniger** – zum Einsatz, wie sie in Tab. 3 unter **I** dargestellt sind. **Düsen für Großrohre**, wie z.B. der Power-Bulldozer (Brendle GmbH, vgl. [49]), weisen nicht nur größere Abmessungen auf als Düsentypen für nicht-begehbare Rohre, sie besitzen auch eine höhere Masse, um in Abwasserströmen nicht aufzuschwimmen [50]. Demgegenüber ist die „**Sehende Düse**“ (KEG Kanalreinigungstechnik GmbH, [51]) zusätzlich mit zwei TV-Kameras ausgestattet. Sie wurde entwickelt, um die Kanalreinigung gezielt verfolgen und steuern zu können sowie den Zustand des Kanals optisch zu erfassen. Da die Bilddaten zwischen Sender und Empfänger per Funk übertragen werden und die Kamera über eine interne Stromversorgung verfügt, ist keine Kabelverbindung zur Oberfläche erforderlich.

Die bisher aufgeführten Düsentypen werden unter Einsatz von HD-Spülfahrzeugen betrieben, von deren Pumpenleistung die Faktoren Wasserdruck und Durchflussmenge abhängen. Das Wasser gelangt durch den Spülschlauch zur Düse, tritt aus den Düseneinsätzen aus und trifft auf die Ablagerungen, die dadurch gelöst und mobilisiert werden. Auch bei der Kanalreinigung mit Hilfe von **Ejektordüsen** werden HD-Spülfahrzeuge eingesetzt. Die Funktionsweise dieser Geräte weicht jedoch von den oben beschriebenen Düsentypen ab. Ejektordüsen sind so konstruiert, dass durch das ihnen zugeführte Wasser ein gerichteter Treibwasserstrom entsteht, der das im Kanal befindliche Abwasser der Ejektordüse durch eine an der Vorderseite angeordnete Öffnung zuführt und durch eine zweite Öffnung an der Rückseite beschleunigt ausstößt (vgl. [52]). Das heißt, das Abwasser wird in den Reinigungsprozess einbezogen. In Tab. 3 sind **Beispiele für am Markt**

verfügbare Ejektoren von zwei verschiedenen Herstellern bzw. Anbietern aufgeführt (vgl. [53], [54]). Weitergehende Informationen zu diesem Thema sind in u.a. in [55] enthalten.

Neben Sohlenreinigern werden für Großrohre auch Geräte zur **Reinigung des gesamten Querschnittsbereiches** angeboten. Zwei Produkte sind in Tab. 3 unter **II** dargestellt. Die Geräte bestehen in beiden Fällen aus einem Gestell und einem mit Düsen bestückten Rotor. Dieser ist auf einer Achse gelagert, die in Rohrlängsrichtung verläuft und mittig im Rohrquerschnitt platziert wird. Die Geräte werden unter Einsatz von HD-Spülfahrzeugen betrieben. Ein Teil des Wassers tritt als Strahl an den Düsen des Rotors aus, versetzt diesen in Drehung und trifft so auf den gesamten Rohrquerschnitt. Ein anderer Teil des Wassers wird an Schubdüsen verteilt, d.h. es wird für den Vortrieb der Geräte verwendet. Die dargestellten Systeme unterscheiden sich u.a. in Bezug auf die Konstruktion der Gestelle, das Gewicht und die Abmessungen. Beide Geräte können durch Standardschachtöffnungen in den Kanal eingebracht werden. Vor dem anschließenden Einsatz werden die Einstellungen (u.a. Höhenlage der Rotationsachse) auf die Größe des Kanals abgestimmt (vgl. [56], [57]).

Darüber hinaus ist grundsätzlich auch denkbar, dass zur Kanalreinigung **handgeführte Hochdruckreiniger bzw. Flüssigkeitsstrahler** zum Einsatz kommen können. Ein Beispiel für ein solches Gerät ist in Tab. 3 unter **III** angegeben [58]. Dabei sind neben den Unfallverhütungsvorschriften für Arbeiten in abwassertechnischen Anlagen (vgl. [36]) auch diejenigen für Arbeiten mit Flüssigkeitsstrahlern (vgl. [59]) zu beachten.

Tab. 3: Geräte zur Kanalreinigung

| Bezeichnung | Bild | Hersteller | Systembeschreibung |
|----------------------------|---|---|---|
| I Sohlenreiniger | | | |
| Power-Bulldozer B 04 NA |  | Brendle GmbH, Hülben | Reinigung des Sohlbereiches, auch in stark wasserführendem Kanal kein Aufschwimmen durch hohes Eigengewicht, G: 35 kg, Maße: 600*240*210 mm (LxBxH), Einsatz: ab DN 600, Quelle: [49] |
| Sehende Düse |  | KEG Kanalreinigungs- technik GmbH, Burgstädt- Herrenhaide | Reinigung des Sohlbereiches und TV-Inspektion, beinhaltet zwei Kameras (vorne, hinten) mit interner Stromversorgung, Bilddatenübertragung per Funk (Reichweite > 300 m), G: 15-30 kg (je nach Ausführung), Durchfluss >180 l/min, Einsatzbereich: ab DN 200 Quelle: [51] |

Tab. 3: Geräte zur Kanalreinigung (Fortsetzung)

| Bezeichnung | Bild | Hersteller | Systembeschreibung |
|--|--|---|--|
| I Sohlenreiniger | | | |
| Aqua 400 (HD-Ejektordüsen) |  | Quest Kommunal und Industrie- bedarf, Herford | kinetische Energie ganz auf die Sohle ausgerichtet, das vorhandene Abwasser wird in den Reinigungs- prozess einbezogen, G: 19 kg, Maße: 460x250 mm (LxB), Einsatzbereich: DB 400 bis 1000 Quelle: [53], [55] |
| GRE (Großprofil- Ejektordüsen) |  | Firma Dipl.-Ing. Bernd Otte, Horstedt | Kombination aus Hochdruck- und Schwallspülung, das vorhandene Abwasser wird in den Reinigungs- prozess integriert, Einsatzbereich: ab DN 400, 600, 1000 (modellabhängig), Quelle: [54] |
| II rotierende Düsen | | | |
| HADES-Car, Typ 2550 |  | USBDüsen, Bretzfeld- Schwabbach | Spezial-Reinigungs-Gerät für Groß- profile, Reinigung des gesamten Rohrums in einem Arbeitsgang möglich, passt durch Standard- Schächte, Einsatzbereich: DN 1000 - 3000, Durchfluss: 280-800 l/min, G: 38 kg, Quelle: [56] |
| Propellerdüse |  Schub- und Spülteil | Enz Technik AG, Giswil (Schweiz) | Rundumreinigung von Großkanälen (Kreis- und Ei-Profil), Verwendung von Frisch- oder Recyclingwasser, 6 Rotations- und 6 Schubdüsen, Durchfluss: minimal 400 l/min (bei 100 bar), G: 136 kg, L: 1080 mm Einsatzbereich: DN 1400-2000, Quelle: [57] |
| III Spüllanzen | | | |
| handgeführter Hochdruckreiniger (Flüssigkeitsstrahler) |  | k. A. | Quelle: [58] |

2.3 Vorflutsicherung

Im vorliegenden Abschnitt werden **Geräte und Techniken zur Sicherung der Vorflut** in Kanälen vorgestellt. Nach DIN 4045 [60] bzw. DIN 4049 Teil 1 [61] ist der Begriff Vorflut definiert als Möglichkeit des Wassers (und Abwassers), mit natürlichem Gefälle oder durch

künstliche Hebung abzufließen. Entsprechende Maßnahmen sind insbesondere im Zusammenhang mit der optischen Inspektion von ständig, d.h. auch bei Trockenwetterabfluss, teilgefüllten Kanälen erforderlich, um die **Abwassermenge zu reduzieren**, denn mit Hilfe dieser Methode wird lediglich der Zustand des im Gasraum liegenden Kanalinneren erfasst. Je niedriger also der Wasserstand im Zeitraum der optischen Inspektion ist, desto umfassender ist die Untersuchung durchführbar. Eine vollständige Zustandserfassung, d.h. des gesamten Kanalinneren inklusive Sohlenbereich, ist nur zu realisieren, wenn der Kanal temporär abwasserfrei gehalten wird. Bei großen, ständig teilgefüllten Kanälen ist jedoch – insbesondere mit Blick auf die **Wirtschaftlichkeit** der Inspektion – nicht zu erwarten, dass diese optimale Voraussetzung in allen Fällen erfüllt werden kann. Allerdings sind grundsätzlich verschiedene technische Möglichkeiten denkbar, um die Abwassermenge zumindest vorübergehend für eine aufgabengerechte Erfassung des Ist-Zustandes zu reduzieren. Zur Vorflutsicherung bieten sich in Abhängigkeit der jeweiligen örtlichen Bedingungen folgende **Möglichkeiten** an (vgl. [5], [62]):

- **Umleiten:** Aufrechterhaltung der Vorflut durch Außerbetriebnahme des zu inspizierenden oder zu sanierenden Kanals und Umleiten des Abwassers über Alternativrouten des Entwässerungsnetzes (z.B. parallel verlaufende Haltung bei zweizügiger Kanalausführung),
- **Absperrn (temporärer Rückstau):** zeitweise Unterbrechung der Vorflut durch begrenzten Rückstau im Kanal oberhalb des Inspektions- oder Schadensbehebungsbereiches,
- **Überleiten:** Aufrechterhaltung der Vorflut durch Maßnahmen außerhalb des zu inspizierenden oder des zu sanierenden Kanals,
- **Durchleiten:** Aufrechterhaltung der Vorflut durch Maßnahmen innerhalb der zu inspizierenden oder zu sanierenden Kanalhaltungen.

2.3.1 Absperrn

Diese Möglichkeit der Vorflutsicherung findet überwiegend bei der Reinigung und Inspektion von Kanalhaltungen Anwendung. Das Abwasser wird mit Hilfe eines Absperrorgans aufgestaut, die **Vorflut unterbrochen** und dadurch der folgende Kanalabschnitt abwasserfrei gehalten. Die Dauer der **Außerbetriebnahme** ist zum einen **abhängig von der Zuflussmenge** und zum anderen von dem zur Verfügung stehenden **Rückstauvolumen** des oberhalb gelegenen Entwässerungssystems bzw. der zulässigen Rückstauenebene. Zur Absperrung können ggf. **bestehende Betriebspunkte**, wie z.B. Schieber (vgl. Abb. 2) oder Pumpstationen genutzt werden. Ist dies nicht möglich, weil z.B. entsprechende bauliche Einrichtungen fehlen, so sind andere Optionen in Betracht zu ziehen. Eine Variante kann darin bestehen, ortsfeste **Schieber** in den teilgefüllten Kanal und/oder in ihn einmündende, Zuläufe **einzubauen**. Bietet das Entwässerungssystem kein **ausreichendes Rückstauvolumen**, kann in diesem Zusammenhang auch die **Errichtung von Speicherbecken** erforderlich sein.



a) Spindelschieber Erox-F, DN 150-2000, VAG-Armaturen GmbH [63]



b) Flachschieber Serie A, DN 50-1800, GEFA Prozesstechnik GmbH [64]



c) Keilplattenflachschieber, bis DN 3200, FRIATEC AG [65]

Abb. 2: Schieber unterschiedlicher Hersteller als Beispiele für ortsfeste Absperr Elemente

In der Regel werden jedoch **provisorische Rohrabsperngeräte** (z.B. Dichtblasen oder Dichtscheiben) eingesetzt, falls erforderlich, in Kombination mit weiteren Maßnahmen zur Vorflutsicherung (z.B. Überleiten, Durchleiten). Zur Absperrung können unterschiedliche Elemente verwendet werden. Dazu gehören u.a. **Sandsäcke, Absperrblasen, Rohrverschlüsse, Absperrscheiben** und der **Spülsack**. Für den Einsatz einiger der genannten Elemente ist ein nur geringer Abwasserzufluss Voraussetzung, da zumeist nur unter dieser Randbedingung der sichere Einbau des Absperrorgans möglich ist. Provisorische Rohrabsperngeräte müssen nach [66] durch eine geeignete formschlüssige Sicherung (z.B. Verbau) gegen unkontrolliertes Verschieben gesichert werden (vgl. Beispiel in Abb. 3). Um Schäden durch den Rückstau des Abwassers zu vermeiden, ist dieser kontinuierlich zu kontrollieren. Die Absperrzeiten können durch Einsatz eines Saugfahrzeuges verlängert werden. Nach Ansaugen des Abwassers aus dem Schacht vor der Absperrung, befördert das Fahrzeug es zum nächsten unterhalb gelegenen Schacht und leitet es dort wieder ein.

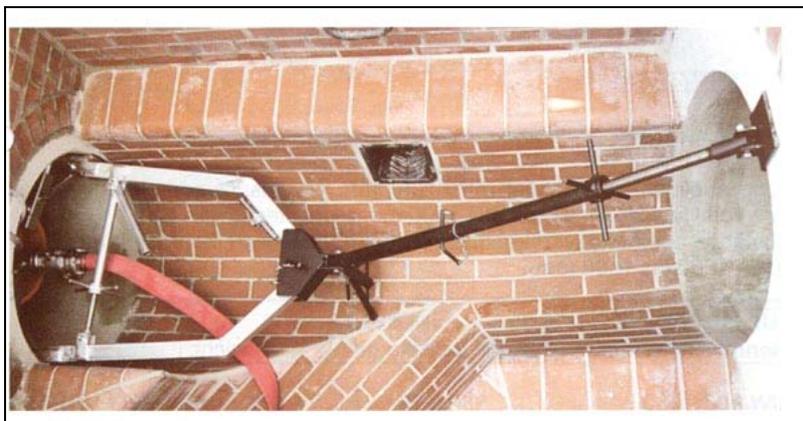


Abb. 3: Verbau von Absperrvorrichtungen [67]

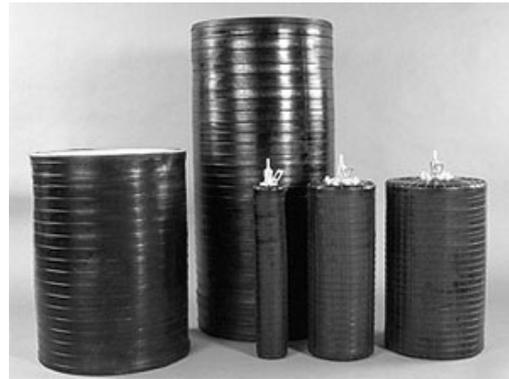
Nachfolgend werden verschiedene provisorische Rohrabsperrrgeräte vorgestellt:

a) Rohrabsperrrblasen

Rohrabsperrrblasen sind nach [66] mit Flüssigkeit oder Luft füllbare Geräte aus dehnbarem Material mit oder ohne Durchleitmöglichkeit für Wasser oder Luft. In Abb. 4 sind Beispiele pneumatischer Absperrrblasen von zwei unterschiedlichen Herstellern dargestellt. Ihre Wirkungsweise liegt im Anpressen eines Gummis an die Rohrwandung. Die Absperrelemente bestehen zumeist aus einem Stahl- oder Kunststoffkern und einer äußeren aufblasbaren Hülle aus einer Kombination von Kautschuk und Gewebeeinlagen.



a) Lieferprogramm: DN 80 bis DN 1000, MÜLLER Umwelttechnik GmbH & Co. KG [68]



b) Lieferprogramm: 33 mm – 2800 mm, epros GmbH [69]

Abb. 4: Beispiele für Absperrrblasen

Der Arbeitsdruck liegt bei den in Abb. 4 gezeigten Produkten in Abhängigkeit des Herstellers und des nennweitenbezogenen Anwendungsbereiches zwischen 1,0 und 2,5 bar. Die Lieferprogramme umfassen Absperrrblasen für Rohre der Nennweite DN 80 bis DN 1000 bzw. von 33 mm bis 2800 mm. Die Absperrelemente sind mehrdimensional einsetzbar, d.h. mit ihrer Hilfe können Rohre mehrerer Nennweiten verschlossen werden. Neben dieser mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit positiven Eigenschaft besitzen sie im Vergleich zu Absperrscheiben weitere Vorteile. Absperrrblasen weisen durch ihr geringeres Gewicht eine höhere Flexibilität hinsichtlich Transport und Handhabung auf. Darüber hinaus ist ihre Kontaktfläche deutlich größer, so dass auch bei grobporigen Beton- oder Stahlbetonrohren eine gute Abdichtwirkung erzielt werden kann.

b) Mechanische Rohrabsperrrgeräte

Mechanische Rohrabsperrrgeräte bestehen nach [66] aus mindestens zwei Druckscheiben mit oder ohne Durchleitmöglichkeit für Wasser oder Luft, zwischen denen sich jeweils ein Dichtkörper befindet. Durch mechanisches Aneinanderdrücken der Scheiben werden die Dichtkörper gegen die Rohrwandung gepresst. Bei den in Abb. 5 gezeigten Beispielen mechanischer Rohrabsperrrgeräte handelt es sich um Produkte von zwei unterschiedlichen Herstellern. Sie werden für Nennweiten von DN 50 bis DN 600 bzw. von DN 150 bis DN 400 angeboten und sind daher nicht für Großrohre einsetzbar.



a) Lieferprogramm: DN 50 bis DN 600, EHLE - HD Entwicklungs- und Vertriebsgesellschaft mbH [70]



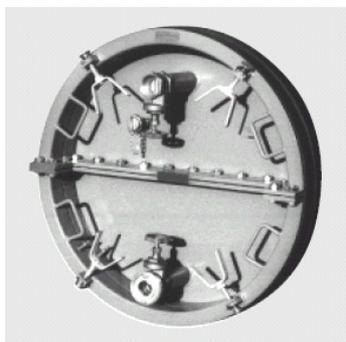
b) Lieferprogramm: DN 150 bis 450, Fa. MÜLLER Umwelttechnik GmbH & Co KG [68]

Abb. 5: Beispiele für mechanische Rohrabsperngeräte

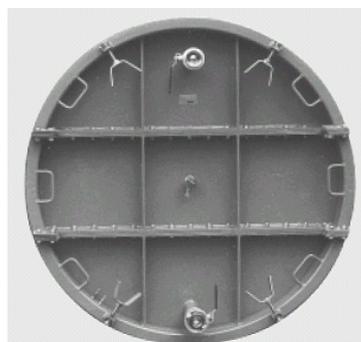
c) Pneumatische Rohrabsperngeräte

Pneumatische Rohrabsperngeräte sind nach [66] scheibenförmige Körper mit oder ohne Durchleitmöglichkeit für Wasser oder Luft. Auf der Scheibe, die dem Rohrprofil angepasst ist, befindet sich ein mit Luft befüllbarer Dichtkörper. In Abb. 6 sind Beispiele für pneumatische Rohrleitungs-Prüfgeräte dargestellt. Diese Geräte wurden für die Dichtheitsprüfung von verlegten Rohren der Nennweite DN 650 bis DN 3000 konstruiert. Auf dieser Basis ist jedoch auch eine Weiterentwicklung zum pneumatischen Rohrabsperngerät denkbar.

Absperrscheiben besitzen im Gegensatz zu Absperrblasen nur ein relativ geringes pneumatisches Volumen, da diese Geräte im Wesentlichen aus einer Stahlschweißkonstruktion bestehen. Die Abdichtung gegen die Rohrwandung wird durch ein bzw. zwei umlaufende und vergleichsweise dünne Hohlkammerprofile aus Kautschuk mit Gewebeeinlage gewährleistet, die in einem angeschweißten U-Profil angeordnet sind. Gegenüber Absperrblasen sind Absperrscheiben aufgrund ihrer massiven Stahlkonstruktion deutlich schwerer und unhandlicher. Darüber hinaus sind sie nur eindimensional einsetzbar, d.h. sie können nur für Rohre einer bestimmten Nennweite eingesetzt werden. Die Absperrscheibe muss im Regelfall durch einen Einsteigschacht in den Kanal eingebracht werden. Daher ist die Absperrscheibe bei größeren Rohrnennweiten teilbar auszuführen. Beim Vor-Ort-Einsatz ist mit Zeitaufwand für die Montage des Gerätes zu rechnen.



a) zweiteilige Ausführung

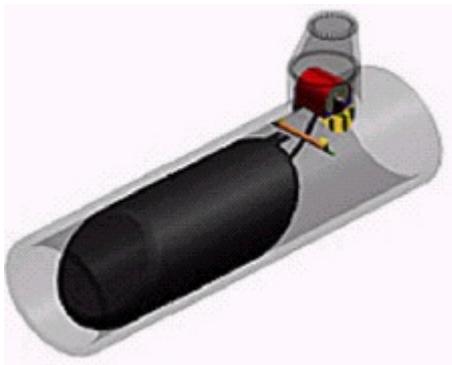


b) dreiteilige Ausführung

Abb. 6: Beispiele für pneumatische Rohrleitungs-Prüfgeräte der städtler + beck GmbH [71] für Rohre der Nennweite DN 650 bis DN 3000

d) Spülsack (Sonderfall)

Der in Abb. 7 dargestellte Spülsack wurde durch die HST Hydro-Systemtechnik GmbH (Meschede) entwickelt. Eine detaillierte Beschreibung des Gerätes enthalten [72] und [73]. Das System dient in Kanälen der Nennweiten DN 600 bis DN 3000 der Erzeugung von Schwallspülungen zur Kanalreinigung. Bei dieser Methode wird das Abwasser zunächst aufgestaut und fließt anschließend – ausgelöst durch plötzliche Freigabe – als Schwallwelle durch den Kanal. Im Vergleich zu anderen Techniken zur Erzeugung von Schwallspülungen, wie z.B. Schieber, versenkbares Wehr, Drehbogen oder Schlauchwehr (vgl. [73]) ist der Aufwand zur Installation des Spülsacks geringer. Das Gerät wird wie in Abb. 7 gezeigt in einen Revisionsschacht eingebaut.



a) Schemaskizze (vgl. [72], [73])

b) Einsatz im Kanal, DN 2000 (vgl. [73])

Abb. 7: AWS-Spülsack, Einsatzbereich DN 600 bis DN 3000, HST Hydro-Systemtechnik GmbH

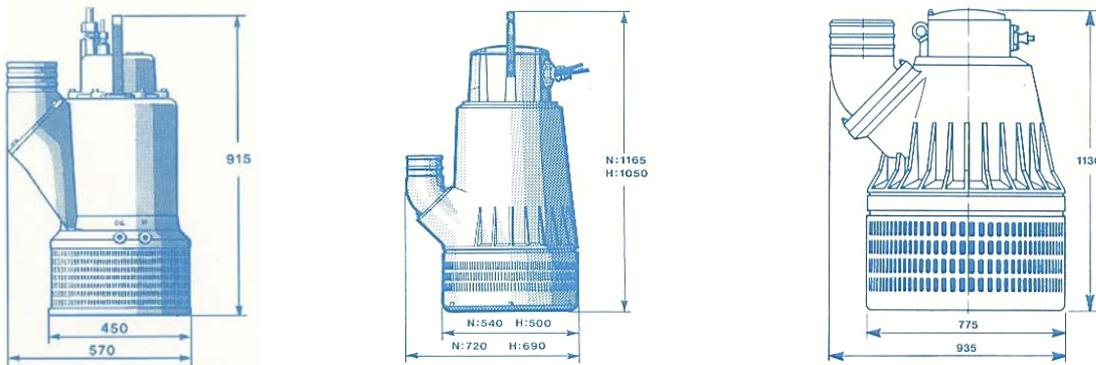
Im Einsatzfall senkt sich ein blasenartiger Verschlusskörper in den Kanal ab, wird mit Luft gefüllt (Arbeitsdruck ca. 0,2 bar) und verschließt den Rohrquerschnitt. Nachdem die vorgesehene Stauhöhe erreicht ist, wird der Spülsack schlagartig entlüftet und die aufgestaute Abwassermenge freigegeben. Auf diese Weise bildet sich ein Spülschwall. Nach einem Spülereignis wird der Verschlusskörper automatisch aufgewickelt. Mit Blick auf seine Teil-Funktion „Verschließen des Kanalquerschnittes“ kann der Spülsack als Sonderfall einer Absperrblase betrachtet werden.

2.3.2 Überleiten

Zur Aufrechterhaltung der Vorflut wird der Betrieb des betroffenen Kanalabschnittes durch Absperrungen eingestellt und das Abwasser durch eine oberirdisch geschaffene Leitung, die aus Rohren oder Schläuchen besteht, über den nächstmöglichen unterhalb gelegenen Schacht wieder in den Kanal eingeleitet. Der **Transport des Abwassers** kann mit Hilfe von **Pumpen** oder so genannten **Hebern** erzielt werden.

Als Pumpen für den Abwasserbereich können u.a. **Tauchmotorpumpen** oder **selbstansaugende Pumpen** zum Einsatz kommen. In Abb. 8 sind drei unterschiedliche Modelle von **Schmutzwasser-Tauchpumpen** dargestellt. Nach Angaben des Herstellers (vgl. [74]) sind diese elektrisch betriebenen Kreiselpumpen zwischen 160 und 525 kg schwer, zwischen 570 und 935 mm breit und zwischen 925 und 1130 mm hoch. Unter der

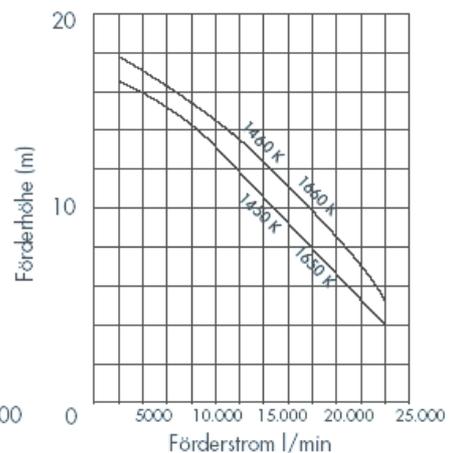
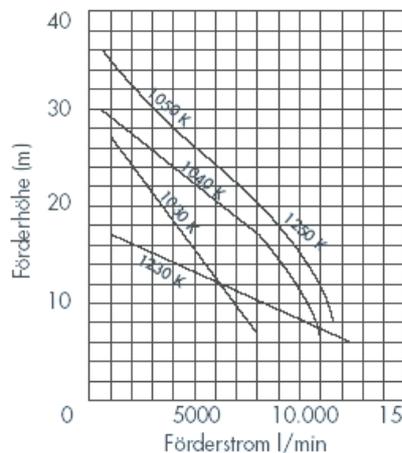
Annahme einer Förderhöhe von 7,5 m beträgt die Fördermenge 93 l/s (Modell BP 5), 154 l/s (Modell BP 6) bzw. 305 l/s (Modell BP 7). Während der Pumpentyp BP 5 mit einem Abflusstutzen von 100 oder 150 mm Durchmesser ausgestattet ist, verfügen die Pumpentypen BP 6 und 7 über einen Abflusstutzen von 8 Zoll.



- a) Pumpentyp BP 5 (N*), G: 160 kg, BxH: 570x915, Q (h=7,5 m) ≈ 93 l/s
- b) Pumpentyp BP 6 (N*), G: 270 kg, BxH: 720x1165, Q (h=7,5 m) ≈ 154 l/s
- c) Pumpentyp BP 7 (N*), G: 525 kg, BxH: 935x1130, Q (h=7,5 m) ≈ 305 l/s

Abb. 8: Beispiele für Schmutzwasser-Tauchpumpen, Heide-Pumpen GmbH [74], * Normaldruckausführung

Einen speziell für das Fördern von Schlamm und Abwasser ausgelegten Pumpentyp zeigt Abb. 9. Unter der Annahme einer Förderhöhe von 7,5 m beträgt die Fördermenge dieser ebenfalls elektrisch betriebenen **Schlamm- und Abwassertauchpumpen** nach [75] 125 l/s (Modell 1030-K), 175 l/s (Modell 1230-K) bzw. 333 l/s (Modell 1650-K). Die genannten Geräte wiegen zwischen 440 und 956 kg. Sie sind zwischen **1089 und 1764 mm hoch** und ihr **Durchmesser liegt zwischen 1007 und 1544 mm**. Das Fördermedium darf in Abhängigkeit des Modells Feststoffe mit einer maximalen Korngröße von 79 mm (Modell 1030-K), 88 mm (Modell 1230-K) bzw. 120 mm (Modell 1650-K) enthalten. Der Durchmesser des Druckabganges ist entsprechend der Förderleistung auf 250 mm, 300 mm bzw. 400 mm dimensioniert.



- a) Beispielfoto
- b) Pumpen-Kennlinien

Abb. 9: Schlamm- und Abwassertauchpumpen (Serie TURBO), Heide-Pumpen GmbH [75]

So genannte **selbstansaugende Pumpen** werden mit Hilfe von Diesel- und Elektromotor betrieben und im Gegensatz zu Tauchpumpen nicht innerhalb des Abwassers aufgestellt. Im Betriebszustand führen von dem trocken aufgestellten Gerät zum Pumpensumpf eine oder mehrere Schläuche. Durch diese Leitungen wird das Fördermedium mit Hilfe der Pumpe über eine maximale Höhe von 7,5 m angesaugt und anschließend über einen Abgangsstutzen in die angeschlossene Druckleitung weitergeleitet. Bei den in Abb. 10 beispielhaft dargestellten Geräten handelt es sich um Vakuumpumpen, die nach Angaben des Herstellers zum Umpumpen von verschmutzten Medien und Abwasser geeignet sind (vgl. [76], [77]). Die Maxima der Fördermenge bzw. der Förderhöhe liegen modellabhängig bei 47 l/s bzw. 13 m (AVP 150), 139 l/s bzw. 22 m (AVP 500) und 458 l/s bzw. 25 m (AVP 1500). Eine Abwasservakuumpumpe des Typs AVP 500 besitzt Maße (LxBxH in mm) von 3600x1100x1600 und wiegt ca. 1,7 t. Bei Wahl des elektrischen Betriebes besteht ggf. die Notwendigkeit, ein mobiles Stromaggregat bereitzustellen. Für jede Pumpe des Typs AVP 500 E ist ein Stromaggregat erforderlich. Es besitzt Maße (LxBxH in mm) von 2600x1150x1970, ist ca. 2,5 t schwer und erzeugt einen Geräuschpegel von ca. 63 dBA.



a) AVP 150 E*,
 $Q_{\max} \approx 47 \text{ l/s}$,
 $H_{\max} \approx 13 \text{ m}$,



b) AVP 500 E*,
 $Q_{\max} \approx 139 \text{ l/s}$,
 $H_{\max} \approx 22 \text{ m}$

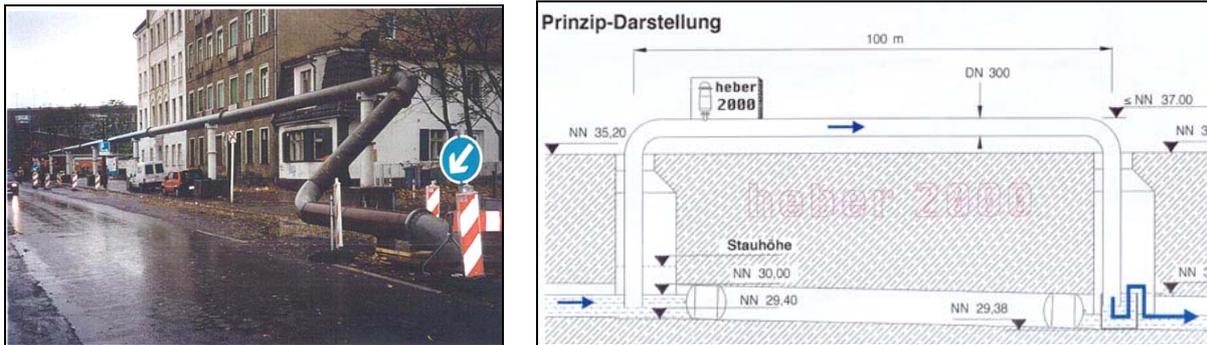


c) AVP 1500 E*,
 $Q_{\max} \approx 458 \text{ l/s}$,
 $H_{\max} \approx 25 \text{ m}$

Abb. 10: Beispiele für selbstansaugende Abwasservakuumpumpen (AVP), Conrad Pollmann Norddeutsche Karosseriefabrik und Pumpenbau GmbH (vgl. [76], [77])

* Elektromotor

Da provisorische Pumpwerke einen hohen Energiebedarf aufweisen, intensive Wartung erfordern und zu Verstopfungen neigen, empfiehlt sich häufig der Einsatz von Hebern. Der **Heber** stellt eine gebogene Röhre dar und wird allgemein zum Umfüllen von Flüssigkeiten eingesetzt. Seine Funktion beruht dabei auf dem Prinzip der kommunizierenden Röhren. Im Bereich der Abwassertechnik wird mit Hilfe von Hebern das Abwasser über ein höher als der Abwasserspiegel gelegenes Niveau in ein tiefer gelegenes gefördert. Als Antriebsenergie dient die Wasserspiegeldifferenz zwischen dem Zulaufschacht und der Ausflussöffnung des Hebers. Durch Umsetzen dieser potentiellen Energie in kinetische Energie bewirkt der Heber in der Heberleitung einen Volumenstrom. Zum Betrieb muss das Abwasser mittels einer Vakuumanlage angesaugt werden. Als Vorteile des Systems werden die hohe Betriebssicherheit und der geringe Energieverbrauch herausgestellt (vgl. [78]).



a) Praxiseinsatz

b) Prinzip-Darstellung

Abb. 11: Vorflutsicherung durch Überleiten unter Einsatz eines Hebers (vgl. [78])

2.3.3 Durchleiten

Bei dieser Art der Vorflutsicherung wird das anfallende Abwasser durch eine provisorisch innerhalb des Kanals verlegte Rohrleitung gefasst und bei geringen Abflussmengen im natürlichen Gefälle unter Verzicht von Pumpen abgeleitet. Es wird ein begrenzter Arbeitsraum geschaffen, der die Inspektion und die Instandhaltung ermöglicht. Voraussetzung für diese Lösung ist die Begehbarkeit des Kanalquerschnittes und ein ausreichendes Platzangebot für die Verlegung der Vorflutleitung. Zudem ist es erforderlich, die Abflussmenge genau abzuschätzen, um die Leitung entsprechend zu dimensionieren. Aus Gründen der Arbeitssicherheit muss eine Möglichkeit bestehen, bei unerwartet starkem Abwasseranfall die betreffende Kanalhaltung nach kurzer Vorbereitungszeit wieder in Betrieb nehmen zu können.

Eine Variante dieser Technik ist in Abb. 12 dargestellt. Hierbei wird das Abwasser nicht durch eine Rohrleitung, sondern durch einen in den Kanal eingezogenen, flexiblen Schlauch geleitet. Diese Methode wird beim Kurzrohrverfahren eingesetzt und ist unter der Bezeichnung „Kathetermethode“ bekannt.

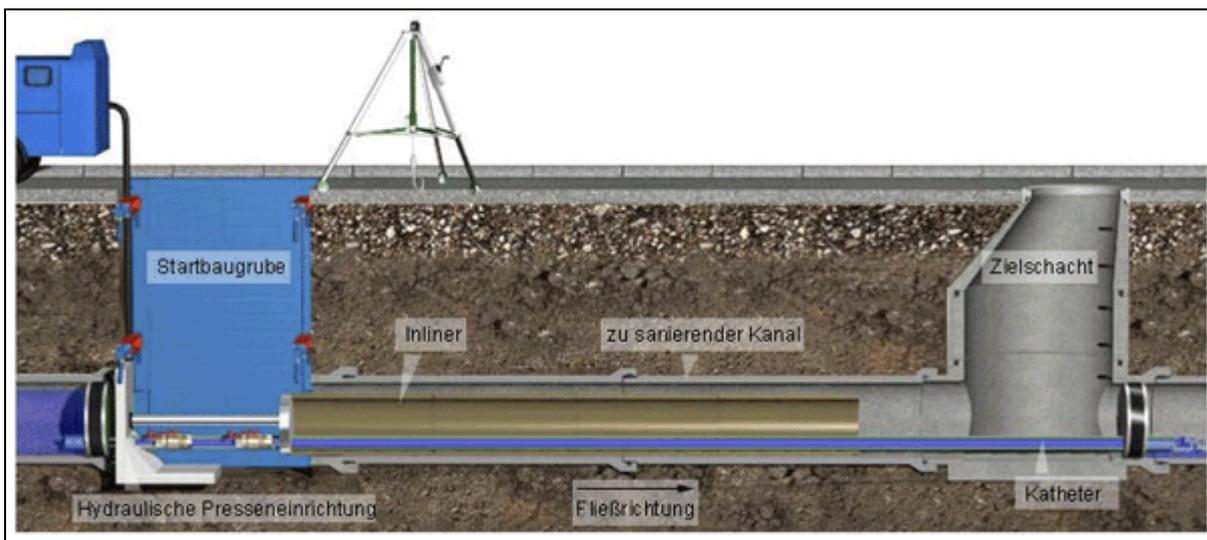


Abb. 12: Aufrechterhaltung der Vorflut mit der Kathetermethode [79]

3 Ergänzende Untersuchungen

Den Schwerpunkt der vorliegenden Pilotstudie bildete die Planung und Durchführung der Inspektion des als Untersuchungsobjekt dienenden Haupt-Schmutzwassersammlers im Zuständigkeitsbereich des Stadtentwässerungsbetriebes Paderborn (vgl. Kapitel 5). Um über diesen einzelnen Anwendungsfall und dessen spezielle Randbedingungen hinausgehend weitere Informationen zum Thema „Inspektion teilgefüllter Kanäle“ zu erfassen, wurden neben den umfangreichen Praxiseinsätzen in Paderborn ergänzende Untersuchungen durchgeführt.

Zunächst wurden Interviews mit 16 öffentlichen Kanalnetzbetreibern geführt, um bereits bestehende Praxiserfahrungen hinsichtlich der Zustandserfassung von Kanälen, in denen ständig hohe Abwassermengen abgeleitet werden, zu erfassen (vgl. [Kapitel 3.1](#)). Die In-situ-Beobachtungen umfassten zwei Vor-Ort-Termine in Ludwigshafen bzw. Kaiserslautern, bei denen Informationen über den Einsatz eines Hebers gewonnen wurden bzw. die Begleitung der Begehung eines Großprofilkanals stattfand (vgl. [Kapitel 3.2](#)). Um schließlich unter reproduzierbaren und aus arbeitssicherheitstechnischer Sicht vergleichsweise risikoarmen Randbedingungen Techniken zur Absenkung des Wasserstandes bzw. zur Inspektion der Rohrsohle zu testen, wurden Versuche in teilgefüllten Prüfstrecken des IKT durchgeführt (vgl. [Kapitel 3.3](#)).

3.1 Erfahrungen der Kanalnetzbetreiber

Im Rahmen der Planungen zur optischen Inspektion eines teilgefüllten Kanals ist nicht nur eine auf die gegebenen Randbedingungen abgestimmte Inspektionsmethode zu wählen. Darüber hinaus ist zu klären, wie der Kanal im Bedarfsfall vor der Zustandserfassung gereinigt werden kann und welche Möglichkeiten zur Absenkung der Wasserstandshöhe umsetzbar erscheinen. Vor diesem Hintergrund wurden insbesondere mit Blick auf die Dimensionen (DN 1600/DN 1800) des zu inspizierenden Paderborner Haupt-Schmutzwassersammlers in Kapitel 2 Recherche-Ergebnisse bzgl. verfügbarer Techniken zur Inspektion, Kanalreinigung und Vorflutsicherung vorgestellt. Um darüber hinausgehend Anregungen aus der Praxis über vorliegende Erfahrungen bei der Inspektion teilgefüllter Kanäle aufzunehmen, wurden zusätzlich Gespräche mit 16 öffentlichen Kanalnetzbetreibern geführt. Im Folgenden sind die Schwerpunkte der dabei gewonnenen Erkenntnisse aufgeführt:

a) Vorflutsicherung

Zwei der Befragten gaben an, ständig teilgefüllte Kanäle, bei Trockenwetter ohne provisorische Installationen zur Vorflutsicherung nahezu abwasserfrei inspiziert zu haben. Möglich wurde dies demnach dadurch, dass die Kanalbegehung in einer Trockenwetterperiode zur Haupturlaubszeit durchgeführt wurde und bestehende Betriebspunkte genutzt wurden. Die Abschaltung einzelner Pumpwerke führte zur Unterbrechung des Zuflusses zum Untersuchungsobjekt. Als Zwischenspeicher für das aufgestaute Abwasser wurden sowohl das Kanalnetz als auch Regenbecken aktiviert. Zwei weitere Netzbetreiber gingen auf ähnliche Weise vor, jedoch mussten im Vorfeld der Kanalinspektion mehrere fest installierte Schieber in das Entwässerungssystem eingebaut

bzw. Pumpstationen errichtet oder umgebaut werden. Die Durchführung der Baumaßnahmen war nach Angaben dieser Befragten kostenintensiv und aufwändig.

Die überwiegende Zahl der interviewten Netzbetreiber gab an, zur temporären Reduzierung der Wasserstandshöhe in teilgefüllten Kanälen, vorübergehende Maßnahmen zur Vorflutsicherung (z.B. Absperren, Überleiten) durchführen zu müssen, die mit hohen Kosten und Arbeitsaufwand verbunden seien. Um den betroffenen Kanalabschnitt abzusperrern, wurden zum einen provisorische Rohrabsperrgeräte (s. Beispiele in Kapitel 2.3.1) verwendet. Zum anderen wurden in einigen Fällen auch Teil-Abmauerungen der Kanalquerschnitte unter Einsatz von schnell abbindendem Mörtel vorgenommen. Die Umsetzung dieser Vorgehensweise ist u.a. abhängig vom Rohrmaterial und der Fließgeschwindigkeit des Abwassers. Als weitere Variante zur Kanalabspernung wurden nach Angaben eines Netzbetreibers Holzelemente eingesetzt, die auf die Dimension des Untersuchungsobjektes zugeschnitten worden waren (vgl. Abb. 13 a, c). Zur Stabilisierung dieser Bauteile wurden sowohl teleskopierbare Metallstützen senkrecht im Kanal verspannt als auch Sandsäcke aufgeschichtet. Um die Dichtigkeit dieser Konstruktion zu verbessern, wurde darüber hinaus Abdichtfolie verwendet. Das im abgesperrten Abschnitt vorhandene Restwasser wurde mit Hilfe von Pumpen abgesaugt (vgl. Abb. 13 b).



a) Holzelement

b) Abpumpen des Abwassers

c) abgesperrter Abschnitt

Abb. 13: Absperren eines Kanalabschnittes mit Holzelementen [80]

Fünf Kanalnetzbetreiber berichteten über Erfahrungen bezüglich des Überleitens von Abwasser unter Einsatz mobiler Pumpen oder Heber. In diesem Zusammenhang wurde darauf hingewiesen, dass Schwierigkeiten bei der Wasserhaltung von Kanälen bestehen, die tiefer als 7,5 m liegen. Bei Saugpumpen entspricht diese Tiefe ungefähr der maximalen Förderhöhe. Auch Tauchpumpen können in diesem Fall häufig nicht eingesetzt werden, da sie aufgrund ihrer Abmessungen (s. Beispiele in Kapitel 2.3.2) nicht durch Standard-Schächte passen.

b) Kanalreinigung

Eine wesentliche Voraussetzung für die Inspektion ist aus der Sicht der Befragten die Reinigung des Kanals. Ablagerungen müssen sowohl aus der Sohle als auch aus dem Bereich des Gasraumes entfernt werden. Die Umsetzung dieser Anforderung kann jedoch bei teilgefüllten Großprofilkanälen mit Schwierigkeiten verbunden sein. Zum einen können große Abwassermengen den Einsatz von Sohlenreinigern behindern. Zum anderen bestehen

Unsicherheiten insbesondere hinsichtlich technischer Lösungen zur Reinigung des Gasraumes. In diesem Zusammenhang berichteten zwei der Befragten von positiven Erfahrungen beim Einsatz von Propellerdüsen zur Reinigung des gesamten Querschnittes von Großrohren mit Kreisprofil (vgl. Kapitel 2.2, Tab. 3, Abschnitt II). Ein besonderes Problem stellt nach den Erfahrungen der Netzbetreiber die Reinigung von Kanälen mit Sonderquerschnitten (z.B. Kastenprofile mit Trockenwettergerinne, trapezförmige Sohle o.ä.) dar.

Wesentlichen Einfluss auf den erforderlichen Zeit- und Kostenaufwand für die Reinigung hat die Lage des Kanals. Während Schächte, die in unbefestigtem Gelände (z.B. Wiesen, Äcker) liegen, für HD-Spülfahrzeuge mit hohem Eigengewicht nur eingeschränkt (z.B. in Trockenwetterperioden) oder überhaupt nicht erreichbar sind, kann die Lage im Bereich von Straßenbahngleisen das Zeitfenster für die Durchführung der Kanalreinigungsarbeiten auf wenige Nachtstunden begrenzen, da die Verkehrsbetriebe nur dann ihren Dienst einstellen.

c) Kanalinspektion

Vier der befragten Netzbetreiber gaben an, dass in ihrem Zuständigkeitsbereich permanent teilgefüllte Kanäle liegen, die noch nicht inspiziert wurden. Als Grund wurde der hohe finanzielle Aufwand für Wasserhaltungsmaßnahmen genannt. Demnach bestehen in den Kanalnetzen dieser Betreiber keine Betriebspunkte, wie z.B. Pumpstationen oder Schieber, die das Absperren des zu inspizierenden Kanalabschnittes erlauben.

Im Gegensatz dazu berichteten andere Befragte über bestehende Praxiserfahrungen hinsichtlich der Inspektion teilgefüllter Kanäle. Diesen Angaben zufolge wurden u.a. TV-Roboter, Schwimmkameras und Taucher eingesetzt sowie Begehungen durchgeführt. Beim Einsatz von TV-Robotern wurde teilweise auf Installationen zur Absenkung der Wasserstandshöhe (z.B. Absperren und/oder Überleiten) verzichtet, um die Kosten für die Inspektionsmaßnahme gering zu halten. Für die Inspektion wurde lediglich ein Zeitfenster (z.B. Nachtstunden und/oder Trockenwetterperiode) gewählt, innerhalb dessen mit einem verhältnismäßig geringen Abwasserdurchfluss zu rechnen war. Dabei wurde akzeptiert, dass der benetzte Rohrumfang, d.h. insbesondere die Sohle, nicht erfasst werden konnte. Auch bei der Begehung von Kanälen werden von einigen Netzbetreibern aufgrund der hohen Kosten für Wasserhaltungsmaßnahmen Teilfüllungen toleriert. Jedoch ist beim Einsatz von TV-Robotern in teilgefüllten Kanälen bzw. bei deren Begehung zu bedenken, dass sich unter der Abwasseroberfläche u.a. Unebenheiten (z.B. Löcher in Mauerwerkskanälen infolge fehlender Klinker) oder nicht entfernte Ablagerungen verbergen können, die für den Roboter ein unüberwindbares Hindernis darstellen bzw. für den Inspekteur eine Sturzgefahr bedeuten.

Als eine Variante zur Zustandserfassung von Kanälen, in denen ständig große Abwassermengen abgeleitet werden, wurden Schwimmkameras, d.h. auf Flößen montierte TV-Kameras (s. Beispiele in Kapitel 2.1, Tab. 1, Abschnitt III), genannt. Dieses Verfahren, bei dem das Inspektionssystem mit Hilfe eines Seils durch das Untersuchungsobjekt gezogen wird, wurde von den Befragten als kostengünstig eingeschätzt, weil es keine Maßnahmen zur Wasserhaltung voraussetzt. Die Bildqualität des gewonnenen Videomaterials hängt sowohl von dem eingesetzten Inspektionsgerät als auch von den

Randbedingungen des Kanals (u.a. Nennweite, Fließgeschwindigkeit des Abwassers) ab. Die Kanalnetzbetreiber bewerteten die Schwimmkameras hinsichtlich der Eignung zur Zustandserfassung unterschiedlich. Es wurde empfohlen, über ihre Anwendung im Einzelfall zu entscheiden.

Ein Netzbetreiber stellte den Einsatz von Tauchern im Rahmen der Kanalinspektion zur Diskussion. Praxiserfahrungen zu diesem Verfahren lagen lediglich im Zusammenhang mit der Zustandserfassung von Regenauslasskanälen vor, die durch das Wasser eines Vorfluters ständig eingestaut sind. Hinsichtlich der Untersuchung von Misch- und Schmutzwasserkanälen wurde diese Inspektionstechnik als ungeeignet bewertet.

d) Arbeitssicherheit

Nach Einschätzung der befragten Kanalnetzbetreiber ist insbesondere bei der Zustandserfassung von teilgefüllten Kanälen die Einhaltung arbeitssicherheitstechnischer Vorschriften von großer Bedeutung. Dieser Hinweis bezieht sich nicht nur auf Maßnahmen zum Schutz des Personals vor Absturz, Ersticken etc., sondern auch auf zum Schutz vor Gefahren, die im Zusammenhang mit der Verwendung von Komponenten zum Absperren (z.B. Dichtblasen) oder Umleiten (z.B. Pumpen, Stromaggregate) stehen. Dabei stellt jeder Einzelfall unterschiedliche Anforderungen an die Planung, Vorbereitung und Durchführung. Als Grundvoraussetzung für den sicheren Ablauf des Inspektionseinsatzes wird eine entsprechende Ausbildung des vor Ort tätigen Personals genannt.

Im Gesamtblick der Befragung ist festzuhalten, dass die Kanalnetzbetreiber bei der Zustandserfassung von teilgefüllten Kanälen den Einsatz von Verfahren zur Reinigung, Vorflutsicherung und Inspektion anstreben, die nicht nur aus technischer Sicht den Anforderungen des vorliegenden Anwendungsfalles genügen, sondern auch zuverlässig, wirtschaftlich vertretbar und aus arbeitssicherheitstechnischer Sicht geeignet sind.

3.2 In-situ-Beobachtungen

Erste Überlegungen zur Zustandserfassung des Paderborner Transportsammlers beinhalteten den Einsatz eines Hebers zur Vorflutsicherung und die Begehung des Untersuchungsobjektes. Um zu diesen Themenbereichen Informationen aus der Praxis zu gewinnen, wurde ein in Betrieb befindlicher Heber in Ludwigshafen besichtigt (vgl. Kapitel 3.2.1) und eine Kanalbegehung in Kaiserslautern begleitet (vgl. Kapitel 3.2.2).

3.2.1 Heber-Einsatz in Ludwigshafen

Um ständig teilgefüllte Kanäle möglichst umfassend optisch inspizieren zu können, ist es notwendig, die Wasserstandshöhe zu minimieren. Eine Maßnahme der Vorflutsicherung stellt das Überleiten dar. Hierfür können entweder provisorische Pumpwerke oder Heber installiert werden (vgl. Kapitel 2.3.2, Abb. 11).

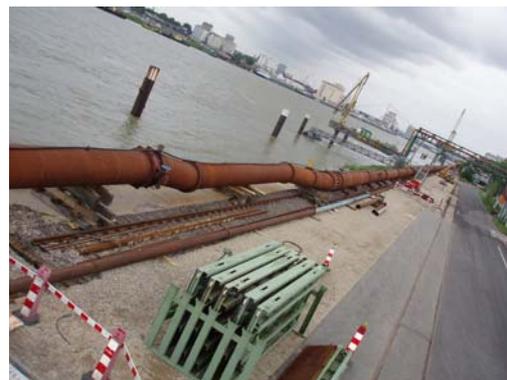
Für den Paderborner Haupt-Schmutzwassersammler wurde bei den Planungen der Inspektionsmaßnahmen u.a. auch der Einsatz eines Hebers zum Überleiten des Abwassers über ca. 600 m lange Teilabschnitte des Kanals in Erwägung gezogen. Das Angebot eines Dienstleisters sah unter Berücksichtigung der betrieblichen Randbedingungen des

Untersuchungsobjektes die Verlegung einer Heberleitung der Nennweite DN 600 vor. Vor der Entscheidung über einen Einsatz in Paderborn wurde durch die Projektbeteiligten angestrebt, weitergehende **Informationen** zu **gewinnen** und auch **Praxiserfahrungen** anderer Netzbetreiber zu **erfassen**. Nachfolgend wird die Anwendung eines Heber 2000 auf dem Gelände der BASF AG in Ludwigshafen beschrieben, der im Rahmen eines Vor-Ort-Termines besichtigt werden konnte.

Unter dem Gelände der BASF AG verläuft auf einer Gesamtlänge von ca. 3,2 km ein Hauptsammler (Querschnitt: 2000x2000), der nicht nur die Abwässer dieses Industriebetriebes, sondern auch die der Stadt Ludwigshafen aufnimmt und daher ständig teilgefüllt ist. Die Kanalsohle liegt in Tiefen zwischen 4,1 und 5,5 m. Zur Inspektion und zur Beseitigung von Ablagerungen wurde der Sammler in ca. 370 bis 420 m langen Abschnitten temporär außer Betrieb genommen und das Abwasser mit Hilfe eines **Heber 2000** übergeleitet (vgl. [81]). Die Anlage war nach Angaben des Netzbetreibers auf **Fördermengen von 3.000 m³/h bis 15.000 m³/h** ausgelegt. Sie bestand im Wesentlichen aus dem in einem Container untergebrachten Betriebsgerät, das u.a. eine Steuereinheit und Vakuumpumpen beinhaltete (vgl. Abb. 14 a), und der **Heberleitung**, die aus **Stahlrohren der Nennweite DN 1400** zusammengesetzt war (vgl. Abb. 14 b).



a) Betriebsgerät



b) Heberleitung, St 37, DN 1400

Abb. 14: Komponenten eines Heber 2000 auf dem Betriebsgelände der BASF AG, Ludwigshafen, Fotos: [81]

Vor der Installation der Heberleitung musste die Gesamtlänge der zu untersuchenden Kanalstrecke aus hydraulischen sowie reinigungs- und inspektionstechnischen Gründen durch den Neubau zweier Schächte aus Ortbeton in vier etwa gleichlange Abschnitte unterteilt werden. Dazu wurde der Kanal zunächst in dem betroffenen Bereich für die zwei neuen Schächte in offener Bauweise freigelegt und umbaut, um das freigelegte Kanalsegment anschließend unter laufendem Betrieb heraustrennen zu können. An den anderen drei Schächten beschränkten sich die Umbaumaßnahmen auf die druckwasserdichten Schachtdecken. Die Enden des außer Betrieb zu nehmenden Kanalabschnittes wurden durch Wehre (Holz- bzw. Stahlschieber) verschlossen (vgl. Abb. 15 a). Aufgrund der unmittelbaren Nähe zum Rhein und der damit verbundenen Hochwassergefahr wurden die Übergänge zwischen der Heberleitung und dem Zu- bzw. Ablaufbauwerk geflanscht ausgeführt (vgl. Abb. 15 b).

ausgerüstet mit Helm, Sicherheitsgeschirr, Gaswarngerät, Selbstretter, Gummistiefeln mit Nagelsohlen, Messlatte und Lasermessgerät, eine **Vorbegehung** der zu untersuchenden Kanalstrecke durch. Dabei wurden die Schachtmittelpunkte, die Zuläufe sowie die erfassten Schadstellen markiert und eingemessen (vgl. Abb. 16). Dieser Arbeitsschritt beinhaltete noch keine Videodokumentation.



a) Inspekture im Kanal



b) Einmessen eines Zulaufes



c) Markierung eines Schachtmittelpunktes

Abb. 16: Vorbegehung des zu inspizierenden Kanalabschnittes, Fotos: IKT

Im zweiten Arbeitsschritt begingen die beiden Inspekture den Kanalabschnitt erneut, um die **Zustandserfassung inkl. Videodokumentation** durchzuführen. Die von einem der beiden Mitarbeiter getragene Inspektionstechnik bestand aus einer Kamera mit Verwacklungsschutz und zwei Scheinwerfern (vgl. Abb. 17 a). Darüber hinaus war der Kameraführer mit einem Headset ausgestattet, über das eine ständige Wechselsprechverbindung zum Operator im Kanalinspektionsfahrzeug bestand. Auf diese Weise wurden z.B. ergänzende Informationen zu einzelnen Schäden oder Hinweise zur Verbesserung der Ausleuchtung ausgetauscht. Das Videosignal wurde über ein Datenkabel zum Inspektionsfahrzeug übertragen. Der Kanalinspekteur zog das auf einer Haspel im Inspektionsfahrzeug aufgerollte Kabel (Gesamtlänge: 500 m) über im Bereich des Einstiegsschachtes installierte Umlenkrollen (vgl. Abb. 17 b, c) hinter sich her.

Im Rahmen der zweiten Begehung wurden die im Gasraum liegenden Querschnittsbereiche optisch inspiziert und deren Zustand per Video dokumentiert. Dabei richtete der Kanalinspekteur die Kamera zunächst in Rohrlängsrichtung aus und filmte den Kanal bei maximaler Ausleuchtung. Anschließend schwenkte er einen jeweils ca. 1,5 m breiten Kanalabschnitt ab und passte dabei die Beleuchtungsintensität der Entfernung zwischen Kamera und Kanalwandung an. Nach dem seitlichen Schwenk ging der Kanalinspekteur wenige Schritte (ca. 1,5 m) weiter in Rohrlängsrichtung und wiederholte an dieser Position den oben beschriebenen Dokumentationsvorgang. Parallel zur Videodokumentation tastete der Kameramann die Kanalsohle mit den Füßen nach eventuellen Auffälligkeiten ab. Der zweite Kanalinspekteur achtete darauf, dass mit der Kamera alle zuvor markierten, schadhaften Stellen aufgezeichnet wurden. Nach Abschluss der Kamerainspektion lief das Inspektionsteam die gesamte untersuchte Strecke zum Einstiegsschacht zurück, da das

Datenkabel – im Gegensatz zu den bei TV-Robotern verwendeten Kabeln – nicht alleine durch den Kanal zurückgezogen werden kann.



a) Videokamera und Schweinwerfer



b) Umlenkrolle für Datenkabel im Einstiegsschacht



c) Umlenkrolle für Datenkabel über Trockenwettergerinne

Abb. 17: Inspektion des Kanals inkl. Videodokumentation, Fotos: IKT

Als **Fazit der Begleitung der Kanalbegehung** ist festzuhalten, dass praxisnahe Einblicke in die Ausrüstung der Inspekture, die eingesetzte Inspektionstechnik sowie die Arbeitsabläufe des vor Ort tätigen Personals gewonnen werden konnten. Diese Erfahrungen legten einen solchen Einsatz auch für den Paderborner Haupt-Schmutzwassersammler nahe.

3.3 IKT-Versuche

Als Ergänzung zu den In-situ-Inspektionen in Paderborn (vgl. Kapitel 5) wurden im IKT Versuche durchgeführt. Im Rahmen dieser Versuche wurden **zwei Techniken getestet**. Es wurde zum einen untersucht, inwieweit die Möglichkeit besteht, in einem in Betrieb befindlichen Kanal mit Hilfe einer **Ejektordüse eine Absenkung des Wasserspiegels** zu erzielen. Hintergrund dieser Idee war, dass durch Kombination dieser Methode mit einer Technik zur optischen Kanalinspektion – z.B. ein fahrendes Inspektionssystem nach Kapitel 2.1 – der Zustand des zu untersuchenden Kanals umfassender erfasst werden könnte (vgl. Kapitel 2.3). Zum anderen wurde eine **Druckkammer zur optischen Inspektion des Sohlbereiches** von Kanälen getestet, die trotz des Einsatzes von Methoden der Vorflutsicherung nicht vollständig abwasserfrei gehalten werden können.

Auf den direkten Einsatz dieser Geräte im Paderborner Untersuchungsobjekt wurde aus mehreren Gründen verzichtet. Zum einen fehlten Praxiserfahrungen im Umgang mit den einzusetzenden Techniken und da es sich bei der Druckkammer um einen Prototyp handelte, war mit unvorhersehbaren Problemen bei der Erst-Anwendung zu rechnen. Zum anderen bietet der Schmutzwasser-Hauptsammler insbesondere aufgrund der Arbeitssicherheitsanforderungen und der wechselnden Abwasserstandshöhen keine idealen Bedingungen zur Versuchsdurchführung und -dokumentation. Eine Beschreibung der Versuche zu den Einsätzen der Ejektordüse enthält Kapitel 3.3.1. In Abschnitt 3.3.2 werden die Tests der Druckkammer erläutert.

3.3.1 Ejektordüse zur Wasserspiegelabsenkung

Im Rahmen der nachfolgend beschriebenen Versuche wurde getestet, inwieweit mit einer Ejektordüse der Wasserspiegel in einem wasserführenden Kanal abgesenkt werden kann.

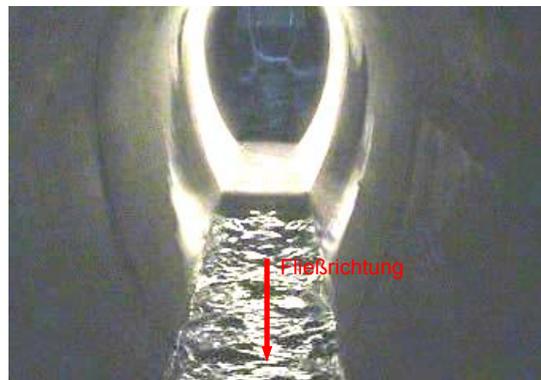
a) Versuchsaufbau

Die Versuche fanden in einer oberirdischen **Prüfstrecke** auf dem Außengelände des IKT statt. Sie besteht aus Stahlbetonrohren mit **Ei-Profil der Dimension 1200/1800** und ist ca. **35 m lang**. Um einen konstanten Wasser-Durchfluss in der Prüfstrecke simulieren zu können, wurden eine Pumpe (Fördermenge: ca. 60 l/s) und eine Leitung installiert sowie ein Ausgleichsbecken gebaut. Auf diese Weise bewegte sich das Frischwasser in einem geschlossenen Kreislauf.

Als Ejektordüse wurde ein Sohlenreiniger der Firma Dipl.-Ing. Bernd Otte (Horstedt) mit der Bezeichnung **Großprofil-Ejektordüse GRE 1200** (s. Abb. 18) verwendet. Nach Angaben des Herstellers wird dieses Gerät für die Reinigung von Kanälen ab DN 400 angeboten (vgl. [54]). Das Gerät besitzt Maße (LxBxH in mm) von 420x260x220, ist 17 kg schwer und mit 6 Düseneinsätzen M10 x 1 für den Vortrieb ausgestattet. Sowohl das Gehäuse als auch die Kufen bestehen aus VA-Stahl. Der oval geformte Durchlass ist 125 mm breit und 100 mm hoch. Der Durchfluss am Ejektor ist abhängig vom Druck und Volumenstrom des angeschlossenen Spülfahrzeuges. Das im Rahmen der Versuche eingesetzte **Kanalreinigungsfahrzeug** erzeugte bei einem **Druck von 120 bar einen Durchfluss von 300 l/s**.



a) Großprofil-Ejektordüse GRE 1200 [54]



b) Blick in die Prüfstrecke entgegen der Fließrichtung, Foto: IKT

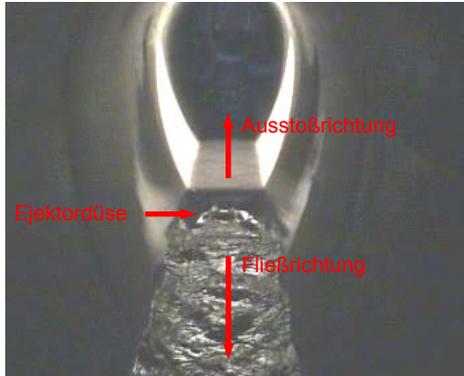
Abb. 18: Versuchsaufbau

b) Versuchsdurchführung

Im ersten Schritt wurde mit Hilfe des pumpenbetriebenen Frischwasserkreislaufes ein konstanter **Durchfluss von 60 l/s** erzeugt. In der Folge stellte sich **innerhalb der Prüfstrecke eine Wasserspiegelhöhe von ca. 20 cm** ein. Danach wurde der Ejektor an den Schlauch des Spülfahrzeuges angeschlossen und anschließend in der Prüfstrecke positioniert. Um die Auswirkungen des durch den Ejektor beschleunigten Wassers auf die Höhe des Wasserspiegels im Kanal in Abhängigkeit der Ausstoßrichtung untersuchen zu können, wurden zwei Versuchsvarianten ausgeführt:

- Variante A: Wasser-Ausstoßrichtung der Ejektordüse gegen die Fließrichtung**

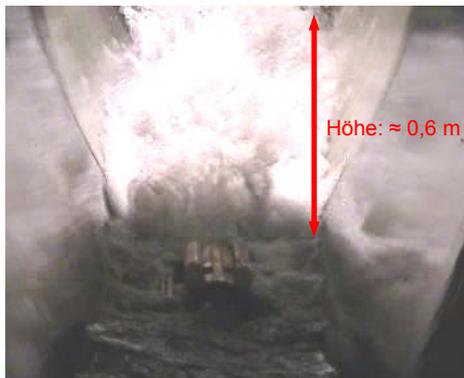
Bei diesem Versuch wurde die Ejektordüse so in der Prüfstrecke ausgerichtet, dass das durch ihn beschleunigte Wasser gegen das Kanalgefälle, d.h. gegen die Fließrichtung des simulierten Abwassers, ausgestoßen wurde (vgl. Abb. 19).



a) Ejektordüse im Ruhezustand



b) Ansaugöffnung der Ejektordüse, Wasserspiegelabsenkung: ca. 8 cm



c) Verwirbelungen und Spritzwasser hinter der Düse, Höhe: ca. 0,6 m

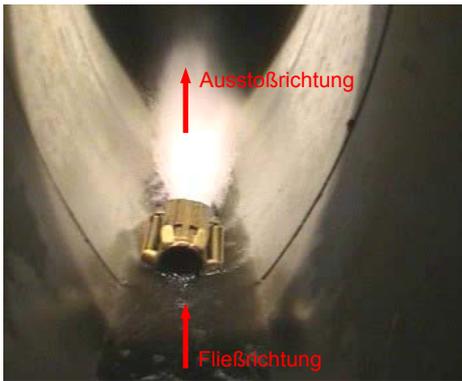


d) Turbulenzen und Spritzwasser hinter der Düse, Länge: ca. 3,0 m

Abb. 19: Einsatz der Ejektordüse gegen die Fließrichtung, Fotos: IKT

- Variante B: Wasser-Ausstoßrichtung der Ejektordüse in Fließrichtung**

Bei diesem Versuch wurde die Ejektordüse so in der Prüfstrecke ausgerichtet, dass das beschleunigte Wasser in Richtung des Kanalgefälles, d.h. in die Fließrichtung des simulierten Abwassers, ausgestoßen wurde (vgl. Abb. 20).



a) Ansaugöffnung der Ejektordüse, Wasserspiegelabsenkung: ca. 12 cm



b) Turbulenzen und Spritzwasser hinter der Düse, Höhe: ca. 0,6 m

Abb. 20: Einsatz der Ejektordüse in Fließrichtung, Fotos: IKT

c) Versuchsergebnisse

Bei beiden Versuchen (Variante A und B) wurde zunächst innerhalb der Prüfstrecke ein Durchfluss von 60 l/s erzeugt und dadurch im Ausgangszustand eine konstante Wasserspiegelhöhe von ca. 20 cm eingestellt. Beim Einsatz der Ejektordüse gegen die Fließrichtung, d.h. **Variante A**, wurde das Wasser oberhalb des Sohlenreinigers zeitweilig zurückgestaut und als Folge unterhalb des Gerätes eine **Absenkung des Wasserspiegels um ca. 8 cm** (40 %) beobachtet (s. Abb. 19 b). Im Gegensatz dazu wurde das Wasser beim Einsatz der **Variante B** mit Hilfe der Ejektordüse in Fließrichtung beschleunigt und auf diese Weise die **Wasserstandshöhe** oberhalb des Sohlenreinigers **um ca. 12 cm** (60 %) **reduziert** (s. Abb. 20 a). Somit ist für beide Versuchsvarianten festzustellen, dass unter den gegebenen Randbedingungen der Wasserspiegel zwar deutlich abgesenkt, der Sohlenbereich jedoch nicht vollständig wasserfrei gehalten werden konnte. Darüber hinaus wurden im Rahmen der Versuchsdurchführung sowohl **Turbulenzen** (Wirkungslänge: ca. 3,0 m) als auch **Spritzwasserbildung** (Höhe: ca. 0,6 m) in Richtung des durch die Ejektordüse ausgestoßenen Wassers beobachtet. **Diese Effekte könnten sich durch das Auftreten von Aerosolen negativ auf die Qualität einer parallel durchgeführten optischen Inspektion auswirken.**

3.3.2 Druckkammer zur Kanalsohleninspektion

Im Rahmen der im vorliegenden Abschnitt beschriebenen Versuche wurde untersucht, ob es unter Einsatz einer Druckkammer möglich ist, den Sohlbereich von Kanälen optisch zu inspizieren, wenn dieser mit anderen Methoden – auch vorübergehend – nicht vollständig abwasserfrei gehalten werden kann.

a) Versuchsaufbau

Die Versuche fanden in einer unter dem Außengelände des IKT verlegten, ca. **40 m langen Prüfstrecke** statt. Sie ist zusammengesetzt aus **Rohren mit Kreisprofil der Nennweite DN 2200**, die aus Stahlbeton bzw. Mauerwerk bestehen. Zur Simulation eines in Betrieb befindlichen Kanals wurde die Prüfstrecke bis zu einer **Höhe von ca. 40 cm mit Frischwasser gefüllt**.

Mit Hilfe des nachfolgend beschriebenen Prototyps einer **Druckkammer** soll ein Prüfraum geschaffen werden, der es ermöglicht, einen Bereich der Rohrsohle abwasserfrei zu halten. Dabei können verschiedene **Funktionsprinzipien** zum Einsatz kommen, um das Abwasser aus der Druckkammer zu entfernen:

- **Variante A:** Verdrängen des Abwassers durch Zufuhr von Luft,
- **Variante B:** Verdrängen des Abwassers durch Zufuhr von Frischwasser,
- **Variante C:** Absaugen des Abwassers und Erzeugen eines Vakuums.

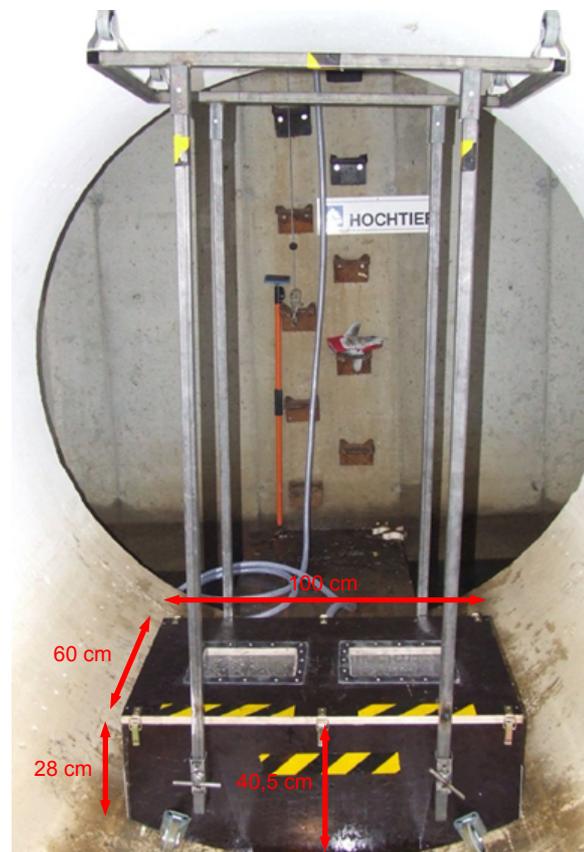
Die im Grundriss rechteckige Druckkammer ist an der Unterseite offen und besteht im Wesentlichen aus vier Seitenwänden und einem Deckel, der den Prüfraum nach oben abschließt. Die Unterkanten der zwei gegenüberliegenden Seitenwände, die beim Einsatz der Druckkammer parallel zum Rohrquerschnitt ausgerichtet werden, sind der Rohrkrümmung entsprechend geformt (vgl. Abb. 21).



a) Einzelelemente: Seitenwände, Deckel



b) Seitenwand mit Druckluftanschluss



c) Gesamtansicht in Rohrlängsrichtung

Abb. 21: Elemente und Maße der Druckkammer, Fotos: IKT

Sowohl die Seitenwände als auch der Deckel bestehen aus kunststoffbeschichteten Faserplatten mit einer Wanddicke von jeweils 2,0 cm. Sowohl die Fugen in der Prüfraumhülle als auch die Kontaktflächen zwischen der Druckkammer und dem Kanalrohr sind mit Dichtungsprofilen versehen. Der durch die Druckkammer umschlossene Prüfraum ist **60 cm lang** (in Rohrlängsrichtung) und **100 cm breit** (in Rohrquerrichtung). An den **Längsseiten** ist der Prüfraum **28 cm** und an den **Querseiten** – bedingt durch die Rohrkrümmungsanpassung

– bis zu **40,5 cm hoch**. Die Druckkammer besteht aus zwei Bauelementen, die so konstruiert sind, dass sie durch eine Standard-Schachttöffnung in den Kanal eingebracht und dort mit möglichst geringem Aufwand zusammengebaut werden können. Das erste Element umfasst die vier gelenkig miteinander verbundenen **Seitenwände**. Das zweite Element bildet der **Deckel** (LxB: 60x100 cm).

Die Montage der Druckkammer im Kanal begann mit der Entfaltung des ersten Elementes, so dass die vier Seitenwände senkrecht zu einander standen. Danach wurde der mit zwei Sichtfenstern versehene Deckel aufgesetzt und über Spannvorrichtungen mit den Seitenwänden verbunden. Nach dem Anschluss der Luft- bzw. Wasserleitung (vgl. Varianten A und B) wurde die Druckkammer mit Hilfe einer Konstruktion aus rechteckigen Stahlprofilrohren gegen den Kanalscheitel abgestützt und auf diese Weise gegen Auftrieb gesichert (vgl. Abb. 21 c).

b) Versuchsdurchführung

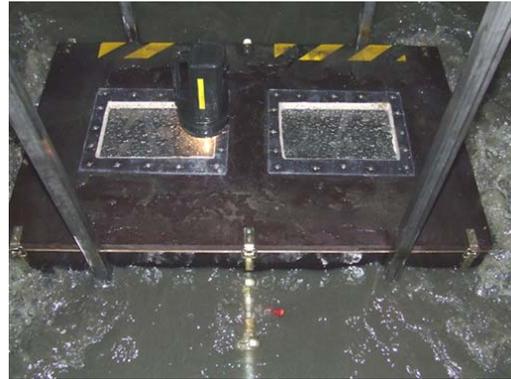
Im ersten Schritt wurde Frischwasser in die Prüfstrecke eingeleitet, bis der Wasserstand ca. 40 cm betrug. Um getrübbtes Abwasser zu simulieren, wurden dem Wasser feine Bodenpartikel zugegeben. Die nächsten Schritte umfassten das Einbringen der Druckkammer in einzelnen Elementen in den Kanal und die anschließende Montage in der unter Wasser stehenden Rohrsohle. Im Rahmen der Versuche wurden die **Varianten A und B zur Verdrängung des „simulierten“ Abwassers** aus der Druckkammer **getestet**. Variante C, bei der das Abwasser zunächst aus dem Prüfraum abgesaugt und in der Druckkammer anschließend ein Unterdruck erzeugt wird, wurde im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie nicht umgesetzt, da hierfür umfangreiche Modifikationen der Gerätetechnik erforderlich gewesen wären. Darüber hinaus wird u.a. dieses Prinzip bereits bei der Entwicklung eines automatisiertes Inspektionssystems für den zukünftig unterirdisch verlaufenden Emscher-Kanal verfolgt, die durch die Emschergenossenschaft (Essen) in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut Fabrikbetrieb und -automatisierung (Magdeburg) betrieben wird (vgl. Kapitel 2.1 und [31]).

• Variante A: Verdrängen des Abwassers durch Zufuhr von Luft

Bei diesem Versuch wurde getestet, inwieweit das Abwasser durch Zufuhr von Druckluft aus der an der Unterseite offenen Druckkammer verdrängt werden kann. Dazu wurde der Prüfraum über einen Schlauch mit einem an der Geländeoberfläche aufgebauten Kompressor verbunden. Dieses Gerät war in der Lage maximal 4,3 m³ Luft pro Minute bei einem Betriebsdruck von 7 bar zu fördern. Der Volumenstrom wurde über ein Ventil am Druckkammeranschluss des Luftschlauches geregelt. Bilder der Versuchsdurchführung zeigt Abb. 22.



a) Gesamtansicht in Rohrlängsrichtung,
Wasserstandshöhe ca. 37 cm



b) Turbulenzen durch austretende Luft



c) Blick in das Innere der Druckkammer,
Sichtfenster mit Wassertropfen bedeckt

Abb. 22: Durchführung der Versuchsvariante A

- **Variante B: Verdrängen des Abwassers durch Zufuhr von Frischwasser,**

Bei diesem Versuch wurde getestet, inwieweit es möglich ist, die Druckkammer so mit Frischwasser zu fluten, dass das Abwasser aus der an der Unterseite offenen Druckkammer verdrängt wird. Dazu wurde der Prüfraum über einen Schlauch an das Trinkwassernetz (Betriebsdruck ca. 4,5 bis 5 bar) angeschlossen.

c) Versuchsergebnisse

Bei der **Versuchsvariante A** (Luftzufuhr) konnte der **Wasserspiegel** innerhalb der Druckkammer, der im Ausgangszustand eine Höhe von 37 cm aufwies, durch die Einleitung von Druckluft **um ca. 25 cm (67 %) auf 12 cm** abgesenkt werden. Dabei wurden sowohl innerhalb als auch außerhalb der Druckkammer Turbulenzen im simulierten Abwasser beobachtet (vgl. Abb. 22 b). Die damit verbundene **Spritzwasserbildung** führte zu **Einschränkungen bei der Inaugenscheinnahme** des Druckkammerinnenraumes bzw. **der Rohrsohle** (vgl. Abb. 22 c). Dieser Effekt konnte durch die Verringerung der Luftzufuhr abgemindert, jedoch nicht vollständig verhindert werden. Es ist festzuhalten, dass durch die gewählte Methode eine deutliche Absenkung der Wasserstandshöhe innerhalb des Prüfraumes erreicht wurde und die Druckkammer während des Versuchsablaufes in ihrer Lage stabil blieb. Die optische Inspektion der Rohrsohle erscheint auf diese Weise

grundsätzlich realisierbar. Allerdings bestehen **Verbesserungspotentiale** hinsichtlich der Absenkung des Wasserspiegels und der Vermeidung von Spritzwasser.

Die **Versuchsvariante B** (Frischwasserzufuhr) ergab, dass das simulierte Abwasser mit Hilfe des direkt aus dem Trinkwassernetz zugeführten Frischwassers nicht in ausreichendem Maße aus der Druckkammer verdrängt werden konnte. Eine **Inaugenscheinnahme der Rohrsohle war daher nicht möglich**. Auch unter Einsatz einer Pumpe (Fördermenge 3 l/s) zur Erhöhung des Frischwasservolumenstromes konnte dieses Ziel nicht erreicht werden.

4 Arbeitssicherheit

Zur Kanalinspektion können in Abhängigkeit der örtlichen Randbedingungen verschiedene Techniken eingesetzt werden. Zu unterscheiden sind unbemannte (z.B. TV-Roboter) und bemannte (z.B. Begehungen) Verfahren (vgl. Kapitel 2.1). Auch bei Anwendung unbemannter Inspektionstechniken ist zu beachten, dass personelle Arbeiten innerhalb von Schächten oder Kanälen nicht grundsätzlich auszuschließen sind. Erforderlich kann dies z.B. werden, wenn das Inspektionsgerät mit manueller Unterstützung in den Kanal eingebracht bzw. nach dem Einsatz geborgen werden muss oder auch bei der Verwendung von provisorischen Rohrabsperngeräten (z.B. Dichtblasen, vgl. Kapitel 2.3.1), um das Untersuchungsobjekt temporär abwasserfrei zu halten. Bei der Durchführung von Arbeiten in abwassertechnischen Anlagen bestehen vielfältige Gefahrenquellen für das vor Ort tätige Personal. Kapitel 4.1 gibt einen allgemeinen Überblick zu möglichen Gefährdungen und entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen. In Kapitel 4.2 werden zunächst Gefahren und Arbeitsunfälle im Zusammenhang mit dem Einsatz von Dichtblasen beschrieben und anschließend die Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie zum Einbau von temporären Absperrelementen in den Paderborner Haupt-Schmutzwassersammler vorgestellt.

4.1 Allgemeine Gefährdungen und Sicherheitshinweise

Innerhalb von umschlossenen Räumen von abwassertechnischen Einrichtungen muss u.a. mit folgenden Gefahren durch Stoffe, die entweder von außen eingebracht oder durch biologische Vorgänge oder chemische Reaktionen innerhalb der umschlossenen Räume entstehen, gerechnet werden [82]:

- Gase oder Dämpfe, durch die Brände oder Explosionen entstehen können,
- Sauerstoffmangel, der zum Erstickten führen kann,
- sehr giftige, giftige oder mindergiftige (gesundheitsschädliche) Stoffe, die berührt, durch die Haut und den Mund aufgenommen oder eingeatmet werden können,
- Einsetzen stärkerer Wasserführung, z.B. infolge starken Regens,
- Bakterien oder Lebewesen und deren Stoffwechselprodukte sowie Verschmutzungen, die zu Infektionen führen können sowie
- Absturzgefahren durch z.B. offene Schächte oder fehlende Steigeisen usw.

Bei Arbeiten an und in Kanälen können Gefahren auftreten, die sich durch technische oder organisatorische Maßnahmen nicht verhindern lassen. Auf solche Situationen muss der Beschäftigte sowohl durch ausreichende Unterweisungen vor der Arbeit als auch durch die Verwendung persönlicher Schutzausrüstung während der Durchführung der Arbeiten vorbereitet sein. Bei einem Notfall müssen die Beschäftigten in der Lage sein, Rettungsmaßnahmen einzuleiten bzw. Erste Hilfe zu leisten (vgl. [83]).

Die nachfolgend in den Punkten a) bis l) zusammengestellten Sicherheitshinweise sind größtenteils auch in der im Januar 2006 neu erschienenen BGR 236 (vorherige ZH 1/559) „Rohrleitungsbauarbeiten“ [82] zentral zusammengeführt worden. Neben dieser Veröffentlichung sind u.a. auch die „Sicherheitsregeln für Arbeiten in umschlossenen

Räumen von abwassertechnischen Anlagen“ [83], die Unfallverhütungsvorschriften „Grundsätze der Prävention“ [84], „Bauarbeiten“ [85] und „Abwassertechnische Anlagen“ [36] sowie bei Einsatz von provisorischen Rohrabsperrgeräten (vgl. Kapitel 2.3.1) unbedingt auch die „Sicherheitshinweise für die Arbeit mit provisorischen Rohrabsperrgeräten“ [66] zu beachten.

a) Arbeitsanweisung und Unterweisung der Mitarbeiter

Vor Beginn der Arbeiten hat der Unternehmer in schriftlichen, allgemein verständlichen Arbeitsanweisungen Maßnahmen festzulegen, die ein sicheres Arbeiten gewährleisten. Die Mitarbeiter sind auf alle eventuell auftretenden Gefahren hinzuweisen und vorzubereiten (vgl. [83]).

b) Bestellung eines Aufsichtsführenden

Ein zuverlässiger, mit den Gefahren und den Schutzmaßnahmen vertrauter Beschäftigter muss vom Unternehmer als Aufsichtsführender bestimmt werden (vgl. [82]). Er hat dafür zu sorgen, dass

- mit den Arbeiten erst begonnen wird, wenn die in der Arbeitsanweisung festgelegten Schutzmaßnahmen getroffen sind,
- die festgelegten Schutzmaßnahmen während der Arbeit eingehalten werden,
- die Beschäftigten während der Arbeit die zur Verfügung gestellten persönlichen Schutzausrüstungen benutzen,
- die Beschäftigten im Gefahrfall die umschlossenen Räume von abwassertechnischen Anlagen unverzüglich verlassen oder gerettet werden können,
- ständig ein Fluchtweg freigehalten wird,
- Unbefugte von der Arbeitsstelle ferngehalten werden.

c) Hygienemaßnahmen

Zur Reinigung und Pflege der Hände und des Gesichtes müssen in der Nähe des Arbeitsplatzes bzw. in oder an Kraftfahrzeugen oder Gerätewagen geeignete Waschgelegenheiten mit fließendem heißem Wasser und die hygienisch erforderlichen Reinigungs-, Desinfektions- und Pflegemittel mitgeführt und benutzt werden. Verschmutzte Arbeits- und Schutzkleidung ist gesondert von der Straßenbekleidung aufzubewahren und vom Unternehmer reinigen zu lassen (vgl. [82]).

d) Persönliche Schutzausrüstung

Den Beschäftigten sind folgende persönliche Schutzausrüstungen zur Verfügung zu stellen und von diesem zu benutzen:

- Kopfschutz bei Gefahr von Kopfverletzungen durch Anstoßen oder herabfallende Gegenstände entsprechend „Schutzhelm - Merkblatt“ [86],
- Fußschutz bei Gefahr durch umfallende oder herabfallende Gegenstände, durch spitze, scharfe Gegenstände mit durchtrittsicherer Sohle entsprechend „Schutzschuh - Merkblatt“ [87],

- Handschutz bei Gefahr durch spitze oder scharfe Gegenstände entsprechend „Schutzhandschuh - Merkblatt“ [88],
- Sicherheits- und Rettungsgeschirre Form A nach [89] und DIN EN 361 [90], wenn in umschlossene Räume von abwassertechnischen Anlagen eingestiegen werden muss. Sicherheits- und Rettungsgeschirre bestehen aus einem Rettungsgurt oder geprüfter Rettungshose mit Verbindungsmitteln, z.B. Sicherheitsseil und dämpfender Verbindungsmittel (Falldämpfer, Höhensicherungsgerät). Diese werden in der Regel in Kombination mit Abseil- und Rettungshubgeräten oder Winden mit Anschlageneinrichtungen verwendet (vgl. [89], [90], [91], [92]).
- Explosionsgeschützte Handlampen,
- unabhängig von der Umgebungsatmosphäre wirkende Atemschutzgeräte für die Selbstrettung [66],
- Atemschutz bei Gefahren durch gesundheitsgefährdende Gase, Dämpfe oder Stäube entsprechend „Atemschutz - Merkblatt“ (vgl. [93]).

Ohne Atemschutz darf nur gearbeitet werden, wenn durch Messungen sichergestellt ist, dass keine gefährlichen Gaskonzentrationen vorliegen. Die Messungen müssen den gesamten Arbeitsbereich erfassen. Wenn die Einsatzbedingungen nicht genau bekannt sind, z.B. im Rahmen von Rettungsarbeiten, sowie bei Arbeiten in Behältern und engen Räumen, müssen umgebungsluftunabhängige Atemschutzgeräte verwendet werden.

e) Schutzmaßnahmen gegen Gefahren bei starker Wasserführung

Vor Beginn der Arbeiten sind Schutzmaßnahmen zu treffen, die Gefährdungen durch die Wasserzuführung vermeiden, z.B. nach [82] durch

- Sperrung bzw. Umleitung der Abwasserzuflüsse,
- Benachrichtigung der Einleiter in den Streckenabschnitt, in und an dem die Arbeiten ausgeführt werden,
- Beachtung der Wetterlage,
- Abschalten von Pumpen, die Wasser in gefährlichen Mengen in den Streckenabschnitt fördern, sowie Sichern gegen unbefugtes Wiedereinschalten bzw. Sicherstellen des Wiedereinschaltens erst nach gegenseitiger Absprache.

f) Ermittlung von Gefahren durch Stoffe

Vor Beginn der Arbeiten muss vom Aufsichtsführenden festgestellt werden, ob Gefahren durch Stoffe an den zu betretenden Arbeitsstellen vorhanden sind. Messungen sind vor dem Einsteigen grundsätzlich von einem ungefährdeten Standpunkt über Tage aus, z.B. mit Hilfe von Verlängerungsleitungen oder durch Ablassen des Gerätes, durchzuführen. Über die durchgeführten Messungen und die Messwerte ist ein schriftlicher Nachweis zu führen [82]. Im vorliegenden Fall muss mit dem Auftreten der im Kanalbereich üblichen Schadgase gerechnet werden:

- Schwefelwasserstoff (H_2S): Es handelt sich um ein sehr gefährliches Atemgift, das extreme Reizungen der Augen und Atemwege bis zum Lungenödem hervorrufen kann.

H₂S ist farblos bei einem Geruch nach faulen Eiern. Bei hohen Konzentrationen werden Geruchsnerve gelähmt, so dass das Gas dann olfaktorisch nicht wahrgenommen werden kann. Schwefelwasserstoff ist explosionsgefährlich.

- Kohlendioxid (CO₂): Es handelt sich um ein farbloses, nicht brennbares Gas mit leicht säuerlichem Geruch. Je nach eingeatmeter Konzentration wirkt CO₂ erregend, betäubend oder erstickend.
- Methan (CH₄): Methan ist farb- und geruchlos. Methan ist leichter als Luft, brennbar und bewirkt bei hoher Konzentration Atemstillstand durch Sauerstoffmangel. Methan-Luftgemische sind innerhalb bestimmter Grenzwerte explosionsfähig.
- andere toxische Stoffe.

Neben den o.a. Gasen muss zudem immer mit Sauerstoffmangel gerechnet werden. Während der Arbeiten ist ständig ein in Betrieb befindliches Gasmessgerät mitzuführen.

g) Belüftung

Vor Aufnahme und während der Arbeiten muss sichergestellt sein, dass im Kanal keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre besteht. Im Bedarfsfall ist eine ausreichende technische Belüftung zu installieren. Eine Belüftungsmöglichkeit ist durch den Auftraggeber sicherzustellen (vgl. [82]). Eine ausreichende Lüftung liegt im vorliegenden Fall dann vor, wenn vorhandene Gase oder Dämpfe in der Umgebungsluft so verdünnt werden, dass

- der Sauerstoffgehalt mehr als 17 Vol.-% beträgt,
- die Konzentration brennbarer Gase oder Dämpfe unter 10% UEG (untere Explosionsgrenze) liegen und
- die gesundheitsschädliche Konzentration giftiger Gase oder Dämpfe vermieden wird.

h) Seilsicherung

Jeder Einsteigende muss einen Auffanggurt bzw. eine Rettungshose tragen. Der zuerst Einsteigende ist mit einem Sicherheitsseil zu sichern, um eine schnelle und sichere Rettung jederzeit zu ermöglichen (vgl. [82]).

i) Abseil- und Rettungshubgeräte

Abseil- und Rettungshubgeräte müssen an Anschlagpunkten senkrecht oberhalb der Einstiegstelle befestigt werden. Der Anschlagpunkt muss einer senkrecht wirkenden Stoßkraft von 7500 N standhalten. Im vorliegenden Fall wird ein Dreibaum als Anschlagpunkt aufgestellt (vgl. [89], [90], [91], [92]).

4.2 Provisorische Rohrabsperngeräte

Bei provisorischen Rohrabsperngeräten handelt es sich nach der berufsgenossenschaftliche Information BGI 802 „Sicherheitshinweise für die Arbeit mit provisorischen Rohrabsperngeräten“ (vgl. [66]) um Geräte, mit denen Rohrleitungen provisorisch verschlossen werden können, um beispielsweise das Fördermedium vorübergehend zurückzuhalten oder eine Druckprüfung durchzuführen. Demnach werden in Abhängigkeit ihrer Konstruktion folgende **Gerätetypen** unterschieden:

- **Mechanische Rohrabsperngeräte** bestehen aus mindestens zwei Druckscheiben mit oder ohne Durchleitmöglichkeit für Wasser oder Luft, zwischen denen sich jeweils ein Dichtkörper befindet. Durch mechanisches Aneinanderdrücken der Scheiben werden die Dichtkörper gegen die Rohrwand gepresst.
- **Pneumatische Rohrabsperngeräte** sind scheibenförmige Körper mit oder ohne Durchleitmöglichkeit für Wasser oder Luft. Auf der Scheibe, die dem Rohrprofil angepasst ist, befindet sich ein mit Luft füllbarer Dichtkörper.
- **Hydraulische Rohrabsperngeräte** sind scheibenförmige Körper mit oder ohne Durchleitmöglichkeit für Wasser oder Luft. Auf der Scheibe, die dem Rohrprofil angepasst ist, befindet sich ein mit Flüssigkeit füllbarer Dichtkörper.
- **Rohrabsperriblenden** sind mit Flüssigkeit oder Luft füllbare Rohrabsperngeräte aus dehnbarem Material mit oder ohne Durchleitmöglichkeit für Wasser oder Luft.
- **Rohrabsperrikissen** sind mit Flüssigkeit oder Luft füllbare Rohrabsperngeräte aus nicht dehnbarem Material mit oder ohne Durchleitmöglichkeit für Wasser oder Luft.

Mit Blick auf ihre Anwendung in der Abwassertechnik werden diese Elemente lediglich im Bedarfsfall in einen Kanal oder eine Leitung eingesetzt. Ihr Vorteil gegenüber dauerhaft installierten Bauteilen, wie z.B. Schiebern oder Absperrklappen, liegt in der Flexibilität hinsichtlich der Auswahl des Einsatzortes. Auf der anderen Seite ist die Anwendung von provisorischen Absperrgeräten mit Gefahren für das vor Ort tätige Personal verbunden (vgl. Kapitel 4.2.1). Vor diesem Hintergrund wurde mit Blick auf die Inspektion des Paderborner Haupt-Schmutzwassersammlers untersucht, inwieweit unter Berücksichtigung der gegebenen Randbedingungen und arbeitssicherheitstechnischer Fragestellungen der Einsatz von provisorischen Absperrgeräten möglich ist (vgl. Kapitel 4.2.2).

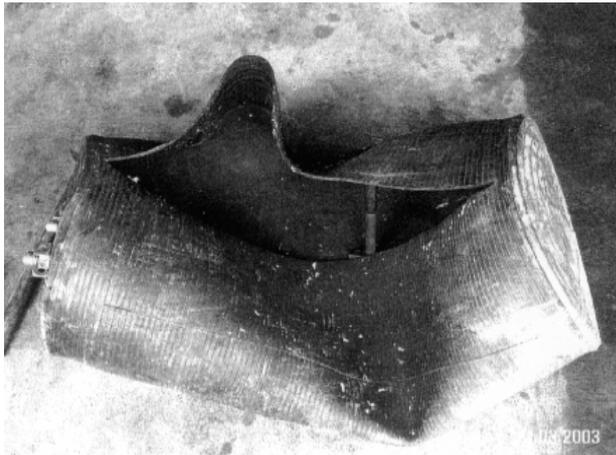
4.2.1 Gefahren und Arbeitsunfälle

Bei Arbeiten in abwassertechnischen Anlagen ist das vor Ort tätige Personal u.a. durch Gase, Sauerstoffmangel und Absturz gefährdet (vgl. Kapitel 4.1). Durch den Einsatz von provisorischen Rohrabsperngeräten ergeben sich zusätzliche Gefahren. Diese können beispielsweise hervorgerufen werden durch unsachgemäßes Vorgehen beim Einbau bzw. Ausbau der Geräte. Zu nennen ist hier der Ausschub oder das unkontrollierte Verschieben infolge unzureichendem oder fehlendem Verbau. Darüber hinaus kann auch (plötzliches) Bauteilversagen (z.B. Platzen von Dichtblasen) infolge Vorschädigung des Rohrabsperngerätes, Mängeln an der Rohrleitung in Form von Instabilität oder scharfen Kanten sowie Ablagerungen in der Rohrleitung auftreten. Als Folge derartiger Vorgänge können im Kanal Flutwellen entstehen, Luftdruckwellen auftreten oder Trümmer umherfliegen. Daraus ergibt sich neben der Gefahr von körperlichen Verletzungen (z.B. Prellungen, Knochenbrüchen, Schädigung der Lunge) auch die des Ertrinkens. Vor diesem Hintergrund werden in der **BGI 802** [66] u.a. folgende **Hinweise** zum sicheren Arbeiten mit provisorischen Absperrgeräten gegeben:

- Vor dem Einbau von Rohrabsperrrgeräten müssen die **Rohrleitungen** im unmittelbaren Einsatzbereich **auf augenfällige Mängel untersucht** werden. Die Rohrleitungen und Schachteinbauten müssen im Bereich der Absperrung ausreichend stabil, ebenflächig und sauber sein.
- Die Rohrabsperrrgeräte müssen durch eine geeignete **formschlüssige Sicherung** gegen unkontrolliertes Verschieben oder Ausschub infolge Leitungsüberdruck gesichert werden. Auf diese Sicherung darf nur verzichtet werden, wenn bei Versagen des Rohrabsperrrgerätes keine Gefährdung für Versicherte entstehen kann.
- Kann bei Arbeiten in oder unterhalb von Rohrabsperrrgeräten die **Gefahr des Ertrinkens** bestehen, muss **zusätzlich ein zweites Rohrabsperrrgerät** eingesetzt werden.
- Die Versicherten dürfen mit dem **Ausbau** von Ausschubsicherung und Rohrabsperrrgerät erst beginnen, wenn der **Leitungsdruck vollkommen abgebaut** und die aufgestaute Flüssigkeit abgelassen ist.
- Versicherte dürfen pneumatische Rohrabsperrrgeräte, -blasen, und -kissen im Rohr zunächst nur so weit mit Luft füllen, dass diese vollflächig an der Rohrwandung anliegen und festsitzen. **Beim Aufbringen des vollen Geräteinnendruckes dürfen sich keine Versicherten im Gefahrenbereich aufhalten.**

Dennoch geschehen nach Auskunft von Kanalnetzbetreibern insbesondere bei der Verwendung von Absperrblasen nicht selten Unfälle. Diesen Angaben zufolge blieben dabei in der Vergangenheit in den meisten Fällen die vor Ort anwesenden Personen unversehrt, da sich niemand im Gefahrenbereich aufhielt. Jedoch wurden durch eine im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie durchgeführte Recherche insgesamt **6 Unfälle erfasst** (vgl. [94] und [95]), bei denen Arbeiter im Zusammenhang mit dem Einsatz von Dichtblasen in Kanälen unterschiedlicher Nennweite (DN 200 bis DN 2000) verletzt wurden. Dabei kam es in fünf Fällen nicht nur zu **Infektionen**, sondern auch zu **leichten** (Schnitt- und Fleischwunden, Nasenbeinbruch, Ausrenkung eines Fingers) **bis schweren Verletzungen** (neben Quetschungen auch Lendenwirbelfraktur und andere Knochenbrüche). **Ein Unfall endete tödlich.**

In diesen Beispielen wurden die Dichtblasen verwendet, um entweder Dichtheitsprüfungen durchzuführen oder den jeweiligen Kanal für die Umsetzung manuell auszuführender Maßnahmen (z.B. Stemm- oder Sanierungsarbeiten) abwasserfrei zu halten. Die **Verletzungen** wurden zum einen **hervorgerufen durch den Aufprall** umherfliegender **Trümmerteile geplatzter Dichtblasen** (vgl. Abb. 23) und unzureichend befestigter **Elemente zur Ausschubsicherung**. Zum anderen wurden die Verunfallten durch **intakte Dichtblasen** getroffen, die beim Aufbringen des Betriebsdruckes einen Rohrbruch verursacht hatten oder aufgrund fehlender oder unzureichender Verschiebungssicherung durch das aufgestaute Abwasser bzw. das unter Druck stehende Prüfmedium (Wasser, Luft) schlagartig aus dem Kanal gedrückt worden waren. Darüber hinaus verursachten auch die durch das Versagen der Absperrung ausgelösten **Flutwellen** Verletzungen.



a) Absperrblase (für DN 800)

b) Absperrblase (für DN 900)

Abb. 23: Rohrabsperrelemente mit gerissener Außenhülle (vgl. [94])

4.2.2 Anwendungsfall: Paderborner Haupt-Schmutzwassersammler

In Kapitel 4.2.1 wurden Gefährdungspotentiale bei der Verwendung von provisorischen Rohrabsperrrgeräten vorgestellt und darüber hinaus Risiken im Zusammenhang mit dem Einsatz von Dichtblasen anhand von Unfallbeispielen beschrieben. Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes eine Machbarkeitsstudie zum Einbau von temporären Absperrelementen in den Paderborner Haupt-Schmutzwassersammler unter Berücksichtigung der gegebenen baulichen und betrieblichen Randbedingungen durchgeführt (vgl. [96]). Nachfolgend werden die Auswahl eines geeigneten Absperrrgerätetyps und ein angepasster Konstruktionsentwurf ausführlich vorgestellt sowie die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie zusammengefasst.

a) Auswahl eines geeigneten Absperrelementes

Grundsätzlich können im vorliegenden Anwendungsfall sowohl pneumatische Absperrscheiben als auch Absperrblasen eingesetzt werden. Mechanische Absperrscheiben sind ungeeignet, da diese nur für kleinere Nennweiten bis DN 600 gefertigt werden (vgl. Kapitel 2.3.1). Pneumatische Absperrkissen können nicht zur Anwendung kommen, weil sie nicht verbaubar sind. Die Vor- und Nachteile der beiden grundsätzlich in Frage kommenden Absperrsysteme sind in Tab. 4 gegenübergestellt.

Tab. 4: Vor- und Nachteile pneumatischer Absperrblasen und Absperrscheiben

| Absperrblasen | Absperrscheiben |
|---|--|
| Vorteile | |
| <ul style="list-style-type: none"> • höhere Wirtschaftlichkeit | <ul style="list-style-type: none"> • höhere Sicherheit, da vollständig und einfach verbaubar |
| <ul style="list-style-type: none"> • geringes Eigengewicht | <ul style="list-style-type: none"> • höhere Sicherheit, da Wandstärke variabel ist |
| <ul style="list-style-type: none"> • einfacher Transport und Handling | <ul style="list-style-type: none"> • höhere Sicherheit, da beim Platzen der Pneus nur ein kleiner Spalt frei wird |
| <ul style="list-style-type: none"> • mehrdimensional, d.h. mit ihrer Hilfe können Rohre mehrerer Nennweiten verschlossen werden | <ul style="list-style-type: none"> • Anpressdruck bis 8 bar, gute Abdichtung auch bei Beton |
| <ul style="list-style-type: none"> • schneller Einbau | <ul style="list-style-type: none"> • beliebige Durchgänge, Profile und Anbauten |
| <ul style="list-style-type: none"> • große Auflagerfläche | <ul style="list-style-type: none"> • geringe Auflagerfläche |
| | <ul style="list-style-type: none"> • beliebig viele Abdichtpneus, beim Versagen eines Pneus tragen die anderen |
| Nachteile | |
| <ul style="list-style-type: none"> • hohe Unfallrisiken: beim Versagen des Gummis ist immer ein Totalverlust vorhanden, d.h. der Querschnitt wird vollständig frei | <ul style="list-style-type: none"> • schwer und unhandlich |
| <ul style="list-style-type: none"> • Mängel am Abdichtgummi im Regelfall nur schwer zu erkennen | <ul style="list-style-type: none"> • Montage geteilter Scheiben sehr zeitaufwändig |
| <ul style="list-style-type: none"> • höherer Einbauplatzbedarf | <ul style="list-style-type: none"> • eindimensional, d.h. sie können nur für Rohre einer bestimmten Nennweite eingesetzt werden |
| <ul style="list-style-type: none"> • Blasen sind irreparabel, daher langfristig unwirtschaftlicher | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Verbau der Blasen ist – je nach Hüllengröße – unmöglich oder nur mit enormen Aufwand zu realisieren | |

Vergleicht man die o.a. Vor- und Nachteile, so zeigt sich, dass Absperrblasen gegenüber den Absperrscheiben zunächst eine Reihe von deutlichen Vorteilen aufweisen. Sie sind preiswerter, handlicher und deutlich schneller im Einbau.

Als problematisch sind hier jedoch die Sicherheitsaspekte bei laufenden Arbeiten im Kanalquerschnitt zu werten. Absperrblasen können nur schwer (bei Blasen mit Kern, s. Abb. 24 a) oder gar nicht (bei Blasen ohne Kern, s. Abb. 24 b) formschlüssig verbaut werden. Ein formschlüssiger Verbau ist jedoch Voraussetzung beim Einsatz von provisorischen Absperr-elementen (vgl. Kapitel 4.2.1). Je größer die Absperrblasen dimensioniert sind, desto geringer wird der zulässige Betriebsdruck. Im vorliegenden Fall beträgt dieser bei einer Nennweite von DN 1600 nur noch 1,5 bar, wobei allein ca. 1,0 bar Innendruck benötigt wird,

um die Blase vollständig an die Rohrwand anzulegen. Als Reserve verbleibt demnach nur ein Druck von 0,5 bar, der die Blase gegen den anstehenden Wasserdruck halten muss. Nach den einschlägigen Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften sind Arbeiten im unmittelbaren Gefahrenbereich von Absperrblasen untersagt. Der Gefahrenbereich wird jedoch nicht exakt definiert. Nach allgemeiner Auffassung umfasst dieser zunächst den unmittelbaren Bereich am Einbauort, durch den Arbeiter durch das Freisetzen der in den Blasen gespeicherten Spannungsenergien gefährdet werden. Dieser Bereich umfasst mindestens 5 Meter. Beim Aufstauen von Abwasser sind jedoch auch alle in Fließrichtung angeschlossenen Haltungen als Gefahrenbereich zu betrachten. Daher sind Arbeiten in diesen Haltungen unzulässig. Bei einem plötzlichen Versagen der Blase, d.h. einem schlagartigen Platzen, wird das gesamte aufgestaute Abwasser unmittelbar in den Sammler abgelassen. Dadurch besteht für das in Fließrichtung eingesetzte Personal akute Lebensgefahr. Demzufolge ist der Einsatz von Absperrblasen im vorliegenden Anwendungsfall aus sicherheitstechnischer Sicht auszuschließen.



a) mit Kern



b) ohne Kern

Abb. 24: Absperrblasen, Fotos: [97]

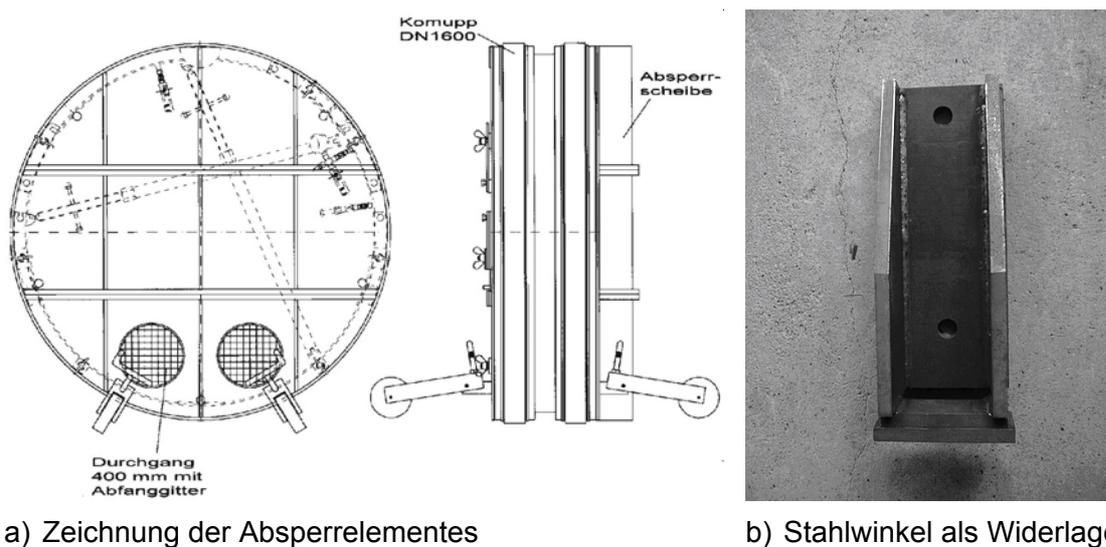
Absperrscheiben sind deutlich unhandlicher als Absperrblasen. Daher kann der Aufbau einer Scheibe mehrere Stunden dauern. Aus sicherheitstechnischer Sicht ist dieser Gerätetyp jedoch **vorzuziehen**, da er **verbaubar** ist und bei einem Versagen, d.h. Platzen des Dichtprofils, das aufgestaute Abwasser nur zeitverzögert in den Sammler abgegeben wird, da zwischen dem Scheibenkörper und der Rohrwandung nur ein schmaler Spalt freigegeben wird. Ein weiterer Vorteil kann darin gesehen werden, dass eine Absperrscheibe, wenn diese mit einem entsprechend dimensionierten und verschließbaren Durchlass versehen wird, auch über mehrere Tage im Kanal verbleiben kann.

b) Konstruktionsentwurf einer Absperrscheibe

Nachfolgend wird der Konstruktionsentwurf einer **Absperrscheibe** vorgestellt (vgl. Abb. 25 a), der auf dem in Abb. 6 b (s. Kapitel 2.3.1) gezeigten Absperrlement der städtler + beck GmbH (Speyer) basiert. Sie **besteht** im Wesentlichen **aus** einem außen liegenden **Stahlrahmen** und einer innen liegenden **Stahlscheibe**. Der Stahlrahmen ist aus mehreren, gelenkig miteinander verbundenen Einzelementen zusammengesetzt und wird mit zwei umlaufenden durchgehenden **Gummihohlkammerprofilen** (pneumatische Abdichtpneus) gegen die Rohrwandung abgedichtet. Dieses Dichtungssystem ist redundant ausgelegt,

damit bei einem Versagen eines Profils, die Abdichtung durch das andere Profil gewährleistet wird. Die Stahlscheibe besteht aus Einzelementen, die sowohl untereinander als auch gegen den Stahlrahmen verschraubt werden. Zur Abdichtung der Fugen zwischen diesen Bauteilen werden Gummidichtungen verwendet. Damit im Bedarfsfall die Abwasservorflut aufrecht erhalten werden kann, ist die Absperrscheibe mit 2 **Durchlässen** (\varnothing 400 mm) ausgestattet, die mit Hilfe von **pneumatisch betriebenen Stoffschiebern** verschlossen werden können. Zur Durchmesser-Ermittlung dieser kreisförmigen Öffnungen wurden im Rahmen der Erarbeitung des vorliegenden Konstruktionsentwurfes Annahmen bzgl. verschiedener Strömungswiderstände (u.a. Einlauf- und Auslaufwiderstand der Öffnungen) getroffen. Es handelt sich daher um eine erste Abschätzung. Die Absperrscheibe ist an der Rohrwandung zu verankern. Als Widerlager dienen geschweißte Stahlwinkel, die mit Hilfe von Schwerlastankern in der Rohrwandung befestigt werden (vgl. Abb. 25 b).

Bedingt durch die massive Stahlkonstruktion der Absperrscheibe wird das Gesamtgewicht im vorliegenden Anwendungsfall ca. 350 kg betragen. Die Scheibe muss daher in Einzelteilen in das Rohr eingebracht und dort montiert werden. Das Gewicht der einzelnen Elemente, die im Rohr von Hand zu bewegen sind, sollte max. 50 kg betragen. Darüber hinausgehend sind Roll- und Hebehilfen zu vorzusehen.



a) Zeichnung der Absperr-elementes

b) Stahlwinkel als Widerlager

Abb. 25: Konstruktionsentwurf einer Absperrscheibe für Rohre DN 1600

Die Stoffschieber und der Anpressdruck der Abdichtpneus sind von der Geländeoberfläche aus zu steuern und zu überwachen. Jeder Abdichtpneu ist einzeln anzusteuern und der Anpressdruck über ein redundant ausgebildetes Druckwächtersystem sicherzustellen. Bei Ausfall eines Teils des Druckwächtersystems ist automatisch ein Alarm vorzusehen. Die Befüll- und Überwachungseinrichtung der Absperrpneus ist in einem verschließbaren Schrank anzubringen, wobei die Manometer zur Druckkontrolle von außen abzulesen sein müssen.

c) Ergebnis der Machbarkeitsstudie

Zur Absperrung des Paderborner Untersuchungsobjektes erscheint unter Berücksichtigung der gegebenen Randbedingungen und arbeitssicherheitstechnischer Fragestellungen der Einsatz einer speziellen Absperrscheibe als provisorisches Absperrerelement möglich. Es wurde ein entsprechender Konstruktionsentwurf für Rohre der Nennweite DN 1600 entwickelt. Die Absperrscheibe könnte über mehrere Tage, sicher verbaut im Kanal verbleiben, da sie mit 2 Durchlässen (inkl. Schiebern) ausgestattet ist, deren Größe mit Blick auf die Aufrechterhaltung der Abwasservorflut dimensioniert wurde. Auf diese Weise wäre es möglich, bei mehrtägigen Inspektionseinsätzen die Anzahl der Ein- und Ausbau-Maßnahmen zu minimieren.

Die erforderliche Zeit, um die Scheibe inklusive der Stoffschieber in den Kanal einzubauen, wird vom Konstrukteur auf ca. 4 Stunden geschätzt. In diesem Zeitraum sollte der Einbauort aus Gründen der Arbeitserleichterung möglichst wenig Abwasser führen. Da der Zulauf „Im Quinhagen“ (vgl. Kapitel 5.2.3, Abb. 43) ständig hohe Mengen gewerblicher und industrieller Abwasser liefert, ist zu klären, inwieweit insbesondere dieser Kanal temporär abgesperrt werden kann.

Für den Einbau des Absperrerelementes ist ein Ort zu wählen, der ausreichende Platzverhältnisse bietet. Dies gilt sowohl für die Umgebung des Schachtes als auch für das Schachtbauwerk. Als Einbauhilfe ist ein Flaschenzug oder ein vergleichbares Hebegerät vorzuhalten, damit die Einzelteile der Absperrscheibe in den Schacht eingebracht werden können. Das Abheben des Schachtkonusses ist nicht unbedingt erforderlich, kann aber den Einbauvorgang deutlich verkürzen.

Beim Ein- und Ausbau des Absperrerelementes in den Haupt-Schmutzwassersammler muss auch bei Absperrung des o.g. Zulaufes und der Aktivierung von Speicherbecken weiterhin mit Abwasserzufluss gerechnet werden. Darüber hinaus ist die Oberfläche der Kanalwandung aufgrund der BKU-Innenauskleidung sehr glatt, so dass dadurch Rutsch- und Sturzgefahr besteht. Daher wird im Zusammenhang mit dem Einbau und Ausbau des Absperrerelementes ausdrücklich auf die Beachtung der berufsgenossenschaftlichen Unfallverhütungsvorschriften hingewiesen (vgl. auch Kapitel 4.1) und empfohlen, diese Tätigkeiten nur von entsprechend qualifiziertem und im Umgang mit der Technik routiniertem Personal durchführen zu lassen.

5 In-situ-Inspektionen in Paderborn

Im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie wurden beispielhaft verschiedene Techniken und Verfahren zur Inspektion eines teilgefüllten Kanals umgesetzt. Als Untersuchungsobjekt diente dabei ein Abschnitt eines Schmutzwassersammlers im Zuständigkeitsbereich des Projektpartners Stadtentwässerungsbetrieb (STEB) Paderborn, in dem über den gesamten Tagesverlauf hohe Abwassermengen zum Großklärwerk transportiert werden.

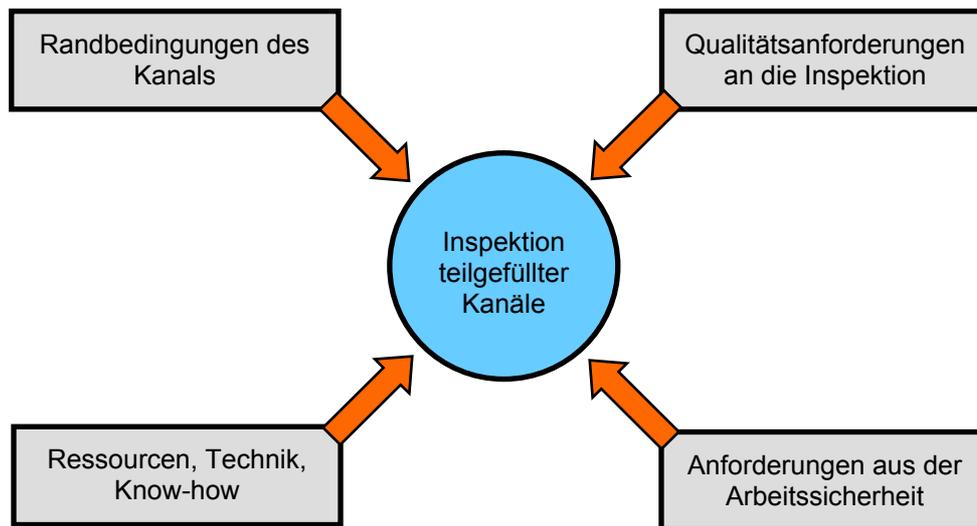


Abb. 26: *Inspektion teilgefüllter Kanäle: Anforderungen und Einflussgrößen*

Die wesentlichen, in den Phasen Planung und Umsetzung der Inspektion teilgefüllter Kanäle zu beachtenden, Aspekte sind die Randbedingungen des Kanals, die Technik, das Know-how und die Ressourcen sowie die Anforderungen aus der Arbeitssicherheit und der geforderten Qualität der Inspektion (vgl. Abb. 26).

Den Ausgangspunkt für die Entwicklung von Lösungsvarianten zur Inspektion des Untersuchungsobjektes bildeten zum einen Recherchen zum Stand der Technik (vgl. Kapitel 2). Zum anderen wurden Praxiserfahrungen erfasst und Versuche in IKT-Prüfstrecken durchgeführt (vgl. Kapitel 3) sowie die wesentlichen Anforderungen aus der Arbeitssicherheit (vgl. Kapitel 4) ermittelt.

Nach diesen Vorbereitungen wurden mit Blick auf die Auswahl von Inspektionsverfahren für den gegebenen Anwendungsfall detaillierte Angaben über den zu inspizierenden Sammler erhoben. Kapitel 5.1 beinhaltet wesentliche Informationen zu Größe und Aufbau des Paderborner Entwässerungssystems. In Kapitel 5.2 werden die Arbeitsschritte zur Ist-Aufnahme der örtlichen – z.B. baulichen und betrieblichen – Randbedingungen des Untersuchungsobjektes beschrieben und die dabei erfassten Informationen zusammengefasst. Auf dieser Basis wurden zunächst verschiedene Lösungsansätze und -varianten entwickelt und anschließend diejenigen Verfahren ausgewählt, die unter den gegebenen Randbedingungen für den Vor-Ort-Einsatz geeignet erschienen (vgl. Kapitel 5.3). Die Praxiseinsätze und die dabei gewonnenen Erkenntnisse werden in Kapitel 5.4 erläutert.

5.1 Einführung

Die Stadt Paderborn liegt im Osten des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen im Regierungsbezirk Detmold (vgl. Abb. 27) und hat ca. **142.000 Einwohner** (Stand: 31. Dezember 2006). Davon wohnen 55,5 % in der Kernstadt, 17,0 % im Stadtteil Schloß Neuhaus und 11,2 % in Paderborn-Elsen. Die restlichen 16,3 % der Gesamteinwohnerzahl verteilen sich auf die Stadtteile Benhausen, Dahl, Marienloh, Neuenbeken, Sande, Sennelager und Wewer (vgl. [98]).

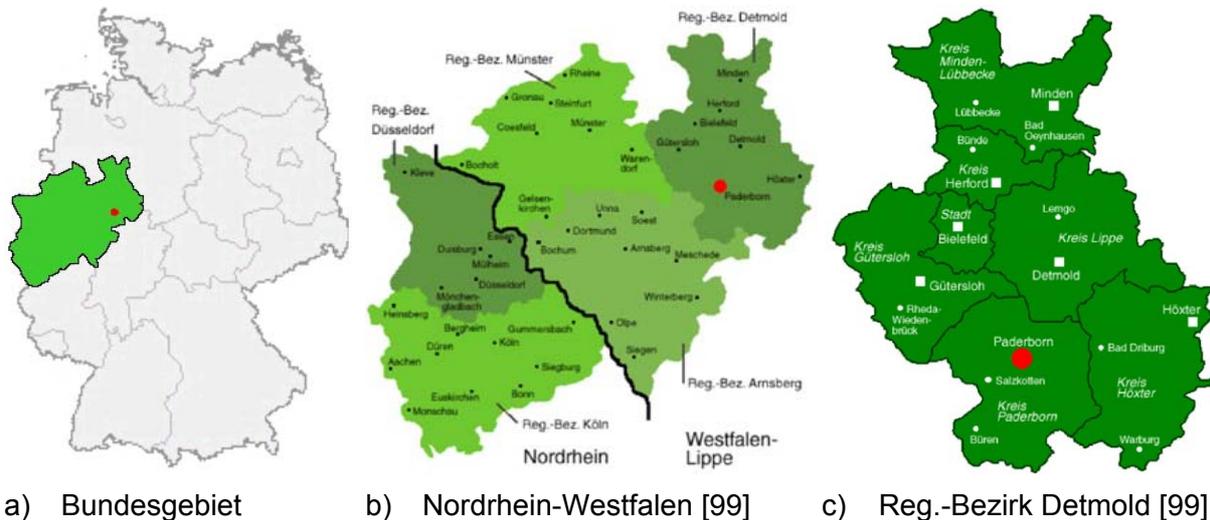


Abb. 27: Lage der Stadt Paderborn

Zuständig für die Entwässerung des Paderborner Stadtgebietes ist der STEB Paderborn, bei dem ca. 80 Mitarbeiter beschäftigt sind. Zu seinem Verantwortungsbereich zählt zum einen das insgesamt ungefähr **960 km** lange **Kanalnetz**. Der Anteil des Trennsystems liegt bei 70 %, der des Mischsystems bei 30 %. Zum anderen betreibt der STEB Paderborn **56 Sonderbauwerke**, d.h.: 4 Regenüberläufe, 5 Regenüberlaufbecken, 6 Regenklärbecken, 13 Regenrückhaltebecken und 28 Pumpwerke.

Darüber hinaus ist der Kanalnetzbetreiber auch zuständig für den Betrieb von zwei **Kläranlagen**. Ein **Klärwerk** liegt im Stadtteil **Dahl** und ist auf **5.000 Einwohnerequivalente** (EWG) ausgelegt. Weitere Kläranlagen dieser Größenordnung bestehen nicht mehr. Sie wurden aufgegeben und mit Abwassersammlern an eine Großkläranlage angeschlossen. Dabei handelt es sich um das, nach seiner Lage im Stadtteil Sande benannte, **Gruppenklärwerk Sande (GKW)**. Es ist auf **540.000 EWG** ausgelegt. Damit übersteigt die Kapazität dieser Anlage die o.g. Gesamteinwohnerzahl von ca. 142.000 um ein Vielfaches. Grund hierfür sind **große Einleitungsmengen nicht-häuslicher Abwässer**. Die Produktpalette der Industrie und des verarbeitenden Gewerbes umfasst u.a. Fahrzeuge und Fahrzeugteile, Kunststoffherzeugnisse, Textilien, Druck-Erzeugnisse, Bier, Konfitüren, Fruchtsäfte, Fleisch und andere Nahrungsmittel (vgl. [98]). Einige dieser Betriebe arbeiten ständig oder saisonbedingt im 3-Schicht-Betrieb. Aus diesem Grund fallen **auch in den Nachtstunden** teilweise **hohe Abwassermengen** an.

Das Paderborner Stadtgebiet wird überwiegend im Trennsystem entwässert. Nur im historischen Kernstadtbereich und in Teilbereichen der Stadtteile Wewer und Benhausen ist ein Mischsystem vorhanden. Diese Mischsysteme werden durch Regenüberläufe und Regenüberlaufbecken entlastet. Das abgeschlagene Abwasser des Mischsystems der Kernstadt gelangt in die **Regenwasserbehandlungsanlage „Hans-Humpert-Straße“ (RBA)**, die vor der Gemeindereform als Kläranlage der Kernstadt Paderborn genutzt wurde. Die RBA setzt sich aus drei Speicherbecken mit einem Gesamtvolumen von ca. 10.000 m³ zusammen.

Von der RBA zum GWK verläuft ein ca. 8 km langer, **einzülig gebauter Transportsammler**. Dass durch diesen Kanal nahezu die gesamte Menge des Paderborner Schmutzwassers transportiert wird, verdeutlicht der Kapazitätsvergleich (540.000 EWG >> 5.000 EWG, s.o.) der beiden durch den STEB Paderborn betriebenen Kläranlagen. Mit Blick auf seine betriebliche Bedeutung kann der **ständig teilgefüllte Sammler** als **Hauptschlagader des Paderborner Stadtentwässerungssystems** bezeichnet werden. Den Verlauf seiner Trasse zeigt die nachfolgende Karte (vgl. Abb. 28). **Der rot dargestellte, ca. 5,7 km lange Abschnitt diente als Untersuchungsobjekt der vorliegenden Pilotstudie.**



Abb. 28: Trassenverlauf des Schmutzwassersammlers im Gebiet der Stadt Paderborn (rot dargestellt das Untersuchungsobjekt der vorliegenden Studie)

5.2 Ist-Aufnahme des Untersuchungsobjektes

Von wesentlicher Bedeutung für die Planung und Umsetzung der Inspektion ist die Erfassung möglichst detaillierter Kenntnisse über das Untersuchungsobjekt. Dazu gehören sowohl Informationen hinsichtlich baulicher (z.B. DN, Material) und betrieblicher (z.B. Abwassermenge, Ablagerungen) Randbedingungen als auch Informationen in Bezug auf rechtliche Fragestellungen (z.B. Betretung von Privatgrund). Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass der Transportsammler Teil eines komplexen Entwässerungssystems ist, in dem zwischen dem Untersuchungsobjekt und den verschiedenen, vor- oder nachgeschalteten Betriebspunkten (z.B. Sonderbauwerke, Kläranlage) Wechselwirkungen bestehen. Diese Zusammenhänge sind zu erfassen, denn daraus können sich sowohl Nutzen als auch Einschränkungen oder sogar Risiken für die Kanalinspektion ergeben.

5.2.1 Vorgehensweise

Die Ist-Aufnahme erfolgte in mehreren Schritten. Zunächst wurden die zur Verfügung stehenden Bestandsunterlagen erfasst und gesichtet. Anschließend wurden Gespräche mit Mitarbeitern des STEB Paderborn geführt, um auf diese Weise Betriebsinformationen aus der Praxis zu erheben, die für die Planung und Umsetzung der Kanalinspektion von Bedeutung sein könnten. Der dritte Schritt beinhaltete eine Begehung der Kanaltrasse inkl. Inaugenscheinnahme der Schächte. Den Abschluss bildete die Vermessung und Zustandserfassung der Schächte.

a) Erfassung und Sichtung von Bestandsunterlagen

Im ersten Schritt stellte der Kanalnetzbetreiber die ihm vorliegenden **Bestandsunterlagen** zusammen und übergab diese anschließend dem IKT zur Sichtung und Auswertung. Im Einzelnen handelte es sich dabei um folgende Unterlagen:

- **Schacht- und Haltungsdaten** als tabellarische Zusammenstellung:
Angaben: u.a. Schachtnummer, Haltungslänge, DN, Profil, Material, Einzelrohrlänge, Gefälle, Baujahr, Art des Entwässerungssystems, Straßename, Beschreibung der Verkehrslage,
- **Lagepläne und Luftbilder** im Maßstab 1:1000 (Auszüge aus dem Kanalkataster):
Angaben: u.a. Verkehrswege/-flächen und andere Bebauungen, Straßennamen, Flurstücksgrenzen und -nummern, Schachtlage und -nummer, Verlauf der Kanaltrasse, Haltungslänge, DN, Material, Zuläufe,
- **Längsschnitt** im Längenmaßstab 1:2500 und Höhenmaßstab 1:100:
Angaben: Gelände- und Sohlhöhen, Stationen, Querungen von Verkehrswegen und Flüssen, Schachtnummern, Haltungslänge, DN, Gefälle, Zuläufe,
- **Liste der Grundeigentümer**, auf deren Flächen Schächte des Sammlers liegen:
Angaben: u.a. Name, Adresse, Flurstücksnummer, Betretungsrecht,
- Daten über **Kanalfüllstandshöhen** der Messstellen „Römerstraße“ und „Holthof“,
- Daten über **Einleitungsmengen** an wesentlichen Einleitungsstellen,
- Daten über Zulaufmengen am Gruppenklärwerk.

b) Praxiserfahrungen des Kanalnetzbetreibers

Im zweiten Schritt wurden mit Mitarbeitern des STEB Paderborn (u.a. aus den Bereichen Planung, Bau, Betrieb) **Interviews** geführt. Von besonderem Interesse waren in diesem Zusammenhang sowohl weitergehende, betriebliche Informationen über den zu inspizierenden Sammlerabschnitt als auch Angaben über Aufbau und Betrieb des Paderborner Entwässerungssystems sowie über Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Betriebspunkten. Im Rahmen der Gespräche wurden u.a. Informationen zu folgenden Themen erfasst:

- **Betriebszustand des Untersuchungsobjektes:**

Angaben: u.a. Ablagerungssituation, Reinigungsstrategie, Strömungsgeschwindigkeit, Lage von Zuläufen, Art der Einleiter,

- **Fremdwasserzulauf** in Abhängigkeit langfristiger Witterungssituationen,
- Lage und Funktionsweise der **Messstellen** „Römerstraße“ und „Holthof“,
- bestehende **Absperreinrichtungen** und **Rückstauvolumina (RBA)** im Paderborner Entwässerungssystem,
- **Wechselwirkungen** zwischen dem **Untersuchungsobjekt**, der **RBA** und der **Kläranlage**.

c) Begehung der Kanaltrasse

Der dritte Schritt bestand in einer gemeinsamen Begehung der Kanaltrasse durch Mitarbeiter des STEB Paderborn und des IKT. Im Rahmen der **Inaugenscheinnahme** wurden die **örtlichen Randbedingungen** mit den digital oder in Papierform vorliegenden Informationen abgeglichen sowie weitergehende Informationen über das Untersuchungsobjekt erfasst. **Von besonderem Interesse** waren dabei die **Schächte**, da sie den Zugang zum Kanal darstellen und damit von wesentlicher Bedeutung für die Planung und Umsetzung von Inspektionsmaßnahmen sind. Betrachtet wurde sowohl die **Anfahrbarkeit** (z.B. Straßen, Wege, Lage im Gelände) und **Zugänglichkeit** (z.B. verschraubte Deckel) der Schachtöffnungen als auch die **Konstruktion** (z.B. Anzahl und Anordnung der Bermen) und der **bauliche Zustand** (z.B. Einstiegshilfen) der Schachtbauwerke. Darüber hinaus wurden in den Schächten stichprobenartig **Gasmessungen** durchgeführt, um Erkenntnisse über den Gehalt gesundheitsschädlicher oder explosiver Substanzen in der Kanalluft zu gewinnen.

Im Rahmen der Ortsbegehung wurde u.a. festgestellt, dass ein Teil der **Einstiegshilfen** deutliche Anzeichen von **Korrosion** erkennen lässt und die Schachtbauwerke deutliche **Unterschiede** hinsichtlich der **Konstruktion** (z.B. Breite der Auftritte, Höhe des Arbeitsraumes) aufweisen (vgl. Abb. 29). Messungen der Kanal-Atmosphäre ergaben unerwartet **gesundheitsschädliche Gaskonzentrationen**. Auf eine detaillierte Untersuchung der Schächte durch Einstieg in die Bauwerke wurde verzichtet, da bei dieser Gelegenheit die erforderliche Schutzausrüstung kurzfristig nicht verfügbar war. Vor diesem Hintergrund und mit Blick auf die oben bereits erwähnte besondere Bedeutung der Schächte für die Kanalinspektion beschloss der STEB Paderborn, sowohl deren Maße als auch deren baulichen Zustand erfassen zu lassen. Mit der **Vermessung und Inspektion der Schächte** wurde ein Dienstleister beauftragt. Die vor Ort durchgeführten Arbeiten wurden durch das IKT begleitet und dokumentiert (siehe Kapitel 5.2.2).



a) Beispiel 1 (Schacht 7214 0028):
korrodierte Einstiegshilfen, Gerinne
kaum einsehbar, Arbeitshöhe: ca. 90 cm



b) Beispiel 2 (Schacht 7309 0012):
Einmündungsbereich eines Zulaufes,
starke Strömung

Abb. 29: Ansichten unterschiedlicher Schächte

5.2.2 Vermessung und Inspektion der Schächte

Die Vermessung und Inspektion der Schächte wurde durch das Unternehmen Bodemann aus Dornbirn (Österreich) durchgeführt. Zum Einsatz kam dabei das firmeneigene **System CUS** (Computerunterstützte Schachtinspektion). Nachfolgend werden zunächst der Aufbau und die Funktionsweise des Systems erläutert sowie die Inhalte der Untersuchungsergebnisse und die Form ihrer Darstellung. Im Anschluss daran wird über den Vor-Ort-Einsatz in Paderborn berichtet.

5.2.2.1 Das CUS-System

Das CUS-System (vgl. [16]) besteht aus einem **Inspektionsfahrzeug** und einem **Roboter**, der eine **Sensoreinheit** trägt (vgl. Abb. 30). Diese Komponente beinhaltet zwei Geräte. Dabei handelt es sich zum einen um ein **Lasermess-System zur Schachtvermessung** und zum anderen um eine hochauflösende **Digitalkamera** mit bis zu 20-fachem Zoom **zur Schachtinspektion**. Das System wird von einem Steuerpult im Inspektionsfahrzeug bedient. Dabei dient eine Kabelverbindung (je nach Fahrzeugausstattung 60 m bzw. 100 m lang) zum Roboter sowohl dessen Stromversorgung als auch der Übertragung der Steuersignale sowie der Mess- und Bilddaten.

Im Anwendungsfall wird der Roboter zunächst über dem geöffneten Schacht platziert. Anschließend wird die dreh- und schwenkbare Sensoreinheit, die an einem in vertikaler Richtung beweglichen Mast befestigt ist, in den Schacht abgesenkt. Im Verlauf der Bauwerksuntersuchung wird die Objekt-Geometrie erfasst und aus den gewonnenen Messdaten eine Schachtskizze generiert. Die dazu parallel durchgeführte Inspektion wird per digitaler **Videoaufzeichnung** dokumentiert. Darüber hinaus werden eventuelle Schäden auf **Digitalfotos** festgehalten. Neben diesen Bilddaten liefert das System im **Ergebnis** ein formalisiertes **Schachtprotokoll** sowie **CAD-Zeichnungen** (horizontaler und vertikaler Schnitt) des Untersuchungsobjektes.



a) Inspektionsfahrzeug



b) Roboter



c) Sensoreinheit

Abb. 30: Komponenten des CUS-Systems der Bodemann GmbH, Fotos: IKT

5.2.2.2 Vor-Ort-Einsatz

Mit Blick auf die Identifikation und Positionsbestimmung der Einsatzorte stellte der STEB Paderborn dem Inspekteur der Bodemann GmbH Auszüge aus dem Kanalkataster zur Verfügung. Dabei handelte es sich um Luftbilder, die u.a. Informationen über die Schächte (Lage, Nummer, Zuläufe) und den Schmutzwassersammler (Verlauf der Trasse, Haltungslänge, DN, Material) enthielten.

Die Bestandsunterlagen des STEB Paderborn weisen für das zu untersuchende, ca. 5,7 km lange Sammler-Teilstück (vgl. Abb. 28) **insgesamt 51 Schächte** aus. Im Rahmen des zweitägigen Vor-Ort-Einsatzes wurden **32 Schächte inspiziert und vermessen**. Insgesamt **19 Schächte** konnten nicht untersucht werden. In den folgenden beiden Abschnitten werden zunächst Praxiserfahrungen erläutert, die bei der Aufnahme einzelner Schächte im Zusammenhang mit den örtlichen Randbedingungen gesammelt wurden, und anschließend die Gründe für die Nicht-Erfassung von 19 Schächten beschrieben.

a) Praxiserfahrungen

Im Rahmen der in Paderborn durchgeführten Untersuchungen wurden 32 Schächte inspiziert und vermessen. Dabei zeigten sich im Vergleich der einzelnen Bauwerke zum Teil deutliche Unterschiede hinsichtlich des für die Aufnahme erforderlichen Zeitaufwandes. So betrug die Inspektionszeit inklusive Einrichtung und Abbau des Roboters im Minimum ca. 30 Minuten und im Maximum bis zu ca. 90 Minuten. Ein wesentlicher Einfluss der Bauwerksgröße auf den Zeitbedarf konnte mit Blick auf die hier betrachteten Anwendungsfälle des CUS-Systems nicht festgestellt werden. Von großer Bedeutung waren dagegen die örtlichen Randbedingungen des Schachtfeldes, wie z.B. Grad der Untergrundbefestigung, das Gefälle und die Nutzungsart des Geländes sowie der pflanzliche Bewuchs. Die kürzesten Einsatzzeiten wurden erwartungsgemäß bei den Schächten erzielt, deren Öffnung entweder innerhalb oder in unmittelbarer Nähe von höhenniveaugleichen Verkehrsflächen liegt. Unter diesen Voraussetzungen konnte die Position des Untersuchungsobjektes in kurzer Zeit bestimmt und direkt mit dem Inspektionsfahrzeug angefahren werden. Darüber hinaus erlaubten diese Randbedingungen auch einen zügigen Aufbau des Vermessungsroboters.

Derart günstige Verhältnisse boten jedoch nicht alle Schächte, da der zu inspizierende Sammler über weite Strecken nicht unter befestigten Verkehrsflächen verläuft, sondern unter

landwirtschaftlichen Nutzflächen. Für die Schachtaufnahme resultierten daraus Probleme, die ihrerseits zu Zeitverzögerungen führten. Entsprechende Praxisbeispiele werden nachfolgend vorgestellt:

- Im Bereich zwischen der Straße „Am Brockhof“ und dem GWK liegen mehrere Schächte (u.a. S 7209 0001, S 7213 0004, S 7213 0005) innerhalb oder am Rand von Ackerflächen (vgl. Abb. 31). Die Schachtöffnungen sind lediglich über Feldwege zu erreichen. Einige **Schachtdeckel** waren trotz der zur Verfügung stehenden Luftbilder **schwer zu finden**. Dies lag zum einen daran, dass ein Teil der Schächte durch die angebauten Pflanzen verdeckt wurde. Zum anderen bieten sich in diesem Gebiet nur wenige Landmarken als Orientierungshilfe an. Die Aufnahme der Schächte war nur möglich, da für die Durchführung der Untersuchung eine Trockenwetterperiode gewählt worden war, um auf diese Weise die Grundvoraussetzung für die Befahrbarkeit der Feldwege durch das Inspektionsfahrzeug zu schaffen.



a) Situation vor Ort, Foto: IKT

b) Lage lt. Bestandsplan des STEB Paderborn [100]

Abb. 31: Suche von in Ackerflächen liegenden Schachtöffnungen

- In der Nähe des Kreuzungsbereiches „Am Brockhof“/„Münsterstraße“ liegt ein weiterer **Schacht** (S 7214 0031) **innerhalb** einer **Ackerfläche**. Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Beispiel-Schächten führt der Feldweg hier nicht bis in die unmittelbare Nähe der Schachtöffnung, d.h. sie war mit dem Inspektionsfahrzeug nicht anfahrbar. Dennoch konnte der Schacht untersucht werden, da er innerhalb des – durch die 60 m lange Kabelverbindung vorgegebenen – Aktionsradius des Vermessungsroboters lag. Allerdings musste der Roboter sowohl beim Transport zum Einsatzort als auch auf dem Rückweg zum Inspektionsfahrzeug über eine Distanz von ca. 55 m getragen werden, da der weiche und unebene Untergrund das Schieben des auf Rollen gelagerten Gerätes nicht erlaubte. Infolge der **aufwändigen Aufbau- und Abbauarbeiten** (vgl. Abb. 32) dauerte der Einsatz an diesem Schacht ca. 90 Minuten.



a) Transport des Roboters zum Schacht



b) Ausrichten des Roboters



c) Distanz zum Inspektionsfahrzeug: ≈ 55 m



d) Transport: Mast-Segment und Kabel

Abb. 32: Aufbau des Roboters am Schacht 7214 0031, Fotos: IKT

- Nahe der Kreuzung „Münsterstraße“/„Sander Straße“ befindet sich ein **Schacht** (S 7214 0029) in lediglich 10 m Entfernung von der nächstgelegenen befestigten Verkehrsfläche. Dennoch waren auch in diesem Fall die vor- und nachbereitenden Arbeiten mit Mehraufwand verbunden. Zum einen lag die Schachttöffnung in einem Bereich mit **geneigtem Gelände**. Zum anderen wurde der **Auf- und Abbau des Roboters durch Pflanzenbewuchs im Schachtumfeld behindert** (vgl. Abb. 33).



a) Lage laut Bestandsplan des STEB Paderborn [100]



b) Situation vor Ort, Foto: IKT

Abb. 33: Inspektion des Schachtes 7214 0029

- Auch die Aufnahme des Schachtes S 7214 0028, der zwischen der Münsterstraße und dem dazu parallel verlaufenden Radweg liegt, bedeutete für den Inspekteur erhöhten Aufwand. Zwar konnte das Inspektionsfahrzeug unter Nutzung des Radweges bis auf ca. 10 m Entfernung an das Untersuchungsobjekt herangefahren werden (vgl. Abb. 34 a). Die beiden nachfolgenden Bilder verdeutlichen jedoch die Herausforderung, den Roboter über der Schachttöpfung zu positionieren. Zum einen wurde die **Erreichbarkeit** des Einsatzortes durch einen **Holzzaun** sowie engstehende, **hüfthoch gewachsene Pflanzen erschwert**. Zum anderen stellte das gegebene **Geländegefälle** im Schachtumfeld eine Gefahr für die Standsicherheit des Personals dar. Dieser Aspekt war insbesondere auch mit Blick auf die Tatsache von Bedeutung, dass der **Schachtkopf ca. 30 cm höher liegt als das Geländeniveau**, und der Roboter unter diesen schwierigen Randbedingungen ausgerichtet werden musste (vgl. Abb. 34).



a) Blick von Münsterstraße in Richtung Radweg, Schachtkopfhöhe über Gelände: ≈ 30 cm



b) Blick vom Radweg zur Münsterstraße

Abb. 34: Inspektion des Schachtes 7214 0028, Fotos: IKT

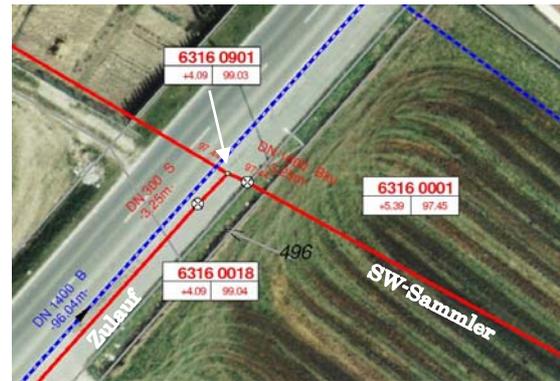
b) Gründe der Nicht-Erfassung von Schächten

Nachfolgend werden die Gründe erläutert, die zur **Nicht-Erfassung** von **19** der insgesamt **51 Schächte** führten:

- Die Bestandsunterlagen beinhalten **3** so genannte „virtuelle“ **Schächte** (S 7214 0931, S 7212 0903, S 6316 0901). Dabei handelt es sich nicht um real existierende Schachtbauwerke, sondern in den vorliegenden Fällen um die jeweilige Bezeichnung der Verknüpfungspunkte zwischen drei Zuläufen und dem Sammler (vgl. Abb. 35).



a) Beispiel 1: Schacht S 7212 0903



b) Beispiel 2: Schacht S 6316 0901

Abb. 35: „Virtuelle“ Schächte in den Bestandsplänen des STEB Paderborn [100]

- Die Positionen von 3 Schächten (S 7215 0001, S 7215 0002, S 7215 0003) konnten zwar angefahren werden, aber die **Schachtöffnungen** waren nicht zugänglich, da sie im Zuge des Baus eines Radweges **überschüttet** worden waren (vgl. Abb. 36).



a) Lage laut Bestandsplan des STEB Paderborn [100]



b) Situation vor Ort, Foto: IKT

Abb. 36: Unter Radweg verschüttet liegende Schachtöffnungen

- Eine** auf dem GWK-Gelände liegende **Schachtöffnung** (S 7111 0001) war sowohl anfahrbar als auch für Personen zugänglich. Sie befindet sich jedoch **innerhalb einer Einhausung**, die dem Schutz messtechnischer Einrichtungen dient. Aufgrund des begrenzten Arbeitsraumes konnte der Vermessungsroboter nicht eingesetzt werden.
- Eine** auf einer Wiese gelegene **Schachtöffnung** (S 7303 0020) war mit dem Inspektionsfahrzeug nicht anfahrbar, aber der Vermessungsroboter hätte manuell zu dieser Position transportiert werden können. Während des für die Inspektion zur Verfügung stehenden Zeitfensters weidete auf diesem Grundstück jedoch eine Rinderherde (vgl. Abb. 37). Da kurzfristig keine Möglichkeit bestand, die Tiere zweifelsfrei vom Untersuchungsobjekt fernzuhalten und damit **Sicherheitsrisiken** auszuschließen, wurde auf die Vermessung und Inspektion dieses Schachtes verzichtet.



Abb. 37: Lage des Schachtes 7303 0020 auf einer Weide, Foto: IKT

- Der Schacht (S 6413 0002) markiert – bezogen auf die Fließrichtung – das obere Ende des zu inspizierenden Sammler-Teilstücks. Die **Schachtöffnung** liegt **innerhalb des Widerlagers einer Brücke** (Straße „Im Quinhagen“). Der Vermessungsroboter konnte an dieser Stelle nicht eingesetzt werden, da die **lichte Höhe** zwischen Schachtöffnung und Unterkante des Brückenträgers **kleiner** ist als die **benötigte Arbeitshöhe** (vgl. Abb. 38).



a) Ansicht aus der Luft [100]

b) Arbeitshöhe unter der Brücke [96]

Abb. 38: Beschriftung: Lage des Schachtes 6413 0002

- Insgesamt **7 Schächte** (S 6413 0005, S 6316 0002, S 7304 0120, S 7303 0024, S 7303 0023, S 7303 0022, S7307 0005) konnten aufgrund ihrer **Lage in freiem Gelände** (z.B. Acker, Wiese) nicht erfasst werden (vgl. Abb. 39). **Weder** waren die Schachtöffnungen direkt mit dem Inspektionsfahrzeug **anfahrbar, noch reichte** der durch die Länge der Kabelverbindung (hier: ca. 60 m) zwischen Inspektionsfahrzeug und Vermessungsroboter vorgegebene **Aktionsradius** aus, um die Distanzen von bis zu 280 m zwischen den Schachtöffnungen und der jeweils nächstgelegenen, befestigten Verkehrsfläche zu überbrücken.



a) Ansicht aus der Luft [100]



b) Blick: Römerstraße in Richtung S 7303 0024, Foto: IKT

Abb. 39: Beispiele für im Acker liegende Schächte

- Vor dem Hintergrund des unter a) beschriebenen Aufwandes bei der Inspektion von schwer zugänglichen Schachtöffnungen kam es zu **unerwarteten Verzögerungen** bei der Aufnahme der Schachtbauwerke. Infolgedessen konnten in dem für die Durchführung zur Verfügung stehenden Zeitfenster nicht alle inspizierbaren, d.h. anfahrbaren und zugänglichen, Schächte untersucht werden. Betroffen waren davon **3 Schächte** (S 6316 0001, S 6413 0004, S 6413 0003).

5.2.3 Daten-Zusammenfassung

In dem vorliegenden Kapitel sind die **Informationen** zusammengestellt, die als Ergebnis der Ist-Aufnahme (vgl. Kapitel 5.2.1 und 5.2.2) erfasst wurden. Dazu zählen sowohl Angaben über den Schmutzwassersammler und seine örtlichen Randbedingungen als auch Details zum Entwässerungssystem der Stadt Paderborn, die **relevant für die Inspektion des Untersuchungsobjektes** sind.

Der im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie als **Untersuchungsobjekt** dienende Kanal ist Teilstück eines insgesamt ca. 8 km langen **Schmutzwasser-Transportsammlers**, der **im Jahr 1981 gebaut** wurde und von der Regenwasserbehandlungsanlage (RBA) „Hans-Humpert-Straße“ bis zum Gruppenklärwerk (GKW) im Stadtteil Sande verläuft (vgl. Abb. 28). **Das betrachtete Teilstück** erstreckt sich **von der Straße „Im Quinhagen“** (Schacht 6413 0002) **bis zum GKW** (Schacht 7111 0002). Es ist ca. **5,7 km lang** und setzt sich aus **Großrohren verschiedener Nennweiten** zusammen (DN 1200, DN 1600, DN 1800).

5.2.3.1 Trassenverlauf, Messstellen, Zuläufe

Der **Trassenverlauf** des Untersuchungsobjektes, die **Positionen von Messstellen** sowie die Lage der **Zuläufe**, an denen bedeutende Abwassermengen eingeleitet werden, sind in **Abb. 40** (Ost-Abschnitt) und **Abb. 41** (West-Abschnitt) dargestellt.

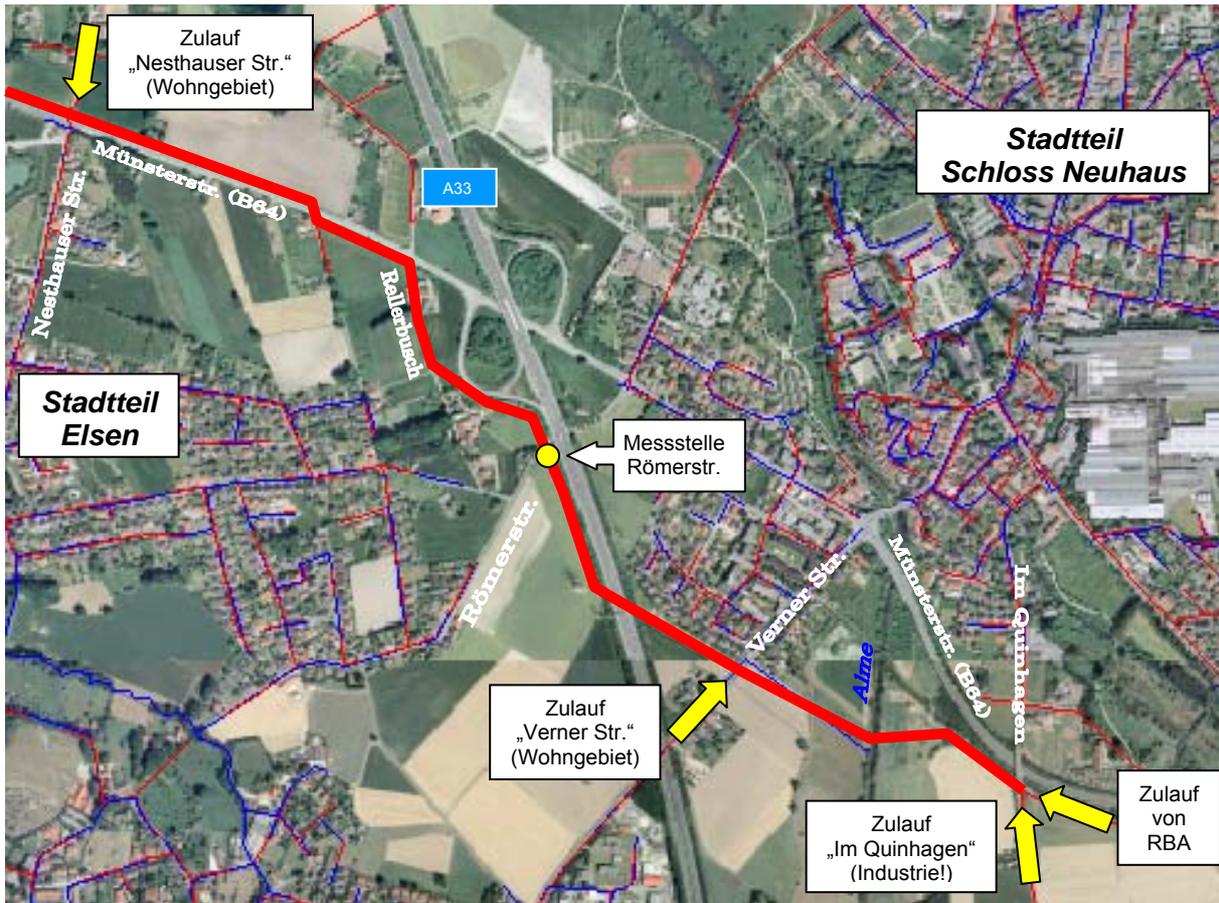


Abb. 40: Trasse des Untersuchungsobjektes – Ost-Abschnitt: Zulauf „Im Quinhagen“ (Startschacht: 6413 0002) bis Zulauf „Nesthauser Straße“ (Schacht 7309 0012)

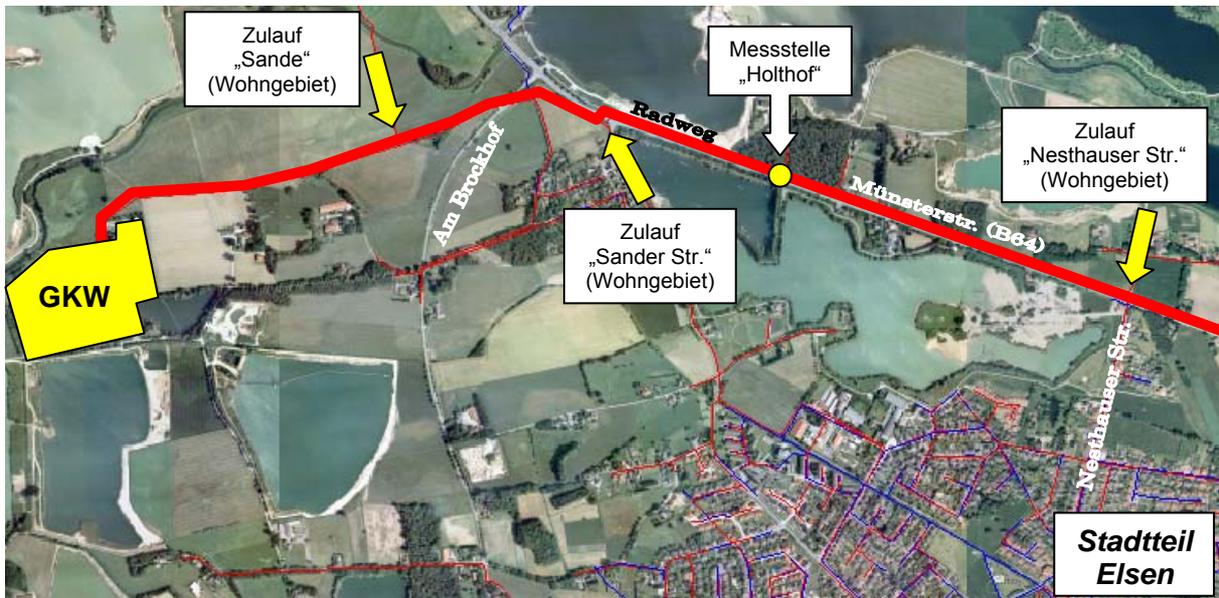


Abb. 41: Trasse des Untersuchungsobjektes – West-Abschnitt: Zulauf „Nesthauser Straße“ (Schacht 7309 0012) bis GWK (Endschacht: 7111 0002).

- Trassenverlauf:** Der **Sammler** unterquert in seinem Verlauf den Fluss „Alme“, die Autobahn A33 und weitere Straßenachsen (Verner Str., Römerstr., Münsterstr., Nesthauser Str., Am Brockhof). Bei der Sichtung der Bestandsunterlagen und der Ortsbesichtigung wurde deutlich, dass das Untersuchungsobjekt über weite Strecken nicht unter befestigten Flächen verläuft. Dies gilt auch für den Bereich Münsterstraße (B64). Der Kanal wurde dort in Abständen von 6 bis 15 m parallel zur Hauptverkehrsstraße verlegt. Nur in zwei längeren Abschnitten liegt der Sammler unter befestigten Verkehrsflächen (Rellerbusch: \approx 200 m, Radweg an der Münsterstr.: \approx 380 m). Der Anteil dieser Strecken an der Gesamtlänge von 5,7 km liegt bei etwa 10 %. D.h., abgesehen von diesen beiden Ausnahmefällen, liegt der Sammler zu **90 % unter nicht befestigten Flächen**. Dabei handelt es sich größtenteils um landwirtschaftliche Nutzflächen (Wiesen, Äcker bzw. Felder) oder Grünstreifen. Ein **Großteil der unbefestigten Flächen** ist nicht in öffentlichem Besitz, sondern **Privateigentum von 20 verschiedenen Personen**.
- Messstellen:** Der Sammlerabschnitt beinhaltet in seinem Verlauf **zwei Messstellen**, an denen die **Wasserstandshöhe** im Kanal **per Ultraschall** erfasst wird. Diese Informationen werden in regelmäßigen Zeitabständen an die Kläranlagenwarte weitergeleitet. Während sich die **Messstelle „Römerstraße“** (vgl. Abb. 40) im Schacht 7303 0021 (vgl. Abb. 42 a) befindet, ist die **Messstelle „Holthof“** (vgl. Abb. 41) im Schacht 7211 0001 (vgl. Abb. 42 b) angeordnet. Die Bezeichnungen der Messstellen entsprechen jeweils dem Namen der nächstgelegenen Straße.



a) „Römerstraße“ (S 7303 0021), DN 1600



b) „Holthof“ (S 7211 0001), DN 1800

Abb. 42: Messstellen zur Erfassung der Wasserstandshöhen per Ultraschall, Fotos: [100]*

* aufgenommen während der Schachtinspektion im Rahmen der Pilotstudie

- Zuläufe:** Das **Untersuchungsobjekt übernimmt** an seinem Anfang (Startschacht S 6413 0002) das **Abwasser** des oberhalb gelegenen Transportsammler-Abschnittes (vgl. Abb. 28), der nicht Bestandteil der vorliegenden Studie ist. Dieser Übergabepunkt ist in Abb. 40 als „**Zulauf von RBA**“ bezeichnet. Über den weiteren Verlauf der Trasse münden mehrere Zuläufe in das Untersuchungsobjekt ein. Nachfolgend werden nur diejenigen Anschlusspunkte betrachtet, an denen Abwassermengen eingeleitet werden, die **bedeutend für die Teilfüllung** des Sammlers sind. Es handelt sich dabei um die folgenden **5 Zuläufe**: „Im Quinhagen“, „Verner Str.“, „Nesthauser Str.“, „Sander Str.“ und „Sande“ (vgl. Abb. 40 und Abb. 41). Die Bezeichnung entspricht entweder dem Namen

der Straße, die den Sammler an der Stelle des jeweiligen Zulaufes kreuzt oder – wie im Fall „Sande“ – dem Namen des angeschlossenen Stadtteils.

Über die **Zuläufe „Verner Str.“, „Nesthauser Str.“, „Sander Str.“ und „Sande“** fließt **Abwasser aus Wohngebieten** in den Kanal. Demgegenüber wird am **Zulauf „Im Quinhagen“** gewerbliches und industrielles Abwasser (Industriegebiet „Mönkeloh“) eingeleitet, dessen Zusammensetzung im Wesentlichen durch die Produktion von Nahrungsmitteln (u.a. Obst- und Gemüseverarbeitung, Schlachthof, Brauerei) sowie von Fahrzeugteilen geprägt wird. Einige dieser Betriebe arbeiten ständig oder saisonbedingt im 3-Schicht-Betrieb. Aus diesem Grund fallen auch in den Nachtstunden teilweise hohe Abwassermengen an.

Aus Abb. 43 geht hervor, dass an den genannten Anschlusspunkten **minimale Zulaufmengen** (Q_{min}) von **4 bis 60 l/s** in den Sammler eingeleitet werden. Unter Einbeziehung der **Zulaufmengen aus Richtung der RBA** in Höhe von insgesamt **145 l/s** ergibt sich **am Beginn des Untersuchungsobjektes** für Q_{min} ein Wert von **205 l/s**. Bedingt durch die nachfolgenden Einleitungsstellen steigert sich dieser Wert im Trassenverlauf schrittweise. **Ab dem Zulauf „Sande“** erreicht Q_{min} **255 l/s**. Mit Blick auf die hohen Zulaufmengen aus Richtung der RBA gibt die in Abb. 43 dargestellte Skizze nicht nur eine Übersicht des Untersuchungsobjektes (u.a. Nennweiten, Messstellen, Benennung und Einleitungsmengen der Zuläufe), sondern ordnet es auch in das **System „RBA – Transportsammler – GWK“** ein.

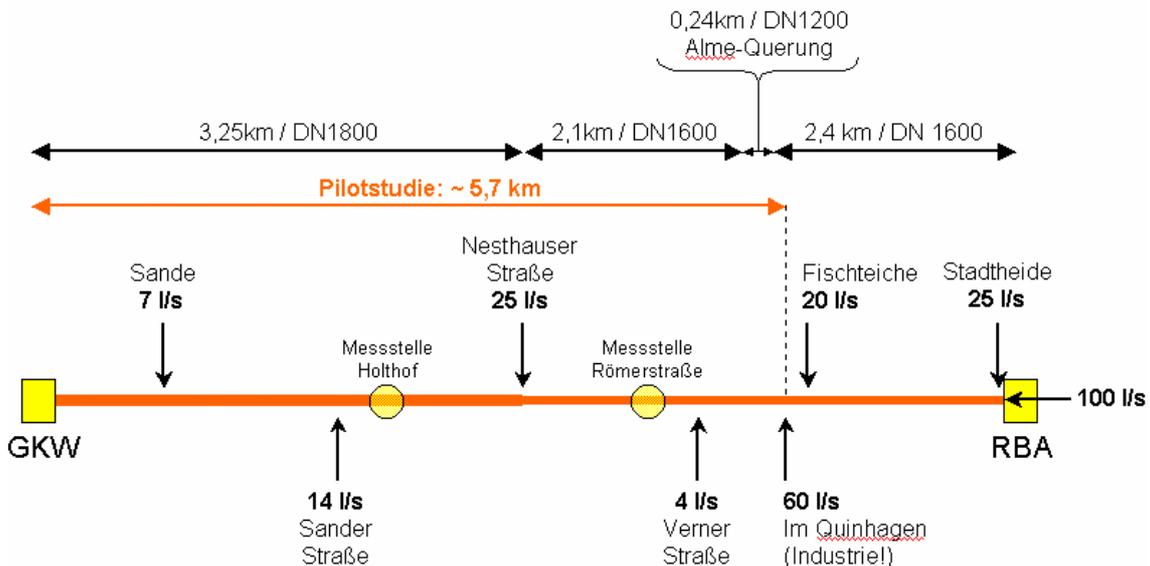


Abb. 43: Systemskizze des Transportsammlers von der RBA zum GWK [100] (Angaben in l/s entsprechen Q_{min} – minimale Zulaufmenge)

Die oben genannten Abwassermengen basieren auf Messungen, die über relativ kurze Zeiträume mit mobilen Geräten an den unterschiedlichen Einleitungsstellen durchgeführt wurden. Am **GWK** dagegen wird die **Zulaufmenge kontinuierlich** und mit **höherer Genauigkeit** unter Einsatz eines Gerätes zur **magnetisch-induktiven Durchflussmessung** erfasst. Die nachfolgend angegebenen Wassermengen entsprechen dem Tagesmittel von der 20. bis 42. Kalenderwoche aus dem Jahr 2000. Die

Abflussmengen dieses Jahres sind relevant, da die Jahresniederschlagsmenge exakt mit dem langjährigen Jahresmittel von 805 mm Niederschlag/Jahr übereinstimmt. Diese **Zulaufmessungen** ergaben bereits **in den Nachtstunden** von 2.00 Uhr bis 9.00 Uhr eine Abwassermenge von 1.000 bis 1.500 m³/h. Das entsprach einer Zulaufmenge **von 280 bis 400 l/s**. Die **minimale Teilfüllungshöhe** des Kanals lag in diesem Zeitabschnitt zwischen **30 und 40 cm** bei einer **Fließgeschwindigkeit** von etwa **1,50 m/s**. Diese Abflussmengen werden nachts nicht nur an Werktagen, sondern auch an Sonn- und Feiertagen gemessen. **Aufgrund** der großen eingeleiteten **Abwassermengen der Industrie** liegt die **Zulaufmenge tagsüber bedeutend höher**. Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt ist die auftretende **Fremdwassermenge**. Bei hohen Grundwasserständen insbesondere im **Winter und im Frühjahr** ist mit erhöhten Abflussmengen zu rechnen.

5.2.3.2 Haltungen und Schächte

Das Untersuchungsobjekt setzt sich nach Angaben der Bestandsunterlagen des Netzbetreibers [100] aus insgesamt 50 Haltungen zusammen. Das EDV-gestützte Kanalkataster beinhaltet für diesen Kanalabschnitt jedoch drei so genannte „virtuelle“ **Schächte** (S 6316 0901, S 7212 0903, S 7214 0931). Die Schachtnummern wurden vergeben, um Verknüpfungspunkte zwischen drei Zuläufen und dem Sammler zu benennen (vgl. Kapitel 5.2.2.2, Abb. 35). An diesen Stellen sind in der Realität **keine Schachtbauwerke vorhanden**. Mit Blick auf die Inspektion wurden bei den folgenden Ausführungen jeweils die beiden Haltungen, die an einen „virtuellen“ Schacht grenzen, zu einer Haltung zusammengefasst.

Unter dieser Voraussetzung **besteht das 5,7 km lange Untersuchungsobjekt** nicht aus 50, sondern aus **47 Haltungen**. Die **Haltungslängen** liegen zwischen **minimal 34 bis maximal 204 m**. In Tab. 5 sind die Anzahl der Haltungen sowie die Gesamtlänge der Haltungen in Bezug auf einen von vier definierten Längenbereichen angegeben. Das Untersuchungsobjekt besteht nur aus drei Haltungen, die eine Länge bis zu 50 m aufweisen. Jeweils ein Viertel der Haltungen lässt sich den Längenbereichen 2 und 4 zuordnen. Die Mehrheit der Haltungen ist 100 – 150 m lang (43 %). In Bezug auf die Gesamtlänge der Haltungen je Längenbereich dominieren zu etwa gleichen Anteilen (ca. 40 %) die Klassen 100 – 150 m und 150 – 204 m. Das **durchschnittliche Gefälle** des Untersuchungsobjektes beträgt gemittelt über die Summe der einzelnen Haltungslängen **1,6 ‰**. Eine detaillierte Aufstellung der Haltungsdaten ist in Tab. 6 enthalten.

Tab. 5: Anzahl der Haltungen und Gesamtlänge der Haltungen in Bezug auf die Längenbereiche 1 bis 4

| | Längenbereich 1 <34 bis 50 m | Längenbereich 2 <50 bis 100 m | Längenbereich 3 <100 bis 150 m | Längenbereich 4 <150 bis 204 m |
|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Anzahl der Haltungen | 3 (6 %) ¹ | 12 (26 %) ¹ | 20 (43 %) ¹ | 12 (26 %) ¹ |
| Gesamtlänge der Haltungen | 110 m (2 %) ² | 1049 m (18 %) ² | 2404 m (42 %) ² | 2138 m (38 %) ² |

¹ bezogen auf Gesamtanzahl der Haltungen (47),

² bezogen auf Gesamtlänge der Haltungen (5700 m)

Tab. 6: *Haltungsdaten des Schmutzwassersammlers vom GWK bis zur Straße „Im Quinhagen“ (Sortierung gegen die Fließrichtung), Profil: Kreis, Material: BKU, Baujahr: 1981, (aus [100])*

| Nr. | Anfangs-schacht | Endschacht | Straße | Verkehrslage | Haltungslänge [m] | Tiefe* [m] | DN | Gefälle [‰] |
|-----|-----------------|--------------|-------------|-----------------------------------|-------------------|------------|------|-------------|
| 1 | 71110002 | 71110001 | Gelände | Acker | 80,3 | 6,3 | 1800 | 1,2 |
| 2 | 71110001 | 71120003 | Gelände | Acker | 115,0 | 4,2 | 1800 | 0,7 |
| 3 | 71120003 | 71120002 | Gelände | Acker | 203,7 | 3,2 | 1800 | 1,2 |
| 4 | 71120002 | 71120001 | Gelände | Acker | 136,1 | 3,4 | 1800 | 1,3 |
| 5 | 71120001 | 72090002 | Gelände | Acker | 196,1 | 3,3 | 1800 | 1,2 |
| 6 | 72090002 | 72090001 | Gelände | Acker | 92,8 | 3,3 | 1800 | 2,3 |
| 7 | 72090001 | 72130004 | Gelände | Wirtschaftsweg wassergeb. | 153,6 | 3,4 | 1800 | 1,0 |
| 8 | 72130004 | 72130005 | Schotterweg | Wirtschaftsweg wassergeb. | 138,2 | 3,4 | 1800 | 1,0 |
| 9 | 72130005 | 72140032 | Schotterweg | Wirtschaftsweg wassergeb. | 137,6 | 3,3 | 1800 | 0,8 |
| 10 | 72140032 | 72140931 (V) | Am Brockhof | Wirtschaftsweg wassergeb. | 143,4 | 3,3 | 1800 | 1,2 |
| 11 | 72140931 (V) | 72140031 | Gelände | öffentliche Straße Bitumen | 46,5 | --- | 1800 | 1,1 |
| 12 | 72140031 | 72140029 | Münsterstr. | Fahrbahnrand bis 15 m | 183,7 | 3,6 | 1800 | 2,5 |
| 13 | 72140029 | 72140028 | Münsterstr. | Fahrbahnrand bis 15 m | 34,1 | 3,4 | 1800 | 12,6 |
| 14 | 72140028 | 72150001 | Münsterstr. | Wirtschaftsweg wassergeb. | 84,5 | 4,2 | 1800 | 1,1 |
| 15 | 72150001 | 72150002 | Münsterstr. | Wirtschaftsweg wassergeb. | 87,9 | 2,5 | 1800 | 2,3 |
| 16 | 72150002 | 72150003 | Münsterstr. | Wirtschaftsweg wassergeb. | 100,8 | 3,4 | 1800 | 0,6 |
| 17 | 72150003 | 72110002 | Münsterstr. | Wirtschaftsweg wassergeb. | 108,1 | 3,4 | 1800 | 0,9 |
| 18 | 72110002 | 72110001 | Münsterstr. | Wirtschaftsweg wassergeb. | 143,4 | 5,3 | 1800 | 0,8 |
| 19 | 72110001 | 72120903 (V) | Münsterstr. | Fahrbahnrand bis 15 m | 8,8 | 5,1 | 1800 | 202,5 |
| 20 | 72120903 (V) | 72120003 | Münsterstr. | Fahrbahnrand bis 15 m | 162,3 | --- | 1800 | 10,5 |
| 21 | 72120003 | 72120002 | Münsterstr. | Fahrbahnrand bis 15 m | 133,4 | 4,8 | 1800 | 1,1 |
| 22 | 72120002 | 72120001 | Münsterstr. | Fahrbahnrand bis 15 m | 181,5 | 5,3 | 1800 | 2,2 |
| 23 | 72120001 | 73090009 | Münsterstr. | Fahrbahnrand bis 15 m | 120,8 | 4,7 | 1800 | 1,2 |
| 24 | 73090009 | 73090010 | Münsterstr. | Fahrbahnrand bis 15 m | 186,3 | 4,6 | 1800 | 1,0 |
| 25 | 73090010 | 73090011 | Münsterstr. | Fahrbahnrand bis 15 m | 143,5 | 4,5 | 1800 | 1,1 |
| 26 | 73090011 | 73090012 | Münsterstr. | Fahrbahnrand bis 15 m | 127,5 | 4,3 | 1800 | 0,8 |
| 27 | 73090012 | 73100010 | Münsterstr. | Fahrbahnrand bis 15 m | 161,3 | 4,6 | 1600 | 5,0 |
| 28 | 73100010 | 73060011 | Münsterstr. | Fahrbahnrand bis 15 m | 39,4 | 4,5 | 1600 | 3,1 |
| 29 | 73060011 | 73060012 | Münsterstr. | Fahrbahnrand bis 15 m | 82,4 | 4,8 | 1600 | 0,5 |
| 30 | 73060012 | 73060013 | Münsterstr. | Fahrbahnrand bis 15 m | 107,9 | 4,8 | 1600 | 0,7 |
| 31 | 73060013 | 73060014 | Münsterstr. | Fahrbahnrand bis 15 m | 111,2 | 4,9 | 1600 | 1,3 |
| 32 | 73060014 | 73060015 | Münsterstr. | FBR bis 15m/öffentl. Str. Bitumen | 36,2 | 4,6 | 1600 | 1,9 |
| 33 | 73060015 | 73070002 | Münsterstr. | Fahrbahnrand bis 15 m | 195,7 | 4,7 | 1600 | 1,4 |
| 34 | 73070002 | 73070003 | Rellerbusch | öffentliche Straße Bitumen | 95,2 | 4,8 | 1600 | 0,2 |

* des Anfangsschachtes, (V)=virtuell

Tab. 6: Haltungsdaten des Schmutzwassersammlers (Fortsetzung)

| Nr. | Anfangs-schacht | Endschacht | Straße | Verkehrslage | Haltungslänge [m] | Tiefe* [m] | DN | Gefälle [‰] |
|-----|-----------------|--------------|--------------|-----------------------------------|-------------------|------------|------|-------------|
| 35 | 73070003 | 73070004 | Rellerbusch | öffentliche Straße Bitumen | 100,2 | 4,8 | 1600 | 1,0 |
| 36 | 73070004 | 73070005 | Gelände/A33 | Gelände | 125,3 | 5,1 | 1600 | 1,0 |
| 37 | 73070005 | 73030020 | Gelände/A33 | Gelände / FBR bis 15m | 102,9 | 5,9 | 1600 | 1,1 |
| 38 | 73030020 | 73030021 | Gelände/A33 | Fahrbahnrand bis 15m | 65,0 | 5,6 | 1600 | 0,8 |
| 39 | 73030021 | 73030022 | Gelände/A33 | Acker | 90,8 | 5,4 | 1600 | 0,7 |
| 40 | 73030022 | 73030023 | Gelände/A33 | Acker | 95,7 | 5,1 | 1600 | 0,9 |
| 41 | 73030023 | 73030024 | Gelände/A33 | Acker | 97,5 | 5,1 | 1600 | 1,5 |
| 42 | 73030024 | 73040120 | Querung A33 | Acker | 110,4 | 5,2 | 1600 | 2,1 |
| 43 | 73040120 | 73040121 | Gelände | Acker | 108,5 | 5,1 | 1600 | 0,8 |
| 44 | 73040121 | 63160901 (V) | Gelände | Acker / öffentl. Straße Bitumen | 104,6 | 4,9 | 1600 | 15,8 |
| 45 | 63160901 (V) | 63160001 | Verner Str. | öffentliche Straße Bitumen | 3,3 | --- | 1600 | 664,0 |
| 46 | 63160001 | 63160002 | Gelände | öffentliche Straße Bitumen /Acker | 153,9 | 5,4 | 1600 | 1,0 |
| 47 | 63160002 | 64130005 | Gelände | Acker | 128,4 | 4,4 | 1600 | 1,2 |
| 48 | 64130005 | 64130004 | Querung Alme | Acker | 158,0 | 4,2 | 1200 | 4,3 |
| 49 | 64130004 | 64130003 | Radweg | Fahrbahnrand bis 15 m | 81,9 | 4,9 | 1200 | 6,4 |
| 50 | 64130003 | 64130002 | Radweg | Fahrbahnrand bis 15 m | 95,30 | 4,4 | 1600 | 5,1 |

* des Anfangsschachtes, (V)=virtuell

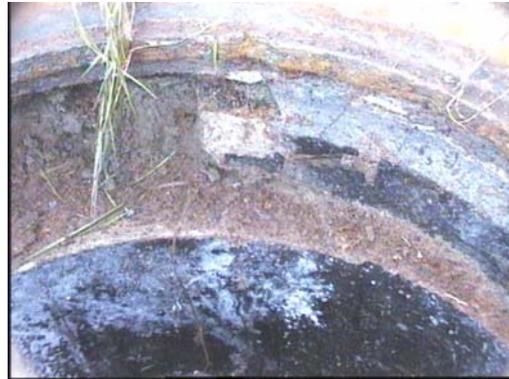
Bestandteil des zu inspizierenden Sammlerabschnittes sind **insgesamt 48 Schachtbauwerke aus Beton**. Gerinne und Auftritte bestehen aus Mauerwerk. Die **Schachttiefe** (vgl. Tab. 6) variiert zwischen **minimal 2,5 m** (S 7215 0001) und **maximal 6,3 m** (S 7111 0002). Im Rahmen der Trassenbegehung sowie der Schachtvermessung und -inspektion (vgl. Kapitel 5.2.3) wurden bzgl. der Schächte folgende Erkenntnisse gewonnen:

- Die Schächte unterscheiden sich in Bezug auf die örtlichen Randbedingungen ihres Umfeldes. Bei insgesamt **16 Schächten** bestanden u.a. aufgrund der Verkehrslage, des Grades der Untergrundbefestigung, des Gefälle und der Nutzungsart des Geländes **Probleme hinsichtlich der Anfahrbarkeit und Zugänglichkeit** der Schachtöffnungen.
- Insgesamt **3 Schächte** waren **nicht zugänglich**, da die Schachtöffnungen im Zuge des Baus eines Radweges **überschüttet** worden waren.
- Die überwiegend als **Tangentialschächte** ausgebildeten Bauwerke wiesen zum Teil deutliche **Unterschiede hinsichtlich ihrer Konstruktion** (Bauwerksgröße, Anordnung der Bermen) auf.
- Bei mehreren Schächten war der **Deckel** mit dem Schachtrahmen **verschraubt**.
- Bei der Inspektion der Schächte wurden in mehreren Fällen **korrodierte Steigeisen** (vgl. Abb. 44 a) und in einem Beispiel ein **lockerer Schachtrahmen** (vgl. Abb. 44 b) festgestellt. Darüber hinaus wurden **auf Bermen Ablagerungen von bis zu 15 cm Höhe** beobachtet (vgl. Abb. 44 c, d).

- Als Ergebnis der Schachtinspektion und -vermessung (vgl. Kapitel 5.2.2) durch die Fa. Bodemann aus Dornbirn (Österreich) lag für 32 der insgesamt 48 Schächte jeweils ein formalisiertes Protokoll vor, das sowohl Bestandsdaten zum Bauwerk als auch Angaben zu eventuell vorhandenen Mängeln enthielt (s. Beispiel in Abb. 45).



a) Korrosion an Steigeisen



b) Schachtrahmen locker



c) Sedimente auf der Berme, H \approx 10 cm



d) Sedimente auf der Berme, H \approx 15 cm

Abb. 44: Beobachtungen in Schachtbauwerken, Fotos: [100]*

* aufgenommen während der Schachtinspektion im Rahmen der Pilotstudie

5.2.3.3 Rohre

Das Untersuchungsobjekt besteht aus **Rohren mit Kreisprofil ohne Trockenwettergerinne** der **Nennweiten DN 1200, DN 1600 und DN 1800**. Vom Startschacht S 6413 0002 aus fließt das Abwasser zunächst durch eine Haltung (0,1 km) aus Rohren der Nennweite DN 1600. Bei der anschließenden 0,24 km langen Unterquerung des Flusses „Alme“ wurden Rohre der Nennweite DN 1200 verwendet. Im weiteren Verlauf folgt ein 2,1 km langer Abschnitt mit Rohren der Nennweite DN 1600. Ab Schacht 7309 0012 (Zulauf „Nesthauser Straße“) wird das Abwasser über insgesamt 3,25 km durch Rohre der Nennweite DN 1800 bis zum Schacht 7111 0002 (GKW) geleitet. Insgesamt ergibt sich auf die Gesamtlänge des Sammlers bezogen folgende **Verteilung der einzelnen Nennweiten**:

- DN 1200: 4 % (0,24 km),
- DN 1600: 39 % (2,2 km),
- DN 1800: 57 % (3,25 km).

Die verlegten **Rohre** weisen unabhängig von der Nennweite eine **Baulänge** von **2,5 m** auf. Sie sind aus **Stahlbeton** gefertigt und vollflächig mit einer **rot-braunen Innenauskleidung** vom **Typ BKU I** versehen. Es handelt sich dabei um eine **Anti-Korrosionslage aus PVC-U** (Polyvinylchlorid ohne Weichmacher bzw. hart), die im vorliegenden Fall nicht nachträglich, sondern bereits **werksseitig aufgebracht** wurde. Die Innenauskleidung ist nach Herstellerangaben (vgl. [101]) **aus einzelnen Profilplatten zusammengesetzt**, die durch Klemmleisten miteinander verbunden werden. Auf der **Profilplattenrückseite** sind **Stege** mit tropfenförmig ausgebildeten Enden angeordnet, die **als Verankerungselemente** im Beton dienen (vgl. Abb. 46 a). Hinsichtlich des hier betrachteten SW-Sammlers konnten Anhaltspunkte über die **Geometrie des gewählten Innenauskleidungsquerschnittes** anhand eines **Bohrkern-Findlings** gewonnen werden, der im Rahmen der durchgeführten Inspektionen (vgl. Kapitel 5.4.5) **aus dem Kanal geborgen** wurde. In Abb. 46 b) sind die Profilplatte und drei Stege zu erkennen. Die Dicke der Profilplatte beträgt ca. 2 bis 3 mm. Die Stege ragen ungefähr 7 mm in die Rohrwandung hinein und liegen jeweils in etwa 30 mm voneinander entfernt. Wird die oberste Schicht der dunklen Profilplattenschnittfläche entfernt, so zeigt sich die ursprünglich rot-braune Farbe des verwendeten **PVC-U-Materials**. Diese **oberflächliche Verfärbung** steht vermutlich im Zusammenhang mit dem jahrelangen Kontakt zum umgebenden Abwasser.

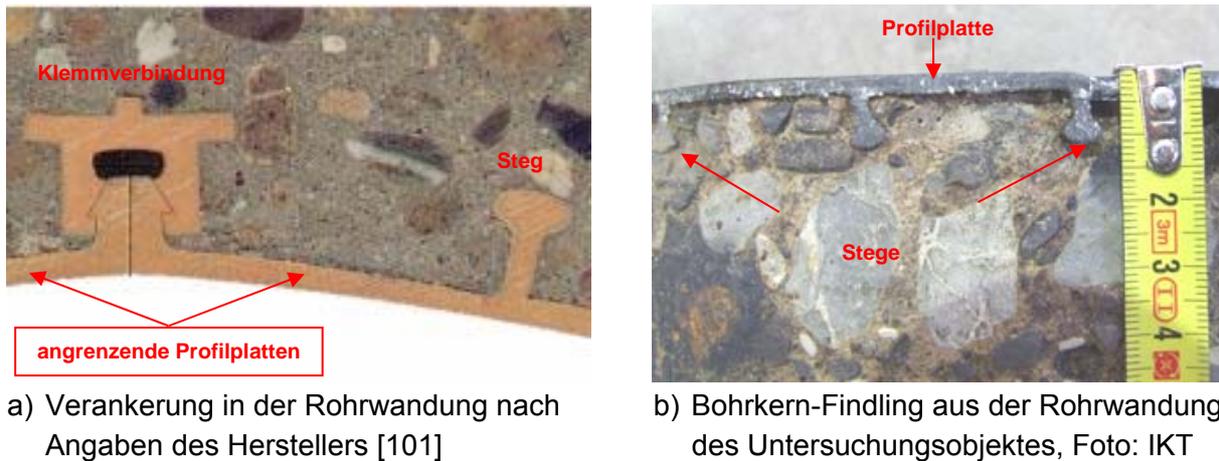


Abb. 46: Innenauskleidung des Typs BKU I für Rohre aus (Stahl-)Beton

5.2.3.4 Rohrverbindungen

Die **Rohrverbindungen** des betrachteten Sammlers beinhalten nach Angaben des STEB Paderborn **zwei Dichtungen, eine innen- und eine außenliegende**. Der genaue Aufbau der Rohrübergänge, blieb im Rahmen dieser Pilotstudie aufgrund nicht mehr verfügbarer Unterlagen der Bauplanung und -ausführung offen. Es wird jedoch vermutet, dass die gewählte Konstruktion im Grundsatz mit einem der in Abb. 47 bzw. Abb. 48 gezeigten Beispiele übereinstimmt. In beiden Fällen ist als außenliegende **Primärdichtung** ein Rollgummi angeordnet, das den Spalt zwischen Muffe und Spitzende abdichtet. Die innenliegende **Sekundärdichtung** verhindert den Eintritt von Abwasser in den Bereich des Rohrstoßes. Sie besteht im ersten Ausführungsbeispiel (vgl. Abb. 47) aus einem TOK-Profil (PP-SC 121-37 mit $t \approx 20-25$ mm). Das Kürzel TOK steht nach [102] für „Tonrohrmuffen-Kitt“, der früher für die Abdichtung von Tonrohr-Verbindungen verwendet wurde. Im zweiten Ausführungsbeispiel (vgl. Abb. 48) besteht die Sekundärdichtung aus einem Fermadur-Ring (Kompressionsdichtprofil).

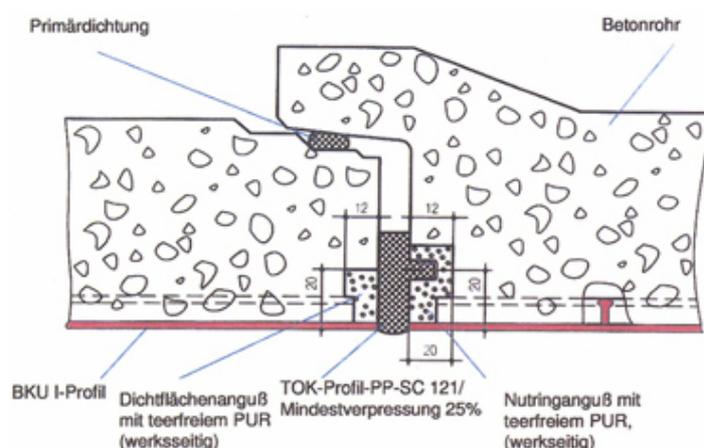


Abb. 47: Verbindungsbereich von Betonrohren mit Innenauskleidung des Typs BKU I, Ausführungsbeispiel 1: TOK-Profil als Sekundärdichtung (vgl. [103])

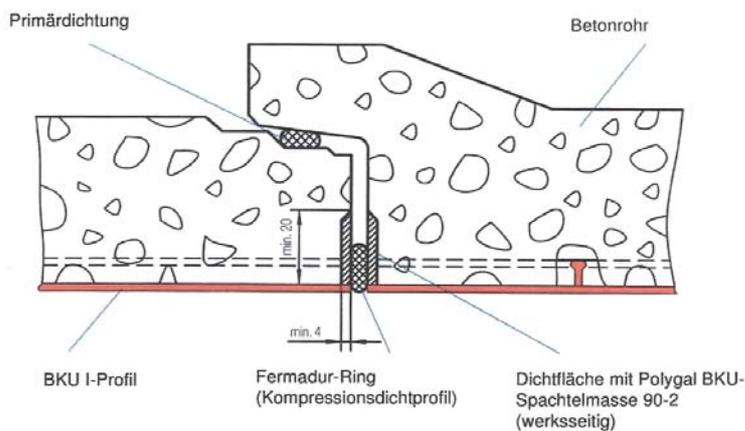


Abb. 48: Verbindungsbereich von Betonrohren mit Innenauskleidung des Typs BKU I, Ausführungsbeispiel 2: Fermadur-Ring als Sekundärdichtung (vgl. [103])

5.2.3.5 Ablagerungssituation und Kanalreinigung

Trotz des geringen Gefälles von im Durchschnitt 1,6 ‰ fließt das Abwasser mit einer relativ hohen mittleren Geschwindigkeit von ca. 1,5 m/s durch den Paderborner Hauptschmutzwassersammler. Diese hydraulisch günstigen Verhältnisse sind auf die großen Radien in den Kurvenbauwerken zurückzuführen. Aus diesem Grund und wegen der glatten Oberfläche der Rohrauskleidung vom Typ BKU I wurden im Untersuchungsobjekt nur geringe Ablagerungsmengen erwartet. Hinsichtlich des Gasraumes wurde diese Annahme sowohl durch Praxiserfahrungen des STEB Paderborn als auch durch Beobachtungen im Rahmen der Schachtinspektion bestätigt. Abb. 49 verdeutlicht die Ablagerungssituation anhand von zwei Beispielen. Während die orange-farbene Innenauskleidung auf dem linken Bild großflächig zu erkennen ist, zeigen sich auf dem rechten Bild dunkle Verfärbungen der Rohrwand, die ungleichmäßig verteilt sind. Hierbei handelt es sich um Sielhaut.



a) Beispiel 1: keine Ablagerungen



b) Beispiel 2: Sielhaut

Abb. 49: Ablagerungssituation im Bereich des Gasraumes

Im Gegensatz dazu konnten aufgrund der ständigen Teilfüllung des Kanals im Rahmen der Ist-Aufnahme jedoch keine Erkenntnisse über die Ablagerungshöhe im Sohlbereich gewonnen werden. Allerdings **musste insbesondere auf dem letzten ca. 1,0 km langen Abschnitt des Sammlers bis zum GWK mit Ablagerungen in der Sohle gerechnet**

werden. Dieser Teil des Untersuchungsobjektes wird nach Angaben des STEB Paderborn **absichtlich eingestaut**, um die Effektivität des Schneckenpumpwerkes zu erhöhen, mit dessen Hilfe das Abwasser aus dem Transportsammler auf das Niveau des GWK gehoben wird.

Die Reinigung des Paderborner Kanalnetzes wird durch den STEB Paderborn ausgeführt. Für diese Arbeiten stehen Hochdruckspülfahrzeuge (vgl. Abb. 50 a) zur Verfügung, die jeweils mit einem 200 m langen Spülschlauch ausgestattet sind. Für die Beseitigung von Ablagerungen aus Großprofilkanälen werden Sohlenreiniger eingesetzt. In Abb. 50 b ist eine Hochdruckdüse dieses Typs dargestellt.



a) Hockdruckspülfahrzeug



b) Sohlenreiniger

Abb. 50: Geräte des STEB Paderborn zur Kanalreinigung, Fotos: IKT

5.2.3.6 Rückstauvolumen

Das Paderborner Untersuchungsobjekt ist nicht mit ortsfesten Absperreinrichtungen ausgestattet. Allerdings besteht die Möglichkeit, einen großen Zulauf (100 l/s, vgl. Kapitel 5.2.3.1, Abb. 43) mit Hilfe eines manuell zu betätigenden Schiebers zu verschließen. Bei geschlossener Absperreinrichtung wird zunächst das **ca. 3.500 m³** umfassende **Rückstauvolumen des Kanals** aktiviert. Ist dieses Volumen ausgeschöpft, fließt das Abwasser in die angrenzende Regenwasserbehandlungsanlage „Hans-Humpert-Straße“ (RBA). Die **RBA** setzt sich aus **drei Speicherbecken** mit einem **Gesamtvolumen** von **ca. 10.000 m³** zusammen. Becken 1 hat ein Volumen von 3.500 m³, Becken 2 umfasst 4.200 m³. Das dritte Becken ist mit einem Retentionsbodenfilter ausgestattet und bietet einen Speicherraum von ca. 2000 m³ (vgl. Abb. 51). Allerdings wurde das Becken 3 im Rahmen der Pilotstudie nicht genutzt, da eine Entleerung in das Schmutzwassernetz nicht möglich ist. Alle Becken sind mit Ultraschallsensoren ausgestattet, die in regelmäßigen Abständen die Wasserstandshöhe ermitteln. Die gewonnenen Messdaten werden online an die Leitwarte des GWK übermittelt. Das gespeicherte Abwasser fließt nach dem Öffnen des Schiebers aus dem Kanal ab bzw. wird mit Hilfe von Pumpen aus den Speicherbecken 1 und 2 in den Sammler gefördert.



Abb. 51: Luftbild der Regenwasserbehandlungsanlage „Hans-Humpert-Straße“, Foto: [100]

5.3 Lösungsansätze und Verfahrensauswahl

In den folgenden Abschnitten werden vor dem Hintergrund der Recherchen (vgl. Kapitel 2), den ergänzenden Untersuchungen (vgl. Kapitel 3) und den Anforderungen aus der Arbeitssicherheit (vgl. Kapitel 4) Lösungsansätze zu den Themen Kanalreinigung, Wasserhaltung und Inspektion beschrieben sowie unter Berücksichtigung der – im Rahmen der Ist-Aufnahme (vgl. Kapitel 5.2) über das Untersuchungsobjekt – gewonnenen Erkenntnisse geeignete Verfahren und Geräte ausgewählt.

5.3.1 Kanalreinigung

Im Vorfeld der Inspektion wurden im Untersuchungsobjekt probeweise zwei Geräte zur Reinigung des Kanals mit Hilfe von Hochdruckwasserstrahlen eingesetzt. Dabei handelte es sich auf der einen Seite um eine Propellerdüse (vgl. Kapitel 2.2, Tab. 3, Abschnitt II), die von Seiten der Günther Sausgruber Kanaltechnik GmbH (Frankenthal) zur Verfügung gestellt wurde, und auf der anderen Seite um einen Sohlenreiniger des STEB Paderborn (vgl. Abb. 50 b). Beide Geräte wurden mit Hilfe eines Hochdruckspülfahrzeugs betrieben.

Propellerdüsen dienen der Reinigung des gesamten Rohrquerschnittes. Abb. 52 a zeigt das in Paderborn verwendete Gerät im Transportzustand. Es ist nach Angaben des Herstellers (vgl. [57]) 136 kg schwer, 1080 mm lang und für Rohre der Nennweiten DN 1400 bis DN 2000 geeignet. Für den Test-Einsatz wurde die Propellerdüse zunächst mit dem Spülschlauch des Reinigungsfahrzeuges verbunden und anschließend in den ausgewählten Schacht bis auf das Niveau der Bermen abgesenkt. Im nächsten Schritt stieg ein Mitarbeiter des STEB Paderborn in den Schacht ein, passte die Größe des Düsengestelles an die Nennweite des Rohres (vgl. Abb. 52 b) an, montierte die Propellerarme inklusive Düsen an den Rotor und positionierte die Propellerdüse im Schachtgerinne.



a) Transportzustand b) DN-Anpassung der Gestelles c) Montage der Propellerarme

Abb. 52: Einsatz einer Propellerdüse im Paderborner Untersuchungsobjekt, Fotos: IKT

Im Anschluss wurde ein ca. 40 m langer Kanalabschnitt mit Hilfe dieses Gerätes gespült. Eine Schachtkamera (vgl. Kapitel 2.1, Tab. 1) diente zur Kontrolle des Reinigungsergebnisses. Auf diese Weise wurde festgestellt, dass vor dem Einsatz der Propellerdüse eine dünne Sielhaut die Rohrwinnenoberfläche bedeckte. Abb. 53 zeigt auf dem linken Foto den Anfang der Teststrecke vor der Reinigung. Auf dem rechten Foto ist die Ablagerungssituation in demselben Abschnitt nach der Reinigung zu erkennen. Der Vorher-Nachher-Vergleich zeigt, dass unter Einsatz der Propellerdüse die Sielhaut von Teilflächen der Rohrwandung vollständig entfernt werden konnte.



*Abb. 53: Vergleich der Ablagerungssituation vor (links) und nach (rechts) dem Einsatz der Propellerdüse, Fotos: [100]**

* aufgenommen im Rahmen der Pilotstudie

Im Gegensatz zu Propellerdüsen dienen Sohlenreiniger ausschließlich der Beseitigung von Ablagerungen aus dem Bereich der Rohrsohle (vgl. Kapitel 2.2). Bei tagsüber durchgeführten Tests eines derartigen Gerätes im Paderborner Untersuchungsobjekt wurden dessen Einsatzgrenzen deutlich. Die Teilfüllung des Kanals von ca. 60 % dämpfte erwartungsgemäß nicht nur die Reinigungswirkung der Hochdruckwasserstrahlen, sondern führte in Verbindung mit der hohen Fließgeschwindigkeit des Abwassers auch zu Drehbewegungen des Sohlenreinigers um dessen Längsachse und damit zur Ablenkung der Hochdruckwasserstrahlen von der vorgesehenen Soll-Richtung. Derartige Schwierigkeiten traten bei weiteren Testeinsätzen, die nachts, d.h. bei deutlich geringeren Teilfüllungshöhen, durchgeführt wurden, nicht auf.

Vor dem Hintergrund der Erkenntnisse aus der Ist-Aufnahme sowie der oben beschriebenen Testeinsätze wurde mit Blick auf die Inspektion entschieden, das **Untersuchungsobjekt nachts zu spülen**. Bei dieser Aufgabe setzte der STEB Paderborn ein Spülfahrzeug und einen **Sohlenreiniger** (vgl. Abb. 50) ein. Aufgrund des aus Sicht des STEB Paderborn unverhältnismäßig großen Aufwandes und der spezifischen Einsatzrisiken wurde auf den Einsatz von rundumreinigenden Düsen (z.B. Propellerdüse) und handgeführten Hochdruckreinigern verzichtet.

Bei der Ausführungsplanung waren weitere Erkenntnisse zu beachten, die im Rahmen der Ist-Aufnahme gewonnen worden waren. Demnach bestanden bei 16 Schächten u.a. aufgrund ihrer Lage in unbefestigtem Gelände **Schwierigkeiten hinsichtlich der Anfahrbarkeit und Zugänglichkeit der Schachtöffnungen** (vgl. Kapitel 5.2.3.2). Diese Information ist insbesondere mit Blick auf das hohe Eigengewicht von Hochdruckspülfahrzeugen relevant. Vor diesem Hintergrund war zu erwarten, dass nicht alle Haltungen des Untersuchungsobjektes gereinigt werden können. Darüber hinaus waren drei Schächte nicht zugänglich, da die Schachtöffnungen im Zuge des Baus eines Radweges überschüttet worden waren. Mit Blick auf die durchzuführende Kanalreinigung beschloss der STEB Paderborn die **Freilegung dieser Schachtöffnungen**.

5.3.2 Wasserhaltung

Bei der optischen Kanalinspektion wird der Zustand des im Gasraum liegenden Rohrquerschnittes erfasst. **Voraussetzung für eine umfassende Inaugenscheinnahme** ist daher die Umsetzung von Wasserhaltungsmaßnahmen, die es erlauben, das Untersuchungsobjekt vorübergehend, **vollständig abwasserfrei** zu halten. Dieser **optimalen Voraussetzung** steht seitens der Kanalnetzbetreiber der Wunsch nach einer **möglichst kostengünstigen** technischen **Lösung** gegenüber. Das Streben nach der Erfüllung dieser beiden Anforderungen führt insbesondere bei großen, ständig teilgefüllten Kanälen zu einem **Zielkonflikt**, wenn weder das Untersuchungsobjekt noch die angeschlossenen Kanäle mit bestehenden Betriebspunkten (z.B. Schieber oder Pumpstationen) zur Absperrung ausgestattet sind.

Das Paderborner Entwässerungssystem beinhaltete keine Einrichtungen, um den zu inspizierenden Haupt-Schmutzwassersammler temporär abwasserfrei zu halten. Aus diesem Grund wurden andere Ansätze zur Vorflutsicherung (vgl. Kapitel 2.3 und 4.2) mit Blick auf ihre Umsetzbarkeit unter den gegebenen örtlichen Randbedingungen in Betracht gezogen:

- **Absperrn:** Ein Vorschlag beinhaltete den **Einbau** von zwei oder drei **ortsfesten Schiebern** (vgl. Abb. 2) in das Untersuchungsobjekt, um den Kanal abschnittweise absperrn zu können. Diese Idee wurde aus zwei Gründen nicht umgesetzt. Auf der einen Seite hätten die Baukosten die Aufwendungen für die Inspektionsarbeiten um ein Vielfaches überschritten. Auf der anderen Seite wäre es nicht möglich gewesen, den Einbau innerhalb des Zeitrahmens der vorliegenden Pilotstudie zu realisieren. Alternativ wurde die Idee der **Verwendung von provisorischen Rohrabsperngeräten** (vgl. Kapitel 2.3.1 und 4.2) verfolgt. Als Ergebnis einer zu diesem Thema durchgeführten Machbarkeitsstudie stellte sich heraus, dass im vorliegenden Anwendungsfall **mechanische Absperrscheiben** (vgl. Abb. 5) nicht zum Einsatz kommen können, da sie

nicht für die gegebenen Rohrnennweiten gefertigt werden. Des Weiteren wurden **Absperrblasen** (vgl. Abb. 4, Abb. 24) – auch in der Form des „Spülsacks“ (vgl. Abb. 7) – als ungeeignet eingeschätzt. Hier wurden vor allem Bedenken bezüglich der Arbeitssicherheit geäußert. **Versagt** der vorgeschriebene Verbau oder **das Absperrerelement** (z.B. Platzen) besteht für das im Untersuchungsobjekt tätige Personal **Verletzungs- und Lebensgefahr** (vgl. Kapitel 4.2.1). Demgegenüber erschien unter den gegebenen Randbedingungen eine **pneumatische Absperrscheibe** (Abb. 6) als Verschlusselement **geeignet**. Dieser Gerätetyp ist verbaubar und bei Versagen des umlaufenden Dichtungen wird das aufgestaute Abwasser zeitverzögert in den Sammler abgegeben. In Kapitel 4.2.2 wurde der Konstruktionsentwurf einer Absperrscheibe für Rohre mit Kreisprofil der Nennweite DN 1600 vorgestellt (vgl. Abb. 25). Die Herstellungskosten für ein derartiges Absperrerelement wurden auf ca. 24.000 € (netto) geschätzt. Da für das Untersuchungsobjekt nicht nur Rohre der Nennweite DN 1600 verwendet wurden, sondern der Kanal auf einer Länge von 3,25 km aus Rohren der Nennweite DN 1800 besteht, wäre es erforderlich gewesen, 2 Absperrscheiben zu bauen. Dadurch hätten sich die Herstellungskosten auf ca. 48.000 € verdoppelt. Im Rahmen von Vor-Ort-Einsätzen wären darüber hinaus Aufwendungen für den Ein- und Ausbau der Absperrerelemente entstanden. Vor diesem Hintergrund wurde dieser Vorschlag zur Vorflutsicherung im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie nicht umgesetzt.

- **Überleiten:** Für das Überleiten des Abwassers ist grundsätzlich der Einsatz von Tauchpumpen, selbstansaugenden **Pumpen oder Hebern** denkbar (vgl. Kapitel 2.3.2). Unter der Annahme einer Abwassermenge von 280 bis 400 l/s (vgl. Kapitel 5.2.3.1) hätten Schmutzwasserpumpen (vgl. Abb. 8) bzw. Schlamm- und Abwassertauchpumpen (vgl. Abb. 9) mit großen baulichen Abmessungen eingesetzt werden müssen. Um aufwendige Umbaumaßnahmen an den Schachtbauwerken zu vermeiden, wurde auf die Verwendung dieser Geräte verzichtet. So genannte selbstansaugende Pumpen werden im Gegensatz zu Tauchpumpen nicht innerhalb des Abwassers, sondern an der Geländeoberfläche aufgestellt, saugen das Fördermedium über eine oder mehrere Leitungen an und leiten es an die angeschlossene Druckleitung weiter. Daraus ergibt sich gegenüber Tauchpumpen der Vorteil, keine Umbaumaßnahmen an den Schachtbauwerken des Untersuchungsobjektes durchführen zu müssen. Abb. 10 c zeigt beispielhaft eine selbstansaugende Pumpe, deren maximale Förderleistung die oben angegebene Abwassermenge übertrifft. Unter der Annahme, dass das Paderborner Untersuchungsobjekt in 10 Inspektionsabschnitte von jeweils ca. 600 m Länge unterteilt werden kann, wurden die Kosten für die Miete sowie den Auf- und Abbau der technischen Einrichtungen (Pumpen, Stromaggregate, Druckleitungen aus Schnellkupplungsrohren) auf ca. 12.000 € (netto) pro Kalenderwoche abgeschätzt. In diesem Betrag sind keine Betriebskosten enthalten.

Für den Einsatz einer Heberanlage (vgl. Abb. 11) war ebenfalls mit erheblichen Kosten in Höhe von ca. 44.000 € pro Kalenderwoche zu rechnen. Etwa 90 % dieser Summe entfallen auf die Miete sowie die Montage und Demontage der Heberleitung (Stahlrohre der Nennweite DN 600 mit geflanschten Verbindungen).

Da beide denkbare Lösungen (Pumpe, Heber) somit mit erheblichen Aufwendungen verbunden gewesen wären, entschied sich der STEB Paderborn gegen Maßnahmen zum Überleiten des Abwassers zur Inspektion des Haupt-Schmutzwassersammlers.

- **Durchleiten:** Für das Durchleiten von Abwasser sind am Anfang und Ende des Kanalabschnittes Absperrlemente anzuordnen und eine Leitung zu verlegen (vgl. Kapitel 2.3.3, Abb. 12). Zum einen wurde jedoch der Einsatz von provisorischen Absperrlementen unter den gegebenen Randbedingungen verworfen (s.o.). Zum anderen würde die zu verlegende Leitung die Inspektion des Kanals behindern. Aus diesen Gründen wurde die Methode des Überleitens im vorliegenden Gesamtzusammenhang nicht weiter verfolgt.

Als Ergebnis der Betrachtungen zu Maßnahmen des Absperrrens, Überleitens und Umleitens war festzuhalten, dass sich die beschriebenen Varianten insbesondere mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit und Anforderungen aus der Arbeitssicherheit und als ungeeignet erwiesen, um das Paderborner Untersuchungsobjekt für den Zeitraum der Inspektion abwasserfrei zu halten.

Vor diesem Hintergrund wurde ein **alternatives Wasserhaltungskonzept** entwickelt, dessen **Ziel** es war, den **Wasserstand mit vertretbarem Aufwand so weit wie möglich abzusenken**. Dieses Konzept beinhaltete folgende operative und organisatorische Maßnahmen:

- das Absperrren eines der wesentlichen Zuläufe (ca. 100 l/s, vgl. Kapitel 5.2.3.1, Abb. 43) zum Haupt-Schmutzwassersammler mit Hilfe eines bestehenden Schiebers und die **Zwischenspeicherung** des zurückgehaltenen Abwassers in den Becken einer **Regenwasserbehandlungsanlage**, die insgesamt ca. 10.000 m³ Stauvolumen umfassen (vgl. Kapitel 5.2.3.6). Diese **Nutzung der RBA** wurde **mit** der zuständigen **Überwachungsbehörde abgestimmt** und unter der Auflage genehmigt, Abschlüge in den Vorfluter zu vermeiden. Der **Einstau** der Becken war somit **nur in Trockenwetterperioden zulässig**. Die temporäre Speicherung von mehreren Tausend Kubikmetern Abwasser bedeutete einen Eingriff in den Betrieb des Paderborner Entwässerungssystems, der im Vorfeld insbesondere die Absprache mit dem Betriebspersonal des GWK erforderlich machte. Auf diese Weise wurde festgestellt, dass sowohl der vorübergehende Rückgang der Zulaufmenge zum GWK während der Absperrung als auch der erhöhte Zulauf nach Aufhebung der Absperrung kein Problem für den Betrieb der Kläranlage darstellt. Zu beachten war jedoch, dass sich die abfließende Welle nicht mit dem morgendlichen Abflussmaximum überlagern sollte, um Rückstau im Haupt-Schmutzwassersammler zu vermeiden,
- die **Durchführung der Inspektionen** in den im Tages-Vergleich **zuflussarmen Nachtstunden** zwischen 0.00 Uhr und 6.00 Uhr und
- die **Abstimmung der Inspektionsarbeiten mit den Industriebetrieben**, die in der Regel auch nachts erhebliche Abwassermengen einleiten, um auf diese Weise Möglichkeiten zu identifizieren, vorübergehend Einleitungen zu vermeiden oder die Zulaufmenge temporär zu reduzieren (z.B. Produktionspausen, Zwischenspeicherung in betriebseigenen Becken).

5.3.3 Inspektion

In Kapitel 2.1 wurden unterschiedliche Geräte und Verfahren zur optischen Kanalinspektion vorgestellt. Über deren Eignung für den gegebenen Anwendungsfall entscheiden im Wesentlichen die Faktoren **Qualität der Inspektion, bauliche und betriebliche Randbedingungen** des Untersuchungsobjektes, **Anforderungen aus der Arbeitssicherheit** sowie **Ressourcen, Technik und Know-how** (vgl. Kapitel 5, Abb. 26).

Der Zustand des zu inspizierenden Abschnittes des Paderborner Hauptschmutzwassersammlers sollte, trotz des Umstandes, dass der Kanal mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit des Inspektionsvorhabens nicht vollständig abwasserfrei gehalten werden konnte (vgl. Kapitel 5.3.2), möglichst detailliert erfasst werden. Daraus leitete sich die Anforderung ab, mit der auszuwählenden Inspektionstechnik jede beliebige Station des Kanals ansteuern und aus nächster Nähe optisch untersuchen zu können. Daher wurden in der vorliegenden Pilotstudie zur Kanalinspektion keine Geräte eingesetzt, die stationär von Schächten aus operieren (vgl. Tab. 1, Abschnitt I). Im Rahmen der Ist-Aufnahme wurden die baulichen und betrieblichen Randbedingungen des Untersuchungsobjektes detailliert erfasst (vgl. Kapitel 5.2). Die Nennweiten von DN 1200, DN 1600 und DN 1800 lassen grundsätzlich sowohl den Einsatz von unbemannten als auch von bemannten Inspektionsverfahren zu. Einschränkungen des Auswahlpektrums hinsichtlich unbemannter Systeme ergaben sich zum einen dadurch, dass nicht alle der in Kapitel 2.1 vorgestellten Geräte auf dem deutschen Markt verfügbar waren (vgl. Tab. 1, Abschnitte II und III). Zum anderen lag ihr nennweitenbezogener Einsatzbereich nach Herstellerangaben zum Teil unterhalb der Anforderungen des Untersuchungsobjektes. Allerdings erschienen die Ansätze, fahrende oder schwimmende Roboter zur Inspektion des teilgefüllten Kanals zu verwenden, als grundsätzlich geeignet. Einem Einsatz des schwimmenden Schadenserkenntnisgerätes (SEK) – einer gemeinsamen Entwicklung der Emschergenossenschaft (Essen) und des Fraunhofer-Institut IFF (Magdeburg) – stand die im Vergleich zum Inspektionsgerät zu geringe Größe der Schachtbauwerke sowie ihrer Standardöffnungen (\varnothing 62,5 cm) entgegen. Für das Einbringen und Bergen des SEK in bzw. aus dem Kanal wären umfangreiche Umbaumaßnahmen an ausgewählten Schachtbauwerken notwendig gewesen, die mit Blick auf das Inspektionsbudget zu unverhältnismäßig hohen Kosten geführt hätten. Aus diesem Grund wurde auf den Einsatz dieses Systems im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie verzichtet.

Auch verschiedene bemannte Inspektionsverfahren schieden aus dem Auswahlpektrum aus. Auf der einen Seite wurden Taucher zur Zustandserfassung des Schmutzwassersammlers als ungeeignet eingeschätzt. Dies betraf zum einen den Einsatz von Tauchern. Diese Methode eignet sich u.U. für die Inspektion von Regenwasserkanälen, die unter ständigem Rückstau stehen. Unter dieser Voraussetzung kann die Rohrrinnenwand in Augenschein genommen werden. In Misch- oder Schmutzwasserkanälen dagegen ist dies aufgrund der Trübung des Mediums nicht möglich und der Einsatz von Tauchern dementsprechend nicht sinnvoll. Auf der anderen Seite schlossen die kreisförmigen Rohrquerschnitte den Einsatz der in Abb. 1 dargestellten Sonderkonstruktion einer Vorrichtung zur Inspektion und Instandhaltung von in Betrieb befindlichen Freispiegelkanälen aus, da dieser Prototyp für Rohre mit Ei-Profil gebaut worden war. Dem gegenüber

erschieden die Optionen einer Kanalbegehung (vgl. Kapitel 3.2.2) sowie einer bemannten Befahrung grundsätzlich umsetzbar (vgl. Tab. 2, Abschnitte I und II). Allerdings war dabei insbesondere die aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten unvermeidbare Rest-Teilfüllung des Kanals zu beachten sowie die glatte Oberfläche der Kunststoffinnenauskleidung der Rohre. Diese Faktoren beinhalteten neben weiteren Risiken, die mit dem Einstieg in abwassertechnische Anlagen verbunden sind, Gefahren für das im Kanal tätige Personal (vgl. Kapitel 4.1). Daher waren als Voraussetzung für den Einsatz dieser Inspektionsverfahren entsprechende Sicherheitsvorkehrungen zu treffen.

Als Ergebnis der im Rahmen der Inspektionsplanungen durchgeführten Betrachtungen zu Einsatzmöglichkeiten und -grenzen der in Kapitel 2.1 beispielhaft dargestellten Inspektionsverfahren wurden folgende Lösungsvarianten zur Zustandserfassung für Testeinsätze im Paderborner Haupt-Schmutzwassersammler ausgewählt (vgl. Abb. 54):

- fahrende Robotersysteme,
- schwimmendes Robotersystem,
- bemannte Kanalbefahrung und
- Kanalbegehung.



a) Inspektionstechnik I:
Argus 4¹ mit Fahrgestell²
für Großrohre, Foto: IKT



b) Inspektionstechnik II:
Argus 4¹ mit Fahrwagen-
zusatz¹, Foto: IKT



c) Inspektionstechnik III:
Tractor P448³,
Foto: IKT



d) Inspektionstechnik IV:
Argus 4¹ mit Schwimmfloß⁴,
Foto: IKT



e) Inspektionstechnik V:
Fahrwagen⁵ und Hand-
kamera Cerberus¹, Foto: IKT



f) Inspektionstechnik VI:
Kanalbegehung⁶,
Foto: IKT

Abb. 54: Ausgewählte Geräte und Techniken zur optischen Inspektion des Paderborner Haupt-Schmutzwassersammlers

| | | |
|---|-------------|--|
| 1 | Hersteller: | IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG, Kiel |
| 2 | Hersteller: | Pader Kanal Technik - Rohr Frei GmbH & Co. KG, Paderborn-Sennelager, |
| 3 | Hersteller: | Radiodetection Ltd., Bristol (United Kingdom) |
| 4 | Hersteller: | Lönne Entsorgung GmbH & Co. KG, Lippstadt |
| 5 | Hersteller: | Tauchunternehmen und Apparatebau Hirt, Koblenz |
| 6 | Firma: | ISAS GmbH, Füssen |

Abb. 54 zeigt **insgesamt sechs Inspektionstechniken**, die im Rahmen von Praxistests zur optischen Zustandserfassung des Untersuchungsobjektes eingesetzt wurden. Darunter befanden sich **drei fahrende Robotersysteme**, wie sie in ähnlicher Art auch bei der Inspektion von nicht-begehbaren Kanälen üblich sind, **ein schwimmendes Robotersystem** sowie **jeweils eine technische Lösung zur bemannten Befahrung bzw. Kanalbegehung**. Die Beschreibung der In-situ-Inspektionen und die Erläuterung der dabei gewonnenen Erkenntnisse enthält Kapitel 5.4.

5.4 Umsetzung

Im Vorfeld der Testeinsätze der für das Paderborner Untersuchungsobjekt ausgewählten Inspektionsverfahren wurden alle 48 Schächte des Untersuchungsobjektes durch Mitarbeiter des STEB Paderborn angefahren, um sowohl ihre Lage anhand von Luftbildern zu identifizieren als auch anschließend ihre Position zur Erleichterung der Auffindbarkeit im Rahmen der ausschließlich nachts durchzuführenden Inspektionseinsätze gut sichtbar zu markieren. Darüber hinaus wurde die Zugänglichkeit der Schachtbauwerke überprüft. Bei der Ortsbegehung mussten teilweise Suchgeräte eingesetzt werden, um in landwirtschaftlichen Nutzflächen liegende Schachtöffnungen, die im Rahmen der Feldbearbeitung bis zu 20 cm verschüttet worden waren, auffinden zu können. Die Deckel der freiliegenden bzw. freigelegten Schächte wurden teilweise geöffnet. Dies war insbesondere bei verschraubten Abdeckungen aufgrund von Korrosion zum Teil mit erhöhtem Aufwand verbunden. Mit der Freilegung von insgesamt 3 Schächten, die im Zuge des Baus eines Radweges um bis zu 1,0 m Höhe überschüttet worden waren (vgl. Kapitel 5.2.2.2, Abb. 36), wurde eine Fremdfirma beauftragt.

Zur **Vorbereitung** der Inspektionseinsätze in Paderborn war die Durchführung weiterer **operativer und organisatorischer Maßnahmen** erforderlich:

- **Inspektionsfirmen:** Es wurden Firmen identifiziert und beauftragt, die sowohl über die entsprechenden Inspektionsgeräte verfügen als auch über Praxiserfahrungen aus Einsätzen in abwassertechnischen Anlagen.
- **Einsatzort:** Sowohl der Untersuchungsabschnitt als auch die Zugangsschächte wurden in Abhängigkeit des Inspektionsverfahrens und der Befahrbarkeit des Untergrundes in der Umgebung der Schachtbauwerke ausgewählt.
- **Terminabstimmung:** Vor dem Hintergrund der Minimierung des Wasserstandes konnte die Kanalinspektion nur nachts und bei Trockenwetter durchgeführt werden. Diese beiden Faktoren beeinflussten die Terminabstimmung. So musste die Durchführung von Nachteinsätzen bei den **Kapazitätsplanungen** (Personal- und Technikressourcen) des **STEB Paderborn** (Abteilung Kanalbetrieb) und der **Inspektionsfirma** berücksichtigt werden. Die konkrete **Terminplanung erforderte** von den Beteiligten ein hohes Maß an

Flexibilität, da **Wettervorhersagen** in der Regel **nur für einen Zeitraum der kommenden 2 bis 3 Tage eine ausreichende Genauigkeit aufweisen**. Eine derartig kurzfristige und speziell für die Region Paderborn gültige Wettervorhersage wurde erst dann beim Deutschen Wetterdienst (DWD) eingeholt, wenn Hinweise von Online-Diensten über mittelfristige Wetterentwicklungen (10-Tage-Trends) eine Trockenwetterperiode in Aussicht stellten.

- Ankündigung der Inspektionsarbeiten:** Nach der Terminabstimmung wurden innerhalb der zur Verfügung stehenden Frist von maximal 3 Arbeitstagen zahlreiche Personen über die Durchführung der Kanalinspektion informiert. Dazu zählten zum einen die **Betriebsführer der Industriebetriebe**, die in der Regel auch nachts erhebliche Wassermengen in den Paderborner Haupt-Schmutzwassersammler einleiten. Die Ansprechpartner wurden gebeten, die Einleitungsmengen für den Zeitraum der Kanalinspektion, d.h. zwischen 22.00 und 6.00 Uhr, zu minimieren. Zum anderen wurde das **Betriebspersonal des GWK** in Kenntnis gesetzt, da von dort aus die RBA überwacht wurde und im Notfall (z.B. Sturz und Abtreiben einer im Kanal tätigen Person) auch das Schneckenpumpwerk, mit dessen Hilfe das Schmutzwasser aus dem Untersuchungsobjekt in das GWK gefördert wird, kurzfristig außer Betrieb genommen werden konnte. Darüber hinaus wurden die **Grundstückseigentümer** informiert, auf deren Gelände die als Zugang zum Kanal ausgewählten Schachtbauwerke lagen. In Kenntnis gesetzt wurde auch die zuständige **Polizeidienststelle**, damit diese auf eventuelle Anfragen von Bürgern, denen die ungewöhnlichen, nächtlichen Aktivitäten auffielen, reagieren konnte.

Jeder der **insgesamt 10 Nachteinsätze** begann um **22.00 Uhr** mit dem **Schließen eines Schiebers auf dem Gelände der RBA** (vgl. Abb. 55), mit dessen Hilfe einer wesentlicher Teil, der dem Untersuchungsobjekt zufließenden Schmutzwassermengen temporär zurückgehalten werden konnte (vgl. Kapitel 5.3.2). Diese Maßnahme wurde mit dem Dienst habenden Klärwerksmeister auf der Leitstelle des GWK abgestimmt, der auch während der gesamten Dauer der Inspektionsarbeiten die Einstauhöhen der RBA-Becken überwachte.



a) Spindel mit aufgesetzter Bohrmaschine b) Schieber geschlossen

Abb. 55: Schließen des Schiebers auf dem Gelände der RBA, Fotos: IKT

Nach der **Vorbesprechung des Inspektionseinsatzes** zwischen Vertretern des STEB Paderborn und des jeweiligen Auftragnehmers wurde das als Zugang zum vorgesehenen Untersuchungsabschnitt ausgewählte Schachtbauwerk angefahren. Während der Arbeitsvorbereitungen der Inspektionsfirma **reinigte** ein Mitarbeiter des Kanalnetzbetreibers zunächst die **Steigeisen** mit Hilfe eines Hochdruckwasserstrahles (vgl. Abb. 56 a). Nach dem Aufstellen eines Dreibeins über der Schachtöffnung stieg der STEB-Mitarbeiter, gesichert und unter kontinuierlicher Überwachung der Kanalatmosphäre mit Hilfe eines Gaswarngerätes, in das Bauwerk ein und **beseitigte die Ablagerungen auf den Bermen** (vgl. Abb. 56 b, c).



a) Reinigung der Steigeisen b) Aufstellen eines Dreibeins c) Reinigung der Bermen

Abb. 56: Reinigung eines ausgewählten Zugangsschachtes, Fotos: IKT

Damit war die Voraussetzung geschaffen, um im Anschluss zwischen den parallel angeordneten Aufritten eine **provisorische Arbeitsplattform** für die Inspektionsfirma zu installieren. Dazu wurden mehrere **Holzbohlen der Abmessungen 2000x200x60 mm (LxBxH)** verwendet. Abb. 57 a zeigt das Anreichen der Holzbohlen an den im Schacht tätigen STEB-Mitarbeiter, der die einzelnen Elemente, wie in Abb. 57 b als Ergebnis dargestellt, nebeneinander anordnete.



a) Einbringen der Holzbohlen b) Arbeitsplattform aus 4 Holzbohlen

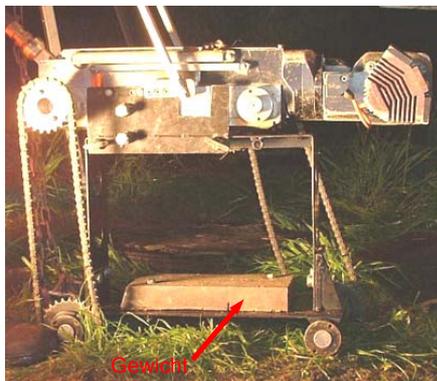
Abb. 57: Einbau einer Arbeitsplattform in den Zugangsschacht, Fotos: IKT

In den folgenden Abschnitten werden die Vor-Ort-Einsätze der Verfahren beschrieben, die im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie für die optische Inspektion des Paderborner Untersuchungsobjektes ausgewählt wurden.

5.4.1 Inspektionstechnik I: Fahrender Roboter A

a) Technik

Im vorliegenden Kapitel wird ein selbstfahrender Roboter vorgestellt, der sich im Wesentlichen aus zwei Komponenten zusammensetzt. Dabei handelt es sich zum einen um eine **Dreh-Schwenkkopf-Kamera des Typs Argus 4** der IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG (Kiel) inklusive Antriebseinheit. Die maximale Hubhöhe des Kamerakopfes wird vom Hersteller mit 175 mm angegeben (vgl. [17]). Die zweite Komponente, ein **nicht lenkbares Fahrgestell**, wurde nach Angaben der Pader Kanal Technik – Rohr Frei GmbH & Co. KG (Paderborn) mit Blick auf die Inspektion von Rohren der Nennweiten DN 1000 bis DN 2000 konzipiert (vgl. [20]). Es ist mit einem niedrig positionierten Zusatzgewicht versehen, um die Lagestabilität des Roboters zu erhöhen. Zur weiteren Verminderung der Kippgefahr können an die Achsen des Fahrgestelles, die jeweils über eine Kette mit der Antriebseinheit verbunden sind, Bauelemente zur Spurverbreiterung angebracht werden. In Paderborn kamen zwei Fahrgestelle unterschiedlicher Höhe zum Einsatz: 300 mm (vgl. Abb. 58 a) und 100 mm (vgl. Abb. 58 b).



a) Fahrgestell 1: 300 mm hoch



b) Fahrgestell 2: 100 mm hoch

Abb. 58: Kamera Argus 4* auf Fahrgestellen für Großrohre der Fa. Pader Kanal Technik – Rohr Frei GmbH & Co. KG, Fotos: IKT

* Hersteller: IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG

b) Einsatzbeschreibung

Der Einsatzbereich des Roboters A umfasste den Abschnitt des Untersuchungsobjektes, der auf Höhe der Straße „Rellerbusch“ beginnt und an der Messstelle „Holthof“ endet (vgl. Kapitel 5.4.7, Abb. 77 a und b). Das Teilstück besteht aus 9 Haltungen der Nennweite DN 1600, 7 Haltungen der Nennweite DN 1800 und beinhaltet drei Richtungswechsel (1x50 Grad und 2x60 Grad). Von den insgesamt 17 Schächten waren **nur 6 anfahrbar**. Dies hatte zur Folge, dass **ein Teil der zu inspizierenden Haltungen nicht gereinigt** werden konnte. Da genaue Kenntnisse der Ablagerungssituation fehlten und hohe Fließgeschwindigkeiten, insbesondere im Bereich des Dimensionswechsels von DN 1600 auf DN 1800 beobachtet worden waren, bestanden arbeitssicherheitstechnische Bedenken gegenüber Kanalbegehungen. Die Verteilung der anfahrbaren Schächte erforderte die Aufteilung des insgesamt ca. 2.000 m langen Sammler-Teilstücks in Inspektionsabschnitte, von denen ein Teil in und ein Teil gegen die Fließrichtung untersucht werden musste. Für

Inspektionstechniken ohne eigenen Antrieb, wie z.B. den schwimmfähigen Roboter (vgl. Abb. 54 d) und den bemannten Fahrwagen (vgl. Abb. 54 e), fehlten geeignete Standorte für die Positionierung von Winden. **Als einzige Möglichkeit zur Inspektion des Untersuchungsabschnittes erschien daher der Einsatz eines fahrenden Roboters sinnvoll.**

Beim ersten Vor-Ort-Einsatz wurde ein 300 mm hohes Roboter-Fahrgestell verwendet (Abb. 58 a). Im einsatzfähigen Zustand, d.h. vollständig montiert, hätte das Inspektionsgerät jedoch nicht durch die mit Öffnungen der Standardgröße ausgestatteten Zugangschächte in den Kanal abgesenkt werden können. Aus diesem Grund war es notwendig, nach dem Zusammenbau des Fahrgestelles (vgl. Abb. 59 a), einzelne Komponenten des Roboters (u.a. die Räder) erst im Schacht zu montieren (vgl. Abb. 59 b). Dabei wurde eine im Schacht installierte, provisorische Arbeitsplattform genutzt. Der im Schacht tätige Mitarbeiter unterstützte im letzten Vorbereitungsschritt auch die Positionierung des Inspektionsgerätes im Gerinne (vgl. Abb. 59 c).



a) Fahrgestell-Montage



b) Montage eines Rades



c) Roboter im Schachtgerinne

Abb. 59: Einsatz der fahrenden Roboters A mit Gestell der Höhe 300 mm, Fotos: IKT

Beim zweiten und dritten Vor-Ort-Einsatz des Inspektionstechnik I wurde mit der Zielsetzung, Montagearbeiten in den Zugangsschächten zu vermeiden, ein mit 100 mm Höhe deutlich niedrigeres Fahrgestell verwendet (vgl. Abb. 58 b). Es stellte sich jedoch heraus, dass der Roboter trotz dieser Modifikation nur mit zwei montierten Rädern in den Kanal abgesenkt werden konnte (vgl. Abb. 60 a). Ursache hierfür waren nicht die Größe der Schachtöffnungen, sondern einragende Steigeisen. Aus diesem Grund bestand nach wie vor die Notwendigkeit, Bauteile des Inspektionsgerätes im Schacht zu montieren. In einem Fall führte dies zu einer 30-minütigen **Verzögerung**, da nicht nur der Einstieg in den Schacht erforderlich war, sondern kurzfristig ein **kritischer H₂S-Wert gemessen** wurde und daher Maßnahmen zum Arbeiten unter Atemschutz eingeleitet werden mussten (vgl. Abb. 60 b).



a) Absenken des Roboters

b) Radmontage unter Atemschutz

Abb. 60: Einsatz des fahrenden Roboters A mit Gestell der Höhe 100 mm, Fotos: IKT

Im Rahmen der drei durchgeführten Nachteinsätze wurden 16 Haltungen bei **Wasserstandshöhen** zwischen **20 bis 25 cm** (DN 1600) **bzw. 25 bis 30 cm** (DN 1800) inspiziert. Dabei dauerte die Untersuchung durchschnittlich ca. 15 Minuten bezogen auf 100 m lange Kanalabschnitte. Bei drei Haltungen nahm die Inspektion jedoch mit 25 bis 30 Minuten je 100 m erheblich mehr Zeit in Anspruch. Bereits während der Befahrung dieser Abschnitte wurde deutlich, dass sich der **Roboter** trotz maximaler Vortriebskraft nur **sehr langsam fortbewegte** und seine **Räder durchdrehten**. Nach Ansicht der Inspektoren ließen diese Beobachtungen auf **Sand-Ablagerungen bzw. Sielhaut im Sohlbereich** schließen. Diese Vermutung lag nahe, denn diese Haltungen gehörten zu denen, die im Vorfeld der Inspektion nicht gereinigt werden konnten. In einem Fall stand diese Situation jedoch nicht im Zusammenhang mit der Anfahrbarkeit der Schächte, sondern war die Folge eines **Defektes an einem Spülfahrzeug**, das zeitgleich zur Inspektionsmaßnahme zur Reinigung des zu untersuchenden Kanalabschnittes im Einsatz war. Die notwendigen Ersatzteile waren nachts nicht verfügbar. Daher konnten Arbeiten zur Beseitigung der Ablagerungen nicht wie ursprünglich geplant durchgeführt werden. In der Folge ergaben sich zunächst die o.g. Verzögerungen bei der Inspektion. Aufgrund der niedrigen Untersuchungsgeschwindigkeit und der hohen Betriebsbelastungen für das Inspektionsgerät wurde der Nachteinsatz in Abstimmung mit den Beteiligten abgebrochen.

c) Ergebnis

Die Inspektionstechnik I kam in drei Nachteinsätzen, die zwischen 5 und 6 Stunden dauerten, zur Anwendung. Dabei wurden **insgesamt 1.994 m** des Paderborner Haupt-Schmutzwassersammlers **inspiziert**. Es zeigte sich, dass **Ablagerungen** (z.B. Sand, Sielhaut) den Vortrieb des Roboters behindern und damit eine **Einsatzgrenze** darstellen können. Für Kurvenbauwerke gilt diese Einschätzung dagegen nicht grundsätzlich, denn obwohl der Roboter nicht lenkbar ist, gelang es dem Inspekteur unter den gegebenen Randbedingungen, das Gerät durch ein Schachtbauwerk mit einem Richtungswechsel von 60 Grad zu rangieren. Weder in diesem noch in anderen Bereichen wurden Querneigungen des Roboters beobachtet, die eine Kippgefahr hätten bedeuten können.

Mit Hilfe der Scheinwerfer des Roboters wurde der Gasraum bis zu einer Entfernung von ca. 8,0 m – dies entspricht etwa drei Rohrlängen – ausgeleuchtet. Bauwerkdetails wie z.B.

Seiteneinläufe oder Rohrverbindung konnten durch Schwenken der Kamera und Nutzung des Zooms aufgenommen werden. Um den Kanal detailliert, d.h. auch mit Blick auf kleine Schäden, untersuchen zu können, hätten diese Funktionen flächendeckend eingesetzt werden müssen.

5.4.2 Inspektionstechnik II: Fahrender Roboter B

a) Technik

Bei der zweiten Inspektionstechnik handelte es sich ebenfalls um einen fahrenden Roboter. Dessen Aufbau wies große Ähnlichkeiten mit dem des Roboters A auf. Er bestand aus einer **Dreh-Schwenkkopf-Kamera des Typs Argus 4**, montiert auf einem **Fahrwagen für Großrohre**, der keine Lenkung besitzt (vgl. Abb. 61). Beide Komponenten werden von der IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG (Kiel) produziert. Nach Angaben des Herstellers ist diese Gerätekombination für Rohre bis zu einer Nennweite von DN 2000 geeignet (vgl. [17]). Die Kraft der Antriebseinheit wird über Ketten, die zum Schutz vor Verschmutzung hinter einer Verkleidung angeordnet sind, auf die beiden Achsen des Fahrwerkes übertragen. Ein unter dem Fahrwagen positioniertes Gewicht dient der Reduzierung der Kippgefahr.



a) Ansicht von der Seite

b) Gesamtansicht

Abb. 61: Kamera Argus 4* auf Großrohr-Fahrwagen*, Fotos: IKT

* Hersteller: IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG

b) Einsatzbeschreibung

Der fahrende Roboter B wurde von der Lönne Entsorgung GmbH & Co. KG (Lippstadt) in dem Kanalabschnitt eingesetzt, der sich vom Zulauf „Verner Straße“ bis zur der Ausfahrt der Autobahn A33 erstreckt (vgl. Kapitel 5.4.7, Abb. 77 a) und aus Rohren der Nennweite DN 1600 besteht. Die baulichen und betrieblichen Randbedingungen dieses ca. 800 m langen und aus 8 Haltungen bestehenden Untersuchungsabschnittes wurden bezüglich der Inspektion als schwierig eingeschätzt. Nur drei Schächte lagen innerhalb oder in der Nähe befestigter Flächen. Die anderen **sechs Schächte** waren **weder von Spül- noch von Inspektionsfahrzeugen anfahrbar** (vgl. Kapitel 5.2.2.2, Abb. 37, Abb. 39). Daher konnten zum einen nur in einem Teil der Haltungen die Ablagerungen beseitigt werden. Zum anderen musste bei den Inspektionsplanungen berücksichtigt werden, dass innerhalb eines ca. 500 m langen Kanalabschnittes keiner der vorhandenen Schächte zugänglich war. Voraussetzung für den Einsatz des schwimmfähigen Roboters und für die bemannte Kanalbefahrung ist die

Installation einer Zugvorrichtung, um das Floß bzw. den Fahrwagen durch den Kanal zu ziehen. Die maximale Zugseillänge betrug in beiden Fällen 300 m. Damit schieden diese Techniken unter den gegebenen Randbedingungen aus. Diese Entscheidung galt auch für die Kanalbegehung, da aufgrund der Unsicherheiten bzgl. der Ablagerungssituation arbeitssicherheitstechnische Bedenken bestanden. Als **einzige Möglichkeit zur Inspektion** des Untersuchungsabschnittes erschien daher der **Einsatz eines fahrenden Roboters sinnvoll**.

Nach Erreichen des ausgewählten Zugangsschachtes wurde der **Roboter an der Geländeoberfläche vollständig montiert**. In Abb. 62 ist eine Auswahl der dazu notwendigen Arbeitsschritte dargestellt. Zunächst wurden an dem Gestell des Großrohr-Fahrwagens die Räder und das Gewicht befestigt. Danach folgte die Montage der Kamera- und Antriebseinheit. Zuletzt wurden die Ketten über die Antriebsachsen gelegt und vorgespannt sowie die Kabelverbindung zwischen dem Roboter und dem Inspektionsfahrzeug hergestellt.



a) Gestell des Großrohr-Fahrwagens



b) Montage der Räder und des Gewichtes



c) Montage der Kamera- und Antriebseinheit

Abb. 62: Zusammenbau des fahrenden Roboters B in Paderborn, Fotos: IKT

Im Anschluss an diese Vorbereitungen wurde das Inspektionsgerät in den Zugangsschacht abgesenkt. Dieses Vorhaben gelang beim ersten Schacht (S 6316 0001) zunächst nicht, obwohl die Geräteabmessungen vorab mit dem Durchmesser der Schachöffnung verglichen worden waren (vgl. Abb. 63 a). Als **Grund des Fehlversuches** stellten sich **ungünstig angeordnete Steigeisen** heraus. In der Folge kam es zu zeitlichen Verzögerungen, da zwei Räder und die Beleuchtungseinheit demontiert werden mussten, um den Roboter in das Schachtbauwerk absenken zu können. Anschließend stieg ein Mitarbeiter der Inspektionsfirma in den Kanal ein, stellte dort die Einsatzfähigkeit des Gerätes wieder her und positionierte es im Gerinne. Im Gegensatz dazu gelang das Absenken des Roboters am zweiten Zugangsschacht im vollständig montierten Zustand (vgl. Abb. 63 b).



a) Schacht 1 (S 6316 0001):
Steigeisen behindern den Zugang

b) Schacht 2 (S 7303 0021):
Roboter kann abgesenkt werden

Abb. 63: Absenken des Roboters durch Standardschachtöffnungen (\varnothing 62,5 cm), Fotos: IKT

Bei der Durchführung der Inspektionsarbeiten konnte der erste Kanalabschnitt, der insgesamt 290 m lang war und darüber hinaus zwei **Richtungswechsel von 25 Grad bzw. 50 Grad** aufwies, ohne Probleme in Fließrichtung untersucht werden. Dieser Vorgang dauerte insgesamt ca. 1 Stunde. Im Gegensatz dazu kam es in den beiden anderen Kanalabschnitten zu Schwierigkeiten. Diese bestanden zunächst in **zeitlichen Verzögerungen**, da die **Inspektionsgeschwindigkeit** trotz maximaler Antriebskraft des Roboters nur sehr **gering** war. So nahm beispielsweise die Befahrung einer ca. 90 m langen Haltung in Fließrichtung 30 Minuten in Anspruch. Dabei zeigten die Videobilder, dass die **Räder des Roboters durchdrehten**. **Als Ursache** wurden **Ablagerungen vermutet**, da diese Haltungen im Vorfeld der Inspektion aufgrund fehlender befestigter Zufahrtswege zu den Schächten nicht gespült werden konnten. Eine Bestätigung dieser Annahme durch Inaugenscheinnahme der Rohrsohle war aufgrund der **Wasserstandshöhe von 20 bis 30 cm** jedoch nicht möglich. Allerdings berichtete der Mitarbeiter der Inspektionsfirma, der in den Kanal einstieg, um den Roboter im Gerinne zu positionieren bzw. dessen Bergung aus dem Schacht vorzubereiten, von bis zu 15 cm hohen Ablagerungen, die er mit den Füßen ertastet hatte. Als Beispiele legte er einen Bohrkern und eine Metallstange auf die Berme (vgl. Abb. 64).

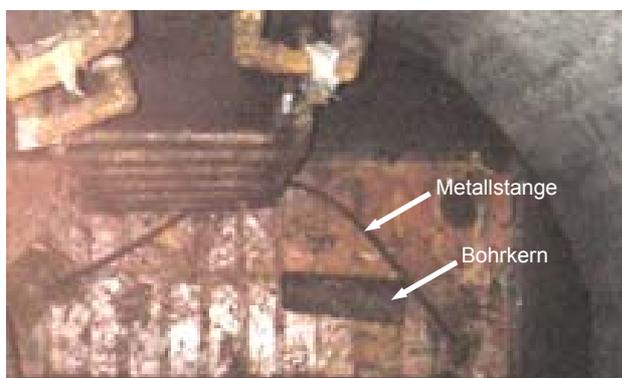


Abb. 64: Beispiele für Ablagerungen im Untersuchungsobjekt, Foto: IKT

Die Inspektionen des zweiten und dritten Kanalabschnittes konnten nicht vollständig ausgeführt werden. In einem Fall war der Roboter im Kanal umgekippt und musste unter hohem Zeitaufwand geborgen werden. Im anderen Fall kam der Roboter trotz maximaler Antriebskraft zum Stillstand.

c) Ergebnis

In zwei Nacheinsätzen, die jeweils ca. 5 Stunden dauerten, wurden insgesamt **474 m** des Untersuchungsobjektes **inspiziert**. Dabei gelang es dem Inspekteur, den Roboter trotz fehlender Lenkung durch zwei Kurvenbauwerke zu rangieren, die Richtungswechsel von 25 Grad bzw. 50 Grad aufwiesen. Im Gegensatz dazu konnten – vermutlich aufgrund von Ablagerungen – **ca. 320 m nicht untersucht** werden. In diesen Bereichen wurden die **Einsatzgrenzen des Inspektionsgerätes erreicht**.

Da der fahrende Roboter B, wie auch der Roboter A (vgl. Kapitel 5.4.1), mit einer Kamera des Typs Argus 4 ausgestattet war, wurde im vorliegenden Untersuchungsabschnitt eine ähnliche Ausleuchtung des Gasraumes erzielt. Während der Befahrung war die Kameraoptik – mit Ausnahme der stichprobenartigen Erfassung von z.B. Rohrverbindungen – überwiegend in Richtung der Rohrlängsachse ausgerichtet, so dass der gesamte Rohrquerschnitt im Blickfeld lag. Allerdings sind bei dieser Einstellung Details der Rohrwandung oder kleine Schäden kaum bzw. nur schwer zu erkennen. Um dies zu erreichen, hätten die Kamerafunktionen Drehen, Schwenken und Zoomen intensiver genutzt werden müssen.

5.4.3 Inspektionstechnik III: Fahrender Roboter C

a) Technik

Als drittes Robotersystem wurde ein TV-Inspektionsgerät der Firma Radiodetection (Bristol, UK) mit der Bezeichnung „**Tractor P448**“ eingesetzt, das nach Herstellerangaben u.a. über folgende Eigenschaften und Funktionen verfügt (vgl. [18]): Der auch als explosionsgeschützte Version lieferbare Roboter besitzt ein Eigengewicht von ca. 100 kg und ist für Kanäle der Nennweiten DN 400 bis DN 2300 geeignet. Sein Aktionsradius beträgt in Abhängigkeit der Länge des verwendeten Strom- und Datenkabels maximal 600 m. Auf dem lenkbaren Fahrwagen ist ein Lift montiert, mit dessen Hilfe die Optik- und Beleuchtungseinheit stufenlos in vertikaler Richtung bewegt werden kann, um ihre Höhenlage an die jeweilige Rohrdimension anzupassen (vgl. Abb. 65). Die maximale Hubhöhe wird mit 1,0 m angegeben. Für den Roboter stehen zwei verschiedene Kameraköpfe zur Verfügung. Die Standardversion bildet eine Dreh-Schwenkkopf-Kamera. Das im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie eingesetzte Modell war dagegen mit einer Dreh-Schwenkkopf-Zoom-Kamera (maximal 70-facher Zoom-Faktor) ausgerüstet und verfügte darüber hinaus auch über einen Neigungssensor. Im Gegensatz zu den Robotern A und B handelte es sich hierbei um ein Vorführgerät, das im Regelfall auf Messen präsentiert wird. Vor-Ort-Anwendungen im Kanal, wie in Paderborn, stellen eher die Ausnahme dar. Trotzdem konnte der Hersteller für einen Demonstrationseinsatz des Roboters gewonnen werden.



a) Kamerakopf angehoben



b) Kamerakopf abgesenkt

Abb. 65: TV-Inspektionsroboter „Tractor P448“ der Fa. Radiodetection, Fotos: IKT

b) Einsatzbeschreibung

Bei dem in unmittelbarer Nähe zur Messstelle „Holthof“ stattfindenden Vor-Ort-Termin (vgl. Kapitel 5.4.7, Abb. 77 b) diente ein ca. 5,3 m tiefer **Tangentialschacht mit Standardöffnung** (Ø 62,5cm) als **Zugang zum Kanal** (vgl. Abb. 66 a). Die an dieses Schachtbauwerk angrenzenden Haltungen bestehen aus Rohren der Nennweite DN 1800. Nach Auswertung der Daten der Messstelle „Holthof“ betrug die **Wasserstandshöhe** im Rahmen des einstündigen Robotereinsatzes **ca. 30 cm**. Da sich die Schachtöffnung nur ca. 2,0 m von einer Straße entfernt befindet, konnte sie direkt durch das Inspektionsfahrzeug angefahren werden (vgl. Abb. 66 b). Aufgrund des geringen Durchmessers der Schachtöffnung war es erforderlich, den Roboter um 90 Grad gekippt in den Kanal abzusenken. Diese Neigung konnte jedoch mit dem zur Verfügung stehenden Transporthaken des Inspektionsfahrzeuges nicht realisiert werden. Daher wurde als provisorisches Befestigungsmittel ein Seil verwendet (vgl. Abb. 66 c). Auf diese Weise war es möglich, den Roboter – bei vollständiger Absenkung des Kamerakopfes (vgl. Abb. 65 b) – im einsatzfähigen Zustand durch die Standardschachtöffnung in den Kanal abzulassen. Um das ferngesteuerte Inspektionsgerät im Gerinne zu positionieren und das provisorische Befestigungsmittel zu lösen, stieg ein Mitarbeiter des STEB Paderborn, angeseilt und unter kontinuierlicher Überwachung der Kanalatmosphäre mit Hilfe eines Gaswarngerätes, in den Schacht ein (vgl. Abb. 66 d).



a) tangentialer Zugangsschacht, Schachtöffnung Ø 62,5cm



b) Inspektionsfahrzeug



c) provisorisches Befestigungsmittel d) Positionierung des Roboters und Lösen des Befestigungsmittels

Abb. 66: Einsatz des Roboters „Tractor P448“ in Paderborn, Fotos: IKT

c) Ergebnis

Der Nachteinsatz des Roboters dauerte inklusive der notwendigen Vor- und Nacharbeiten insgesamt 2,5 Stunden. Die in Fließrichtung durchgeführte **Inspektion des ca. 84 m langen Kanalabschnittes** nahm ca. 20 Minuten in Anspruch. Das dabei entstandene Bildmaterial zeigte eine vollständige Ausleuchtung des Gasraumes bis zu einer Entfernung von ca. 5-6 Rohrlängen vom Roboter. Dies entsprach in Anbetracht der Baulänge von 2,5 m (vgl. Kapitel 5.2.3.3) einer Distanz von ca. 12 bis 15 m. Im Rahmen des Vor-Ort-Einsatzes wurde die Lagestabilität des Roboters aufgrund von zwei parallel auftretenden Faktoren negativ beeinflusst. Dazu zählte auf der einen Seite der Wasserstand in Verbindung mit der im Zeitraum der Inspektion (zwischen 1.00 und 2.00 Uhr) noch hohen Fließgeschwindigkeit des Abwassers. Auf der anderen Seite wies der Roboter einen hohen Schwerpunkt auf, da die Kamera- und Beleuchtungseinheit aufgrund der erforderlichen Anpassung an den Rohrquerschnitt (DN 1800) durch den Inspekteur auf ca. 90 cm Höhe angehoben worden war.

5.4.4 Inspektionstechnik IV: Schwimmfähiger Roboter

a) Technik

Neben den drei fahrenden Robotern wurde im Paderborner Untersuchungsobjekt auch ein schwimmfähiger Roboter eingesetzt. Es bestand aus einer **Inspektionskamera des Typs Argus 4, montiert auf einem Floß** (vgl. Abb. 67 a). Die beiden Auftriebskörper setzten sich aus marktüblichen Kunststoffrohren zusammen. An der Unterseite der beiden Rumpfe war über die gesamte Länge von ca. 1,9 m jeweils ein Metallstreifen montiert, um ebene Auflagerflächen zu schaffen und den Kunststoff vor Abrieb zu schützen (vgl. Abb. 67 b). Als Verbindungsmittel zwischen den Rumpfen dienten zwei, in horizontaler Richtung teleskopierbare Bauelemente. Auf diese Weise konnte die Breite des Floßes – in Abb. 67 ca. 60 cm – an den Durchmesser des Kanals angepasst werden. Nach Angaben der Fa. Lönne (vgl. [28]) weist das Inspektionsgerät ein Gesamtgewicht von ca. 40 kg auf und ist in Rohren der Nennweiten DN 1000 bis DN 2000 einsetzbar. Das Floß verfügt über keinen eigenen Antrieb. Es bewegt sich in Abhängigkeit der betrieblichen Randbedingungen des

Kanals (Wasserstandshöhe, Strömungsgeschwindigkeit) entweder durch die Energie des Abwassers durch das Untersuchungsobjekt oder es wird mit Hilfe eines Seils gezogen.



a) Gesamtansicht des Systems, LxB: 1900x600 mm

b) Unterseite des Floßes

Abb. 67: Kamera Argus 4* auf Floß der Fa. Lönne, Foto: IKT

* Hersteller: IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG

b) Einsatzbeschreibung

Der schwimmfähige Roboter wurde im Anfangsabschnitt des Untersuchungsobjektes eingesetzt. Dieser Teil der Kanalstrecke verläuft vom Zulauf „Im Quinhagen“ durch die Auen des Flusses „Alme“ bis zum Zulauf „Verner Straße“ (vgl. Kapitel 5.4.7, Abb. 77 a) und besteht mit Ausnahme der Flussunterquerung aus Rohren der Nennweite DN 1600. Die Kombination aus „Argus 4“ und Floß wurde aus mehreren Gründen gewählt. Zum einen fließen am Zulauf „Im Quinhagen“ auch nachts bedeutende Mengen industriellen Abwassers in den Sammler und an dieser Stelle wurden bei der im Vorfeld durchgeführten Trassenbegehung mehrfach kritische Gaskonzentrationen gemessen. Zum anderen konnten die im Bereich der Fluss-Auen verlaufenden Haltungen, wegen fehlender befestigter Anfahrtswege zu den dort liegenden Schächten, nicht gereinigt werden. Aus diesen Randbedingungen leiteten sich nicht nur Unsicherheiten bezüglich des Einsatzes von fahrenden Inspektionsrobotern ab (z.B. Gefahr des Umkippens und Stecken-Bleibens), sondern insbesondere auch erhebliche Risiken für im Kanal tätiges Personal. Von den vorher ausgewählten Inspektionsverfahren (vgl. Kapitel 5.3.3) schieden daher im vorliegenden Fall alle bis auf das schwimmende System aus.

Die Einsatzplanung sah vor, den Kanal in Fließrichtung zu untersuchen. Der Schacht S 6413 0002 (entspricht dem Zulauf „Im Quinhagen“) konnte jedoch aufgrund arbeitssicherheitstechnischer Bedenken und der ungünstigen Lage der Schachtöffnung (vgl. Kapitel 5.2.2.2, Abb. 38) nicht als Startpunkt der Inspektion genutzt werden. Daher wurde als Alternative das Schachtbauwerk gewählt, das – gegen die Fließrichtung betrachtet – am nächsten lag. Abb. 68 zeigt die Vorbereitungen zum Einsatz des schwimmenden Inspektionssystems.



a) unbefestigtes Schachtfeld



b) Absenken des Floßes



c) Absenken der Kamera



d) Montage der Kamera auf dem Floß

Abb. 68: Einsatz des schwimmfähigen Roboters in Paderborn, Fotos: IKT

Nach dem Erreichen der in unbefestigter Umgebung liegenden Schachtöffnung wurden das Floß und die Argus 4 einzeln in das Schachtbauwerk abgesenkt. Der Zusammenbau dieser Komponenten fand im Gerinne statt. Grundsätzlich wäre es auch möglich gewesen, das System im vollständig montierten Zustand durch die Standardschachtöffnung (\varnothing 62,5cm) zu manövrieren. Ziel war es jedoch, die Gefahr der Beschädigung des stoßempfindlichen Kamerakopfes zu minimieren.

Bei den Inspektionsarbeiten betrug die **Wasserstandshöhe** im Kanal **20 bis 25 cm** und war damit unerwartet **geringer als der Tiefgang des Floßes**. Aus diesem Grund musste das **Inspektionsgerät mit Hilfe eines Seils**, das unter Einsatz eines als Treibanker wirkenden Fenders in den Kanal eingebracht wurde, durch das Untersuchungsobjekt **gezogen** werden. Dabei diente ein Kleintransporter als Zugmaschine, da im Rahmen des Nachteinsatzes kurzfristig keine Winde verfügbar war.

Es ist hervorzuheben, dass die Inspektionsleistung durch unerwartete **Zeitverzögerungen** erheblich beeinträchtigt wurde. Die Gründe hierfür lagen in der aufwendigen **Beseitigung** eines **massiven Abflusshindernisses** sowie einer **einragenden Innendichtung**. Bei dem Abflusshindernis handelte es sich um ein **halbkreisförmiges Betonelement**, das in ca. 10 m Entfernung zum Inspektionsstartschacht im Kanal lag und sich als Teil eines Schachtkonus herausstellte. Es wurde bei Kanalreinigungsarbeiten, die unmittelbar vor der Inspektion im Rahmen des ersten Nachteinsatzes durchgeführt wurden, entdeckt, da es den Vortrieb des Sohlenreinigers behinderte. Zur Beseitigung dieses Hindernisses stieg ein

Mitarbeiter der Inspektionsfirma angeseilt und unter Atemschutz in den Sammler ein (vgl. Abb. 69 a). Er stellte mit Hilfe eines Seils eine Verbindung zwischen dem Betonelement und dem Sohlenreiniger her, damit es unter Einsatz des Spülfahrzeuges zum Spülschacht gezogen, dort in mehrere Teile zerschlagen und schließlich geborgen werden konnte (vgl. Abb. 69 b, c).



a) Mitarbeiter mit Atemschutz



b) Bergung der Segmente des Schachtkonus



c) Größe der drei Elemente

Abb. 69: Beseitigung eines Abflusshindernisses aus dem Untersuchungsobjekt, Fotos: IKT

Ein weiteres Hindernis für das Inspektionsgerät stellte eine **einragende** Innendichtung bzw. **Sekundärdichtung** (vgl. Kapitel 5.2.3.4, Abb. 47 und Abb. 48) dar, an der das Floß in ca. 12 m Entfernung vom Inspektionsstartschacht hängen blieb. Diese Situation zeigt Abb. 70 a. Um die Dichtung zu entfernen, stieg auch in diesem Fall ein Mitarbeiter der Inspektionsfirma in den Kanal ein (vgl. Abb. 70 b).



a) einragende Sekundärdichtung



b) Kanaleinstieg unter Atemschutz

Abb. 70: Beseitigung einer einragenden Dichtung aus dem Untersuchungsobjekt, Fotos: IKT

c) Ergebnis

Mit Hilfe der aus einem Floß mit aufgesetztem Kamerasystem vom Typ Argus 4 bestehenden Inspektionstechnik wurden im Rahmen von **zwei Nachteinsätzen**, die jeweils 6 Stunden dauerten, **sechs Haltungen** des Untersuchungsobjektes mit einer **Gesamtlänge** von **724 m inspiziert**. Diese Strecke setzte sich aus fünf einzelnen Abschnitten zusammen, die zwischen 82 und 290 m lang waren. Das Bildmaterial zeigte eine vollständige

Ausleuchtung des Gasraumes bis zu einer Entfernung von ca. drei Rohrlängen bzw. ca. 8,0 m vom Roboter. Dabei war die Anwendung des Gerätes, wie bereits beim Einsatz der Inspektionstechniken I, II und III, im Wesentlichen darauf ausgerichtet, einen Überblick des Kanalzustandes zu gewinnen, denn die Kameraoptik war größtenteils auf die Erfassung des gesamten Rohrquerschnittes eingestellt. Details des Untersuchungsobjektes konnten auf diese Weise kaum erkannt werden.

Die Lagestabilität des Inspektionsgerätes erschien zu keiner Zeit gefährdet. Dies galt auch für die Passage des Zulaufes „Im Quinhagen“, bei dem erhebliche Abwassermengen von der Seite auf das Gerät trafen. **In Bezug auf die Bildqualität wirkten sich jedoch mehrere Effekte negativ aus**, die im Zusammenhang mit der Abwassermenge im Inspektionszeitraum stehen. Der Wasserstand war unerwartet niedriger als der Tiefgang des Floßes, d.h. es schwamm nicht im Abwasser, sondern lag auf der Rohrsohle auf. In der Folge wirkte der Doppelrumpf als Abflusshindernis und führte daher zu turbulenten Strömungsverhältnissen sowie **Spritzwasser- und Aerosolbildung** im Kanal. Darüber hinaus war das **Bild abschnittsweise unruhig**, weil das Floß in Abständen von 2,5 m Rohrverbindungen passierte, die teilweise Unebenheiten beinhalteten.

Im Rahmen der durchgeführten Praxiseinsätze wurde festgestellt, dass u.a. Ablagerungen und einragende Dichtungen Einsatzgrenzen dieser Inspektionstechnik darstellen können.

5.4.5 Inspektionstechnik V: Bemannte Kanalbefahrung

a) Technik

Bei einer bemannten Kanalbefahrung sitzt der Inspekteur auf einem **Fahrwagen** (vgl. Abb. 71 a), der unter Berücksichtigung der Nennweiten des Paderborner Untersuchungsobjektes sowie der zu erwartenden Wasserstandshöhen von der Firma Tauchunternehmen und Apparatebau Hirt (Koblenz) konstruiert und gebaut wurde. Der Fahrwagen bestand im Wesentlichen aus einem auf sechs Rädern gelagerten Metallrahmen, und einem Sitz für den Inspekteur. Die Räder waren nicht vertikal ausgerichtet, sondern stützten sich in radialer Richtung auf der Rohrwand ab. Der Fahrwagen wurde in sechs Einzelteile zerlegt in den Kanal eingebracht, dort unter Verwendung von Verbindungselementen aus dem Gerüstbau zusammengebaut und mit Hilfe eines Stahlseiles und einer **elektrisch betriebenen Winde** (Antrieb: 1-kW-Bohrmaschine, vgl. Abb. 71 b) durch den Kanal gezogen. Zur Dokumentation der Zustandserfassung wurde ein **tragbares Inspektionsgerät** des Typs **Cerberus** (vgl. Abb. 71 c bzw. Kapitel 2.1, Tab. 2, Abschnitt I) eingesetzt, das von der IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG (Kiel) hergestellt wird. Bestandteil dieses für Kanalbegehungen konzipierten Systems ist auch eine **Wechselsprechverbindung**, über die während der Befahrung ständig Kontakt zwischen dem Inspekteur der Firma Tauchunternehmen und Apparatebau Hirt sowie dem im Inspektionsfahrzeug tätigen Operator (vgl. Abb. 71 d) der Gustav Kehne Bauunternehmen GmbH (Detmold) gehalten wurde. Darüber hinaus stand der Operator über Sprechfunk mit dem Windenführer in Verbindung, um ihm Anweisungen zur Anpassung der Zuggeschwindigkeit an die Anforderungen der Inspektion übermitteln zu können.



a) Bemannter Fahrwagen der Fa. Hirt mit System Cerberus*, Foto: IKT



b) elektrisch betriebene Seil-Winde, Antrieb: 1-kW-Bohrmaschine, Foto: IKT



c) System Cerberus*, Foto: [17]



d) Operator der Fa. Kehne, Foto: IKT

Abb. 71: Komponenten der Inspektionstechnik V

* Hersteller: IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG

b) Einsatzbeschreibung

Unter der Annahme, dass bei Einsatz der Inspektionstechnik V pro Nachteinsatz Abschnitte des Untersuchungsobjektes von 600 bis 700 m Länge inspiziert werden könnten, wurde die Durchführung bemannter Befahrungen für das insgesamt 1.362 m lange Sammler-Teilstück angestrebt, das an der Messstelle „Holthof“ beginnt und eine Haltung hinter dem Zulauf „Sande“ endet (vgl. Kapitel 5.4.7, Abb. 77 b). Dieser Kanalabschnitt besteht ausschließlich aus Rohren der Nennweite DN 1800. Die Wahl dieses Inspektionsverfahrens wurde insbesondere vor dem Hintergrund der gewonnenen Erkenntnisse aus den vorangegangenen Einsätzen der unbemannten Inspektionstechniken I bis IV getroffen. Während Ablagerungen, die aufgrund der Unzugänglichkeit von einigen Schachtöffnungen zum Teil nicht beseitigt werden konnten, in einigen Kanalabschnitten zu Behinderungen der Robotereinsätze führten, verursachten sie in zwei Fällen sogar den Abbruch von Inspektionsmaßnahmen, weil der Roboter trotz maximaler Vortriebskraft nicht mehr vorwärts kam oder umgestürzt war und unter hohem Aufwand geborgen werden musste. Darüber hinaus kann auch eine einragende Dichtung, wie sie beim Einsatz des Inspektionstechnik IV beobachtet wurde (vgl. Kapitel 5.4.4, Abb. 70), ein unüberwindbares Hindernis für einen Roboter darstellen. Im Gegensatz dazu erschien der in Abb. 71 a dargestellte Fahrwagen aus zwei Gründen vorteilhaft. Auf der einen Seite stützten sich seine Räder oberhalb der

Rohrsohle an der Innenwand ab und damit außerhalb des Bereiches von bedeutenden Ablagerungen. Auf der anderen Seite bestand die Möglichkeit, Hindernisse ggf. durch den Inspekteur zu beseitigen.

Die Umsetzung bemannter Befahrungen im Paderborner Untersuchungsobjekt erforderte folgende **Vorbereitungen**. Im ersten Schritt wurde ein **Gerät zur Belüftung** des Kanals installiert und in Betrieb genommen. Es bestand aus einem Gebläse mit angeschlossener Lutte (vgl. Abb. 72 a). Anschließend wurde am **Zielschacht der Inspektion** eine **Winde positioniert** und von dort aus unter Nutzung der Abwasserströmung ein **Seil** in den zu untersuchenden Kanalabschnitt **einggebracht** (vgl. Abb. 72 b, c). Dabei diente ein **Fender als Treibanker**. Da dieser Vorgang mit dem aus Stahldrähten bestehenden Fahrwagen-Zugseil aufgrund des Eigengewichtes nicht möglich gewesen wäre, wurde dafür ein im Vergleich deutlich leichteres Kunststoffseil verwendet. Mit Hilfe dieses Vorseils wurde das **Stahlseil eingezogen**. Der nächste Schritt beinhaltete das **Einbringen der Fahrwagen-Segmente** (vgl. Abb. 72 d) in den Startschacht der Inspektion. Anschließend wurde der **Fahrwagen** im Schacht **montiert** (vgl. Abb. 72 e), im Gerinne **ausgerichtet** (vgl. Abb. 72 f) und mit dem Stahlseil verbunden. Zum Abschluss der Vorbereitungen wurde der Inspekteur mit einer Kamera zur Dokumentation der Zustandserfassung ausgerüstet. Darüber hinaus führte er auf dem Fahrwagen sowohl ein **Gaswarngerät** als auch ein **Atemschutzgerät**, bestehend aus einer 4-Liter-Atemluftflasche inklusive angeschlossener Maske, mit sich.

Beim ersten der drei Nachteinsätze wurde eine **Seilwinde** verwendet, die von einem **Verbrennungsmotor angetrieben** wurde. Bei der Anwendung dieses Gerätes stellten sich jedoch **zwei Nachteile** heraus. Zum einen führte der durch den Verbrennungsmotor erzeugte **Geräuschpegel** zu Verzögerungen bei der Verständigung zwischen dem Operator und dem Windenführer per Sprechfunk. Zum anderen konnte die **Zuggeschwindigkeit** der Winde konstruktionsbedingt nur **unzureichend geregelt** werden. Aus diesen beiden Gründen war es nicht möglich, mit dem Fahrwagen exakte Stationen im Kanal anzufahren. Darüber hinaus erwies sich auch die im Rahmen des ersten Nachteinsatzes verwendete **Technik zur Videodokumentation** der Kanalbefahrung als **ungeeignet**. Die Ausleuchtung des Untersuchungsobjektes war unzureichend und es konnten keine Angaben zur Stationierung oder zum Kanalzustand in das Inspektionsvideo aufgenommen werden. **Diese Komponenten wurden** vor dem Hintergrund der gewonnenen Erkenntnisse beim **zweiten und dritten Nachteinsatz nicht mehr verwendet**. Als Zugvorrichtung kam **stattdessen** die in Abb. 71 b gezeigte, **elektrisch betriebene Winde** zum Einsatz. Dieses Gerät zeichnete sich im Vergleich zur ausgetauschten Winde durch eine deutlich **geringere Geräuschentwicklung** während des Betriebes aus. Darüber hinaus war die **Zuggeschwindigkeit** stufenlos und ohne Zeitverzögerung **regelbar**. Zur Videodokumentation der bemannten Kanalbefahrung wurde das in Abb. 71 c dargestellte System Ceberus eingesetzt. Die Stationierung, erfasst durch ein in die Datenkabeltrommel integriertes Zählwerk, wurde im Videobild ebenso festgehalten, wie Text-Eingaben des Operators.



a) Belüftungsgerät für den Untersuchungsabschnitt



b) Seilwinde am Zielschacht der Inspektion



c) Einbringen des Vorseils



d) Absenken eines Fahrwagen-Segmentes



e) Montage des Fahrwagens im Startschacht der Inspektion



f) Fahrwagen im Schachtgerinne positioniert

Abb. 72: Vorbereitungen zur Durchführung der bemannten Kanalbefahrung, Fotos: IKT

Bei den Inspektionsarbeiten wurden 10 Haltungen bei **Wasserstandshöhen** im Kanal von **15 bis 20 cm** untersucht. Da der Fahrwagen für Wassertiefen bis maximal 40 cm ausgelegt war, bewegte er sich im Verlauf aller Befahrungen deutlich oberhalb der Wasserlinie. Auch durch Ablagerungen wurde die Inspektion nicht beeinträchtigt. Demgegenüber beseitigte der Inspekteur in einer Haltung einen Bohrkern-Findling aus der Rohrsohle und legte ihn auf den Fahrwagen, so dass er nach Erreichen eines Schachtes aus dem Kanal geborgen werden konnte. Darüber hinaus führte der Kanalbefahrer nicht nur eine optische Zustandserfassung durch, sondern untersuchte den Sammler auch manuell. Abb. 73 zeigt zwei Beispiele für die Entnahme von Proben aus dem Kanal.

Die Vor-Ort-Einsätze dauerten zwischen 8 und 9 Stunden. Dabei nahmen die Befahrungen, bezogen auf 100 m lange Kanalabschnitte, durchschnittlich ca. 20 Minuten in Anspruch. Bei Inspektionsleistungen von ca. 600 m pro Nacht entfielen also 2 Stunden auf die Durchführung der Zustandserfassung. Damit wird deutlich, dass die Vorbereitungen und Rüstzeiten ca. $\frac{3}{4}$ des Zeitaufwandes umfassten. Der Zusammenbau des Fahrwagens im Schacht war nach 20 Minuten abgeschlossen. Dagegen nahm das Einbringen des 300 m langen Zugseils zwischen 30 und 50 Minuten in Anspruch. Dieser Zeitbedarf wurde insbesondere durch die baulichen und betrieblichen Randbedingungen des Untersuchungsobjektes beeinflusst. Insbesondere bei Kurvenbauwerken und gleichzeitig

hoher Fließgeschwindigkeit des Abwassers erwies sich die Bergung des Vorseils als schwierig.



a) Probe der Rohrauskleidung



b) Probe von Dichtungsmaterial

Abb. 73: Entnahme von Proben aus dem Untersuchungsobjekt, Fotos: [100]*

* aufgenommen im Rahmen der Pilotstudie

c) Ergebnis

Bemannte Befahrungen wurden im Paderborner Haupt-Schmutzwassersammler im Rahmen von insgesamt 3 Nachteinsätzen durchgeführt. Als Ergebnis des ersten Einsatzes wurde festgestellt, dass dieses Inspektionsverfahren unter den gegebenen Randbedingungen grundsätzlich umsetzbar ist. Nach Abschluss der notwendigen Optimierung einzelner Komponenten wurden **im Rahmen von 2 weiteren Nachteinsätzen**, die jeweils ca. 8,5 Stunden dauerten, **bemannte Befahrungen von 10 Haltungen** mit einer **Gesamtlänge von 1.208 m durchgeführt**. Eine ca. 154 m lange Haltung konnte dagegen **nicht inspiziert werden**. Die Ursache hierfür war, dass die unbefestigte Umgebung der diese Haltung abgrenzenden Schächte aufgrund von Regenfällen keine ausreichende Tragfähigkeit für die Inspektionsfahrzeuge aufwies.

Aus der Durchführung der bemannten Kanalbefahrung ergaben sich mehrere Erkenntnisse. Zum einen stellten **Ablagerungen im Sohlbereich** erwartungsgemäß **kein Hindernis für die Inspektion** dar, weil sich die Räder des Fahrwagens oberhalb dieser Rohrzone abstützten. Zum anderen hatte der im Kanal tätige Inspekteur u.a. die **Möglichkeiten**, grobe **Abflusshindernisse zu beseitigen**, **Materialproben** des Kanalbauwerkes **zu gewinnen** (z.B. von Dichtringen), **Schäden** im Gasraum als Ergänzung des optischen Eindruckes **auch durch manuelles Tasten zu inspizieren** oder **den unterhalb des Abwasserspiegels liegenden Rohrquerschnitt mit den Füßen abzutasten**, um ihn auf bedeutende Schäden oder Ablagerungen zu untersuchen. Das Bildmaterial der Kanalbefahrung zeigte, dass die Scheinwerfer der Handkamera das Licht weniger streuen, als z.B. bei Robotern beobachtet, und damit einen Lichtkegel erzeugen, der im Vergleich zu den oben beschriebenen, unbemannten Inspektionsgeräten auf die Ausleuchtung eines kleineren Rohrabschnittes ausgelegt ist. Dementsprechend wurde die Kamera durch den **Inspekteur** größtenteils nicht in Rohrlängsrichtung ausgerichtet, sondern zum Abschwenken des Rohrquerschnittes eingesetzt. Dabei **konnte** er aufgrund seines räumlichen Sehvermögens **schneller und zielgerichteter vorgehen als ein Roboter** und auf diese Weise den **Zustand** des

Untersuchungsobjektes **detaillierter erfassen**. Auf der anderen Seite besteht insbesondere **bei fehlender Routine im Umgang mit der Handkamera** der Nachteil, dass **unruhige oder verwackelte Videobilder entstehen können**.

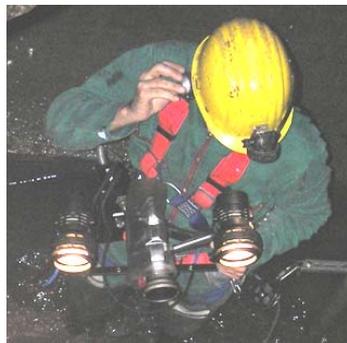
5.4.6 Inspektionstechnik VI: Kanalbegehung

a) Technik

Als weiteres Verfahren zur Inspektion des Paderborner Untersuchungsobjektes wurde die Methode der ISAS GmbH (Füssen) zur Kanalbegehung eingesetzt. Die erforderliche Gerätetechnik und Sicherheitsausrüstung ist in einem Inspektionsfahrzeug untergebracht (vgl. Abb. 74 a). Das System zur Videodokumentation der Kanalbegehung besteht aus einer Handkamera mit Verwackelungsschutz und zwei Scheinwerfern (vgl. Abb. 74 b). Die Inspektoren sind ausgerüstet mit Helm, Sicherheitsgeschirr, Gaswarngerät, Selbstretter sowie Messlatte und Lasermessgerät. Die Gummistiefel verfügen über Nagelsohlen, um auf den glatten Rohrrinnenflächen einen sicheren Stand zu gewährleisten (vgl. Abb. 74 c).



a) Inspektionsfahrzeug am Zugangsschacht



b) Handkamera und Scheinwerfer



c) Gummistiefel mit Nagelsohlen

Abb. 74: Komponenten der Inspektionstechnik VI, Fotos: IKT

b) Einsatzbeschreibung

Für die Durchführung von Kanalbegehungen wurde das Teilstück des Paderborner Untersuchungsobjektes gewählt, das zwischen dem Zulauf „Sande“ und dem GWK verläuft (vgl. Kapitel 5.4.7, Abb. 77 b). Aus zwei Gründen wurden insbesondere in diesem ca. 1.000 m langen Abschnitt Ablagerungen erwartet. Zum einen sind die meisten Schächte nur über schmale, unbefestigte Feldwege zu erreichen und können daher von Spülfahrzeugen in der Regel nicht angefahren werden. Zum anderen wird dieser Teil des Untersuchungsobjektes nach Angaben des STEB Paderborn absichtlich eingestaut, um die Effektivität des Schneckenpumpwerkes zu erhöhen, das am Ende des Hauptschmutzwassersammlers angeordnet ist.

Beim Einsatz der bemannten Befahrung (vgl. Kapitel 5.4.5) war deutlich geworden, dass dieses Verfahren – im Vergleich zu den unbemannten Inspektionstechniken I bis IV – erweiterte Möglichkeiten der Zustandserfassung bietet. Mit dem Einsatz der Methode der Kanalbegehung, die ebenfalls zur Gruppe der direkten Inspektionsverfahren zählt, sollte untersucht werden, inwieweit es möglich ist, unter den gegebenen Randbedingungen auf die Verwendung eines Fahrwagens als Arbeitsbasis für den Inspekteur zu verzichten.

Zur **Umsetzung der Kanalbegehung** im Paderborner Untersuchungsobjekt wurde im ersten Schritt ein **Gerät zur Belüftung** des Kanals installiert (vgl. Abb. 72 a) und in Betrieb genommen. Anschließend wurde das **Inspektionsfahrzeug am Zugangsschacht positioniert**. Dazu mussten in einem Fall Holzbohlen als provisorische Untergrundbefestigung ausgelegt werden, da das Gelände in der Umgebung der Schachtoffnung durch Regenfälle aufgeweicht und daher nicht befahrbar war (vgl. Abb. 75 a). Danach stellte Personal des Kanalnetzbetreibers eine **Baustütze im Gerinne** des unterhalb gelegenen **Zielschachtes** auf und **verspannte** sie senkrecht (vgl. Abb. 75 b). Dieses Element diente als Sicherungspunkt für die Inspektoren, falls sie im Kanal stürzen und abgetrieben werden sollten. Im weiteren Verlauf blieben zwei Mitarbeiter des STEB Paderborn an diesem Schachtbauwerk bis zum Abschluss der Inspektion dieses Untersuchungsabschnittes in Bereitschaft. Auch diese Maßnahme diente der Sicherheit der Kanalbegeher. Nach Abschluss dieser Vorbereitungen stieg ein Inspekteur in den Zugangsschacht ein und kam nach Prüfung der gegebenen Randbedingungen (Wasserstandshöhe, Fließgeschwindigkeit, Ablagerungen, Sturzgefahr) zu der Einschätzung, dass die Begehung durchgeführt werden könne.

Im weiteren Verlauf des Vor-Ort-Einsatzes ging das aus drei Personen bestehende Team der Fa. ISAS so vor, wie es dem IKT aus der projektbegleitenden Teilnahme an einer Kanalbegehung in Kaiserlautern bekannt war (vgl. Kapitel 3.2.2). Die Arbeitsaufteilung sah vor, dass zwei Mitarbeiter die Kanalbegehung durchführten und der Dritte die Aufgabe des Operators im Inspektionsfahrzeug übernahm. Nachdem die Inspektoren in den Kanal eingestiegen waren, installierten sie zunächst mehrere Bauteile im Schachtbauwerk, die der Führung des Datenkabels dienten. Die erste Umlenkrolle wurde an einem Steigeisen befestigt (vgl. Abb. 75 c), die Zweite an einer horizontal im Gerinne verspannten Stahlstütze (vgl. Abb. 75 d).



a) provisorische Untergrundbefestigung mit Holzbohlen



b) Sicherungspunkt: senkrecht verspannte Baustütze im Zielschacht



c) Umlenkrolle für Datenkabel im Einstiegsschacht



d) Umlenkrolle für Datenkabel über der Rohrsohle

Abb. 75: Vorbereitungen zur Durchführung der Kanalbegehung (DN 1800), Fotos: IKT

Anschließend wurde die **Vorbegehung** der zu inspizierenden Kanalabschnitte durchgeführt, um Schachtmittelpunkte, Zuläufe sowie Schadstellen zu markieren und einzumessen. Dieser Arbeitsschritt beinhaltete keine Videodokumentation. Dabei wurde festgestellt, dass sich im Kanal Nebel bildete. Ursache hierfür war die Zufuhr relativ kalter Außenluft durch das drückend arbeitende Belüftungsgerät. Zur Vermeidung von möglichen Beeinträchtigungen der anschließenden Videodokumentation, wurde das Belüftungsgerät abgeschaltet.

Bei der **zweiten Begehung** des zu inspizierenden Kanalabschnittes führte der Inspekteur eine Kamera mit sich, um den Zustand des Untersuchungsobjektes per **Videoaufnahme** zu dokumentieren. Dabei stand er über eine Wechselsprechverbindung in ständigem Kontakt mit dem Operator, der an seinem Computer-Arbeitsplatz die Inspektion verfolgte und schriftliche Einträge zur Kommentierung der Zustandserfassung vornahm. Sowohl die Audio- als auch die Videosignale wurden über ein Kabel zum Inspektionsfahrzeug übertragen. Über ein Zählwerk an der Kabeltrommel wurde die Stationierung erfasst. Die Inspektion beinhaltete nicht nur die Videodokumentation. Der Kameramann führte darüber hinaus auch manuelle Untersuchungen im Gasraum, u.a von Rohrverbindungen (vgl. Abb. 76), durch und tastete die optisch nicht erfassbare Kanalsole mit den Füßen nach Auffälligkeiten (z.B. Ablagerungen) ab.



Abb. 76: Beispiele für manuelle Untersuchungen von Rohrverbindungen, Fotos: [100]*

* aufgenommen im Rahmen der Pilotstudie

c) Ergebnis

Im Rahmen **eines 6-stündigen Nacheinsatzes** wurden **6 Haltungen** des Paderborner Haupt-Schmutzwassersammlers mit einer Gesamtlänge von **824 m** durch Begehungen **inspiziert**. Dabei betrug die Wasserstandshöhe zwischen 25 bis 30 cm. Die Begehungen nahmen, bezogen auf 100 m lange Kanalabschnitte, durchschnittlich ca. 17 Minuten in Anspruch. Unter Berücksichtigung der oben genannten Inspektionsleistung entfielen ca. 2 Stunden auf die Durchführung der Zustandserfassung. Im vorliegenden Fall umfassten die Vorbereitungen und Rüstzeiten damit ca. 2/3 des Zeitaufwandes.

Das Bildmaterial zeigte eine vollständige Ausleuchtung des Gasraumes bis zu einer Entfernung von ca. 3 Rohrlängen bzw. ca. 8,0 m vom Inspekteur. Auffälligkeiten und Schäden, die im Rahmen der Vorbegehung entdeckt worden waren, wurden im Rahmen der **Videodokumentation** detailliert aufgenommen. Der Inspekteur führte auch **manuelle Untersuchungen** in Rohrverbindungen durch, um den Zustand der innenliegenden Dichtungsbereiche näher zu erfassen. Darüber hinaus wurde die **Sohle mit den Füßen abgetastet** und auf diese Weise festgestellt, dass sich im Kanal vereinzelt Ablagerungen in Form von Sand und Geröll mit einer Höhe von 5 bis 10 cm befanden. Grundsätzlich wäre es auch möglich gewesen, Proben des Kanalbauwerkes zu gewinnen. Diese Notwendigkeit bestand im vorliegenden Fall jedoch nicht.

Als Ergebnis des Nacheinsatzes ist festzustellen, dass – im Vergleich zu den unbemannten Inspektionstechniken I bis IV – durch die Kanalbegehung der Zustand des Untersuchungsobjektes detaillierter und umfangreicher erfasst werden kann. Bei ausreichender Routine im Umgang mit der Handkamera entsteht ein verwackelungsarmes Videobild.

5.4.7 Zusammenfassung

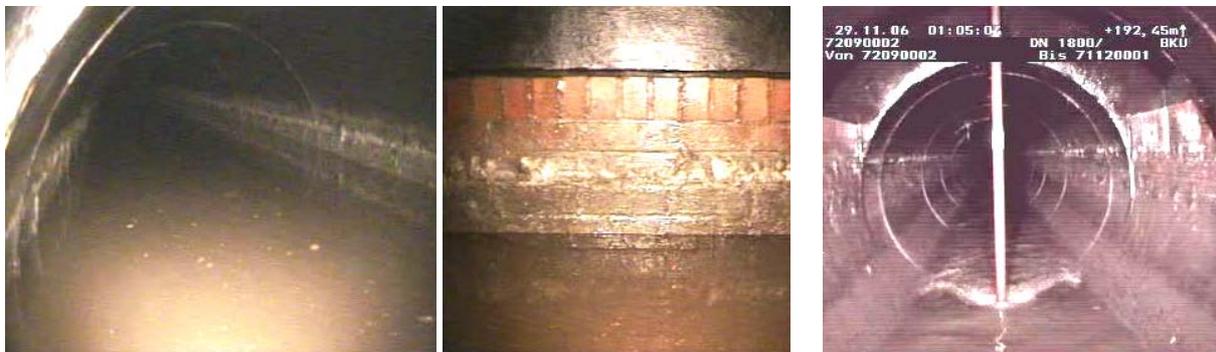
Im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie kamen bei **zehn Vor-Ort-Einsätzen** insgesamt **sechs** verschiedene **Inspektionstechniken** im betrachteten, 5.700 m langen Abschnitt des Paderborner Haupt-Schmutzwassersammlers zur Anwendung. Dabei handelte es sich um **vier unbemannte** und **zwei bemannte Verfahren**. Als Ergebnis der durchgeführten Zustandserfassungsmaßnahmen ist festzustellen, dass der Kanal auf einer Länge von 5.224 m inspiziert werden konnte. Dies entspricht in Bezug auf die Gesamtlänge des Untersuchungsobjektes einer **Quote von 92 %**. Tab. 7 gibt für jede Inspektionstechnik die Anzahl der Einsätze, die Länge des untersuchten Kanalabschnittes sowie die Wasserstandshöhe im Zeitraum der Inspektion an.

Tab. 7: Übersicht zu den Inspektionseinsätzen im Paderborner Untersuchungsobjekt

| Inspektionstechnik | | | Vor-Ort-Einsätze | Leistung [m] | Wasserstandshöhe [cm]* |
|--|------------------------|---|------------------|--|------------------------|
| I | Fahrender Roboter A |  | 3 | 1.994 | 20 bis 25 |
| II | Fahrender Roboter B |  | 2 | 474 | 20 bis 30 |
| III | Fahrender Roboter C |  | 1 | (84) | 30 |
| IV | Schwimmfähiger Roboter |  | 2 | 724 | 20 bis 25 |
| V | Bemannte Befahrung |  | 2 | 1.208 | 10 bis 20 |
| VI | Kanalbegehung |  | 1 | 824 | 25 bis 30 |
| * nach Wasserhaltungsmaßnahmen; übliche Teilfüllung im Betriebszustand ca. 90 cm | | | | Summe: 5.224 (92 % der Gesamtlänge) | |

In Abb. 77 zeigen farbige Markierungen des Kanaltrassenverlaufes bzw. die den Inspektionstechniken zugeordneten römischen Ziffern die jeweiligen Einsatzabschnitte. Die **zwei** schwarz gekennzeichneten **Bereiche** (154 m bzw. 322 m lang) konnten **nicht inspiziert** werden, weil die Schächte aufgrund örtlicher Randbedingungen nicht anfahrbar waren.

Durch die Umsetzung des in Kapitel 5.3.2 beschriebenen Wasserhaltungskonzeptes gelang es, die Abflussmenge im Kanal temporär abzusenken. Daher betrug die **Wasserstandshöhe** bei der Durchführung der Inspektionen **zwischen 10 cm und 30 cm** (vgl. Tab. 7). Damit lag sie zum Teil deutlich unterhalb der minimalen Teilfüllungshöhe von 30 cm bis 40 cm, die unter regulären Betriebsbedingungen auch nur in Nächten von Trockenwetterperioden erreicht wird (vgl. Kapitel 5.2.3.1). Abb. 78 stellt anhand des Schachtes S 7112 0002 beispielhaft die Teilfüllung des Kanals, wie sie sich bei der Schachtinspektion, d.h. am Tag und ohne Wasserhaltungsmaßnahmen, zeigte, der Teilfüllung bei der Kanalinspektion gegenüber. Der Unterschied zwischen den Betriebszuständen (50 % bzw. 17 % Teilfüllung) ist optisch deutlich zu erkennen. Um die Wasserstandshöhe über das erreichte Maß hinaus abzusenken, hätten die Zulaufmengen der Industrie deutlich reduziert werden müssen. Trotz Abstimmung der Inspektionseinsätze mit den Betriebsleitern gelang dies jedoch nur zum Teil, da die Produktion nicht in allen Fällen eingeschränkt oder unterbrochen werden konnte.



a) 50 % Teilfüllung bei der Schachtinspektion,
(links: Ansicht der Haltung, rechts: Ansicht der Berme)

b) 17 % Teilfüllung bei
der Kanalbegehung

Abb. 78: *Unterschiedliche Teilfüllungshöhen im Bereich des Schachtes S 7112 0002, Rohrnennweite DN 1800, Fotos: [100]**

* aufgenommen im Rahmen der Pilotstudie

Als Ergebnis der Begleitung von Praxiseinsätzen der Inspektionstechniken I bis VI in Paderborn wurden folgende wesentliche Erkenntnisse über deren Einsatzmöglichkeiten und -grenzen unter den gegebenen Randbedingungen gewonnen:

Der Einsatz **des schwimmfähigen Roboters** bietet sich insbesondere mit Blick auf die Gesamtwirtschaftlichkeit der Inspektionsmaßnahme an, wenn das Untersuchungsobjekt ständig hohe Teilfüllungsgrade aufweist und durch die Umsetzung von geeigneten Wasserhaltungsmaßnahmen, im Vergleich zu den Aufwendungen für die reine Zustandserfassung, unverhältnismäßig hohe Kosten entstehen würden. Darüber hinaus stellen Ablagerungen in der Sohle bei ausreichender Wassertiefe kein Hindernis für dieses System dar. Allerdings ist mit Hilfe des vorgestellten schwimmfähigen Roboters nur eine **Grobinspektion** durchführbar, denn die Kamera ermöglicht lediglich die optische Erfassung des Gasraumes. Darüber hinaus ist zu beachten, dass als Antrieb des Inspektionsgerätes eine Zugvorrichtung (z.B. Winde) und ein Zugseil erforderlich sind. Insbesondere das Einbringen des Seils in den Kanal kann in Abhängigkeit der gegebenen Randbedingungen mit erheblichem Zeitaufwand verbunden sein. Einsatzgrenzen dieser Inspektionstechnik

können sich aus Abwasserströmungen ergeben, wenn dadurch verwackelte und somit unbrauchbare Videodaten aufgenommen werden.

Bei Anwendung der **unbemannten fahrenden Inspektionstechniken** können starke Abwasserströmung sowie Ablagerungen oder Abflusshindernisse zu Abbrüchen der Zustandserfassung führen. Darüber hinaus beeinflusst die Wasserstandshöhe den Umfang der Inspektion, denn den einzigen Sensor stellt auch bei diesen Robotern eine Kamera dar, mit deren Hilfe der Gasraum optisch erfasst werden kann. Vor diesem Hintergrund sind für den erfolgreichen Einsatz der fahrenden Inspektionsgeräte geringe Wassertiefen und die Beseitigung von Ablagerungen – insbesondere aus dem Sohlbereich – durch Maßnahmen der Kanalreinigung Voraussetzung. Der Zeitbedarf für das Einbringen der Roboter in den Kanal bzw. das Bergen aus dem Kanal ist in der Regel gering, da die Geräte in den meisten Fällen im einsatzfähigen Zustand durch Standardschachtöffnungen geführt werden können. Erhöhter Aufwand kann jedoch entstehen, wenn z.B. Steighilfen in Schächten als Zugangshindernis für den Roboter wirken und dieser infolgedessen im Schacht montiert werden muss. Die eingesetzten, fahrenden Inspektionsgeräte lieferten ein ruhiges Videobild. Es zeigte sich, dass auch mit Hilfe von nicht lenkbaren Robotern Richtungswechsel des Kanals, die im Rahmen der durchgeführten Praxiseinsätze bis zu 60 Grad betragen, überwunden werden können. Bauwerkdetails wie z.B. Seiteneinläufe oder Rohrverbindung konnten durch Schwenken der Kamera und Nutzung des Zooms aufgenommen werden. Um den Kanal detailliert, d.h. auch mit Blick auf geringfügige Schäden, untersuchen zu können, müssten diese Funktionen jedoch flächendeckend eingesetzt werden. Es ist zu erwarten, dass sich der Zeitaufwand für die Inspektion dadurch deutlich erhöhen würde.

Im Vergleich zu den unbemannten Inspektionstechniken zeigte sich, dass durch den Einsatz der **bemannten Befahrung und der Begehung** der **Kanalzustand detaillierter untersucht** werden kann. Der Mensch nimmt im Gegensatz zu Kamera-Robotern seine Umgebung optisch räumlich wahr und ist in der Lage, seinen Tastsinn zu nutzen sowie manuelle Tätigkeiten auszuführen. Aufgrund dieser Fähigkeiten war es bei den bemannten Vor-Ort-Einsätzen im Paderborner Untersuchungsobjekt möglich, auch geringfügige Schäden zu erfassen, Auffälligkeiten des im Gasraum liegenden Kanalquerschnittes durch Tasten näher zu untersuchen (z.B. Rohrverbindungen oder Anschlussbereiche) und Materialproben des Kanalbauwerkes zu gewinnen. Darüber hinaus konnte der Inspekteur den unterhalb des Abwasserspiegels liegenden Teil des Untersuchungsobjektes mit den Füßen abtasten, um ihn auf bedeutende Schäden oder Ablagerungen zu untersuchen. Neben den genannten Vorteilen von bemannten Inspektionsmethoden im Vergleich zu unbemannten Verfahren sind bei deren Umsetzung zwei Faktoren zu berücksichtigen. Zum einen ist das im Kanal tätige Personal verschiedenen Gefahren ausgesetzt. So können z.B. Notfälle durch schädliche Gase entstehen. Zur Minimierung derartiger Risiken müssen geeignete Vorsorgemaßnahmen getroffen werden (z.B. Belüftung des Kanals, Einsatz von Gaswarngeräten, Mitführen von Selbstrettern oder Atemschutzgeräten). Zum anderen können durch die eingesetzten, handgeführten Kameras, in Abhängigkeit der örtlichen Randbedingungen und der Routine des Inspektors, unruhige oder verwackelte Videobilder entstehen. Um dies im Vorfeld zu erkennen, bietet sich die Durchführung von Testeinsätzen im Untersuchungsobjekt an.

Bei der **bemannten Befahrung** sitzt der Inspekteur auf einem Fahrwagen, der durch den Kanal gezogen wird und so konstruiert ist, dass sich seine Räder oberhalb des Abwasserspiegels an der Rohrwand abstützen. Daraus leiten sich im Vergleich zur Kanalbegehung folgende Vorteile ab. Es besteht keine Sturzgefahr und der Fahrwagen stellt einen Haltepunkt für den Inspekteur dar. Die Zustandserfassung ist bei höheren Wasserständen und Fließgeschwindigkeiten sowie unabhängig von Sohlablagerungen durchführbar. Demgegenüber erfordert die Kanalbegehung deutlich kürzere Vorbereitungszeiten, da hierbei weder der Zusammenbau eines Fahrwagens noch die Installation einer Zugvorrichtung und das Einbringen eines Zugseiles erforderlich ist. Bei niedrigen Wasserstandshöhen und Fließgeschwindigkeiten sowie geringen Ablagerungen bietet sich zur Detail-Inspektion daher diese Methode an.

6 Planungsempfehlungen

Nachfolgend werden Planungsempfehlungen für die Inspektion teilgefüllter Kanäle beschrieben. Diese Hinweise wurden aus Erkenntnissen abgeleitet, die im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie gewonnen bzw. erfasst wurden. Als Informationsbasis dienten dabei die Recherchen zum Stand der Technik (vgl. Kapitel 2), die Erhebung von bestehenden Erfahrungen unterschiedlicher Kanalnetzbetreiber und die Durchführung ergänzender Versuche im IKT (vgl. Kapitel 3), die Betrachtungen zum Thema Arbeitssicherheit (vgl. Kapitel 4) sowie insbesondere die In-situ-Inspektionen in Paderborn (vgl. Kapitel 5). Hervorzuheben ist, dass neben den Aspekten Technik, Know-how und Ressourcen sowie den Anforderungen aus der Arbeitssicherheit und der geforderten Qualität der Zustandserfassung (vgl. Kapitel 5, Abb. 26) **insbesondere die baulichen und betrieblichen Randbedingungen** des jeweils betrachteten Einzelfalls **von wesentlicher Bedeutung für die Planung und Umsetzung der Inspektion** sind. Dies betrifft z.B. Aspekte wie Nennweite, Haltungslänge, Abwassermenge und Wasserstandshöhe. Vor diesem Hintergrund erschien die Aufstellung eines übergreifenden Musterleistungsverzeichnisses zur Inspektion teilgefüllter Kanäle wenig sinnvoll. Vielmehr bot es sich an, dem verantwortlichen Ingenieur mit nachfolgender Zusammenstellung allgemeine **Hinweise zur Vorbereitung** von Inspektionsmaßnahmen und zur inspektionsgerechten Planung künftiger Anlagen an die Hand zu geben. Zur Aufgabenstellung gehört dabei nicht nur die **Auswahl eines geeigneten Inspektionsgerätes bzw. -verfahrens**, sondern auch ggf. die Vorbereitung ergänzender Maßnahmen zur Unterstützung des Inspektionsablaufs, wie z.B. Konzepte und Maßnahmen zur **Wasserhaltung** und die Auswahl eines geeigneten **Verfahrens zur Kanalreinigung in** Abhängigkeit der Ablagerungssituation.

Für die **Planung der Inspektion bestehender teilgefüllter Kanäle** wird die nachfolgend beschriebene dreistufige Vorgehensweise vorgeschlagen.

a) Ist-Aufnahme

Voraussetzung für die Planung sind **detaillierte Kenntnisse über das Untersuchungsobjekt**. Aus diesem Grund wird die **Empfehlung** gegeben, **im ersten Schritt** eine umfassende **Ist-Aufnahme durchzuführen**. Dabei ist berücksichtigen, dass gegebenenfalls Wechselwirkungen zwischen dem Kanal und verschiedenen, vor- oder nachgeschalteten Betriebspunkten (Sonderbauwerke, Kläranlage usw.) bestehen, die mit Blick auf die Inspektion auf der einen Seite mit Nutzen und auf der anderen Seite mit Einschränkungen oder Risiken verbunden sein können. Zur Erhebung von entsprechenden Informationen bieten sich u.a. die Sichtung von Bestandsunterlagen, die Begehung der Kanaltrasse inklusive Inaugenscheinnahme der Schachtbauwerke sowie Interviews mit dem Personal des Kanalnetzbetreibers an. Auf diese Weise können z.B. **Angaben zu den nachfolgend aufgeführten baulichen, betrieblichen und rechtlichen Randbedingungen des Untersuchungsobjektes** erfasst werden:

- **Schächte:** u.a. Nummer, Verkehrslage, Abmessungen und Form der Schachttöffnung, Tiefe des Gerinnes unter Geländeoberkante, Konstruktion, baulicher Zustand,
- **Haltungen:** u.a. Länge, Nennweite, Profil, Material, Einzelrohrlänge, Gefälle, Baujahr, Art des Entwässerungssystems,
- **Lagepläne:** u.a. Verkehrswege/-flächen und andere Bebauungen, Flurstücksgrenzen und -nummern, Trassenverlauf,
- **Längsschnitte:** u.a. Gelände- und Sohlhöhen, Stationen, Querungen von Verkehrswegen und Flüssen,
- **Zuläufe:** u.a. Lage, Einleitungsmengen, Art der Einleiter (häuslich, gewerblich, industriell), Fremdwasser,
- **Betriebszustand des Untersuchungsobjektes:** u.a. Wasserstandshöhen, Strömungsgeschwindigkeit, Ablagerungssituation, Kanalreinigungstechnik,
- **Betriebspunkte des Entwässerungssystems:** u.a. Stauraumkanäle, Regenbecken, Absperrrichtungen, Pumpstationen, Kläranlage.
- **Grundeigentümer**, auf deren Flächen gegebenenfalls Schächte des Sammlers liegen: u.a. Name, Adresse, Flurstücksnummer, Betretungsrecht.

b) Entwicklung von Lösungsvarianten

Auf der Basis der Ist-Aufnahme können im **zweiten Planungsschritt** mit Blick auf die verfügbaren Geräte- und Verfahrenstechniken **Lösungsvarianten** zur Umsetzung der Inspektionsmaßnahme **entwickelt** werden. **Wesentliche Kriterien** sind dabei die **Nennweite des Untersuchungsobjektes** sowie die **Durchflussmenge und die Füllhöhe**. Um die Höhe des Wasserstandes für den Zeitraum der Zustandserfassung zu reduzieren, sollte geprüft werden, inwieweit tageszeitabhängige Schwankungen der Abflussmenge genutzt oder mit Hilfe von bestehenden Betriebspunkten (z.B. Pumpstationen, Schieber) Zwischenspeicher (z.B. Becken oder das Kanalsystem) für das zurückgestaute Abwasser aktiviert werden können. Scheiden diese Möglichkeiten aus, müssen andere provisorische Wasserhaltungsmaßnahmen, wie z.B. der Einsatz von Hebern und/oder mobilen Pumpen und Absperrgeräten, in Betracht gezogen werden. Der Zugänglichkeit und dem baulichen und betrieblichen Zustand der **Schachtbauwerke** kommt dann eine **extrem hohe Bedeutung** zu. Die **Zugänglichkeit** hängt insbesondere von der Topografie, Befestigung und Nutzung des umgebenden Geländes ab. Das Einbringen und Ablassen von Inspektionsgeräten, Pumpen und Absperrlementen wird dann wesentlich durch die **Abmessungen der Schachttöffnung** und die geometrische **Konstruktion** sowie den baulichen Zustand des Schachtkörpers (Größe und Anordnung der Bermen, Abmessungen des Arbeitsraumes, Sicherheit der Steigeisen) unterstützt bzw. eingeschränkt.

c) Verfahrensauswahl

Beim **dritten Planungsschritt**, der **Verfahrensauswahl**, sollten die entwickelten Lösungsvarianten zu den Bereichen Inspektionstechnik, Kanalreinigung und Vorflutsicherung nicht nur aus der Sicht der grundsätzlichen technischen Umsetzbarkeit unter den gegebenen Randbedingungen betrachtet werden. Zu hinterfragen ist zum einen, inwieweit die durch den Auftraggeber definierten **inhaltlichen und qualitativen Anforderungen an die**

Zustandserfassung erreichbar sind. Dabei kann es sich u.a. um Festlegungen bzgl. der maximal zulässigen Teilfüllung, der Untersuchungsgenauigkeit (z.B. Vorgaben zur Rissbreitenerkennung), der Dokumentationsmethode, des Schadensklassifizierungssystems oder des Ergebnisformates (z.B. schriftliche Berichte oder EDV-Formate) handeln. Zum anderen stellt die **Wirtschaftlichkeit** ein wichtiges Auswahlkriterium dar. Dieser Faktor wird beeinflusst durch die Kosten für Personal und Material im Vergleich zur Inspektionsleistung. Darüber hinaus sind **Anforderungen aus der Arbeitssicherheit** zu erfüllen (vgl. Kapitel 4). In Abhängigkeit des Verfahrens ergeben sich verschiedene Gefährdungspotentiale für das vor Ort tätige Personal. Dabei ist nicht nur zu beachten, dass gegebenenfalls unterschiedlich hohe Aufwendungen für entsprechende Schutz- und Vorsorgemaßnahmen entstehen, sondern es ist insbesondere zu hinterfragen, inwieweit die Risiken durch die Verfahrensauswahl minimiert werden können. Eine entscheidende Voraussetzung für den Erfolg der Kanalinspektion stellt das **Know-how** des ausführenden Personals dar. Dieses Kriterium ist unter Bezug auf Firmeninformationen oder Referenzen nur schwer zu prüfen. **Daher wird empfohlen**, zunächst eine verfahrensbezogene Vorauswahl zu treffen sowie anschließend **Testeinsätze im Untersuchungsobjekt durchführen zu lassen und zu begleiten**.

Mit Blick auf den **Bau zukünftiger Anlagen** bleibt festzustellen, dass als Grundvoraussetzung für eine Inspektion die **ausreichende Zugänglichkeit** zum Sammler an allen Schachtbauwerken gegeben sein muss und unterstützende Maßnahmen zur Wasserhaltung bereits zu berücksichtigen sind. Dies gilt insbesondere, wenn keine festinstallierten Absperreinrichtungen vorgesehen sind. Da auch bei der unbemannten Inspektion zur Installation der Inspektionstechnik stets Personal im Bereich des Schachtgerinnes eingesetzt werden muss, sind provisorische Wasserhaltungsmaßnahmen i.d.R. mit einem außergewöhnlich hohen arbeitssicherheitstechnischen Aufwand verbunden. Diese Aspekte sind sowohl bei der Planung der **Schachtbauwerke** als auch der konzeptionellen Auslegung der **Vorflutsicherung** zu berücksichtigen:

a) Schachtbauwerke

Schachtbauwerke stellen die Zugangsmöglichkeit zum Untersuchungsobjekt dar. Um diese Einrichtungen für die Kanalinspektion uneingeschränkt nutzen zu können, sollten die baulichen Voraussetzungen auf die **Anforderungen** abgestimmt werden, die **hinsichtlich der Zugänglichkeit**, der **Konstruktion** und der **Arbeitssicherheit** bestehen. Nachfolgend werden Empfehlungen zum Bau von Schachtbauwerken beschrieben:

- Sicherstellung der Anfahrbarkeit der Schachtöffnung unabhängig von der Witterung durch **Anlegen von Zufahrtswegen**, die hinsichtlich ihrer Abmessungen und Befestigung auf die Anforderungen der für den Kanalbetrieb notwendigen Einsatzfahrzeuge abgestimmt sind (z.B. Reinigungsfahrzeuge),
- **niveaugleiche Höhenlage der Schachtöffnung und des umgebenden Geländes** bzw. der an sie heranführenden Verkehrsflächen, um eine **einfache Zugänglichkeit** zu ermöglichen,

- **innerhalb von Verkehrsflächen** sollten Schachttöffnungen so angeordnet sein, dass der Verkehrsfluss durch Maßnahmen der Kanalinspektion (z.B. Positionierung von Einsatzfahrzeugen) nur in möglichst geringem Maß beeinträchtigt wird,
- **zentrische Anordnung einer ausreichend großen Schachttöffnung über dem Gerinne**, so dass mit Blick auf die **Abmessungen des vollständig einsatzfähigen Inspektionssystems** die Gerätetechnik in einem Zuge in das Untersuchungsobjekt eingebracht werden kann.
- Die **Abmessungen des gesamten Schachtbauwerkes** sowie die **Anzahl und Abmessungen der Bermen** sollten auf den Platzbedarf bei Durchführung manueller Arbeiten, z.B. Bergung des Inspektionssystems, abgestimmt sein,
- Zur sicheren Überwindung von Höhenunterschieden zwischen der Sohle des Schachtgerinnes und den Bermen (z.B. bei Kanalbegehungen), sind in Anlehnung an DIN EN 1917 [104] **Steighilfen im Gerinne** anzuordnen, wenn die Höhendifferenz mehr als 350 mm (maximaler Soll-Wert für den Abstand von Steighilfen) beträgt.

b) Vorflutsicherung

Mit Blick auf eine sichere und umfassende Inspektion sollten **bauliche Voraussetzungen** eingeplant werden, um den im regulären Betriebszustand teilgefüllten Kanal für einen angemessenen Zeitraum (z.B. 6 bis 8 Stunden) frei von Abwasser halten zu können. Hierfür sind sowohl **Absperrmöglichkeiten** als auch **Speicherräume** notwendig. Zur Absperrung des Kanals bietet sich u.a. die Installation ortsfester Schieber an (vgl. Kapitel 2.3.1). Insbesondere bei Kanälen, die eine Länge von mehreren Kilometern aufweisen und auf deren Strecke verteilt diverse Zuläufe mit bedeutenden Einleitungsmengen angeschlossen sind, wird die Anordnung von mehreren Schiebern empfohlen. Auf diese Weise kann der **Kanal selbst als Rückstauvolumen** genutzt werden und es besteht gegebenenfalls die Möglichkeit, die **Absperrrichtungen auch zur Erzeugung von Schwallspülungen** zu nutzen. Darüber hinaus sind Schieber auch für die Durchführung von punktuellen Sanierungsmaßnahmen von Vorteil. Auf der anderen Seite entstehen durch die Installation ortsfester Absperrrichtungen Kosten für den Bau sowie die regelmäßige Wartung und Instandhaltung.

Eine andere Alternative zur Vorflutsicherung stellt die **zweizügige Ausführung von Kanälen** dar. Im Fall einer Inspektion oder Sanierung, kann die gesamte Abwassermenge mit Hilfe von Schiebern wahlweise durch nur einen der beiden Stränge geleitet werden. Hierfür ist es nicht unbedingt notwendig, zwei Kanäle zu installieren, die jeweils für die maßgebende hydraulische Belastung dimensioniert sind. Um die Baukosten zu senken, könnte die Parallel-Leitung zum Hauptkanal auf den Trockenwetterabfluss ausgelegt werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Abwasseranlagen müssen so geplant und gebaut sein, dass sie die sicherheitstechnischen und betrieblichen Anforderungen erfüllen und jederzeit betriebsbereit sind. Dies wird u.a. gewährleistet durch Maßnahmen zur Instandhaltung, zu denen auch die Zustandserfassung zählt. Nach der in Nordrhein-Westfalen geltenden Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) sind die Betreiber von Abwasseranlagen unter anderem dazu verpflichtet, den Zustand des gesamten Kanalnetzes in regelmäßigen Abständen zu erfassen. Im Rahmen einer im Jahre 2003 abgeschlossenen IKT-Erhebung zur Umsetzung dieser Verordnung wurde bereits deutlich, dass erhebliche Unsicherheiten bezüglich der Inspektion teilgefüllter Abwasserkanäle besteht. Zahlreiche Netzbetreiber hatten angegeben, den Zustand insbesondere von Hauptsammlern, in denen kontinuierlich, d.h. sowohl tagsüber als auch nachts, erhebliche Abwassermengen abgeleitet werden, noch nicht erfasst zu haben. Als Grund wurde das Fehlen von Strategien und Verfahren zur Inspektion teilgefüllter Abwasserkanäle genannt.

Auch der Stadtentwässerungsbetrieb (STEB) Paderborn sah sich mit der oben genannten Problematik konfrontiert. Zur Großkläranlage des Kanalnetzbetreibers führt ein einzügig ausgeführter Haupt-Schmutzwassersammler, der ständig teilgefüllt ist und dessen Zustand seit seiner Inbetriebnahme im Jahre 1981 nicht erfasst wurde. Der insgesamt ca. 8 km lange Kanal besteht aus Betonrohren mit Kunststoffauskleidung der Nennweiten DN 1200, DN 1600 und DN 1800. Bei einer Fließgeschwindigkeit von etwa 1,5 m/s beträgt die minimale Teilfüllung in den Nachtstunden zwischen 30 und 40 cm. Aufgrund der großen eingeleiteten Abwassermengen der Industrie liegt die Wasserstandshöhe tagsüber bedeutend höher.

Vor dem Hintergrund dieser Randbedingungen und den damit verbundenen offenen Fragestellungen zur Zustandserfassung des Sammlers initiierte der STEB Paderborn gemeinsam mit dem IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur die Pilotstudie „Inspektion teilgefüllter Kanäle“. Dieses Forschungsvorhaben wurde durch das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (MUNLV) gefördert. Die Ergebnisse des Projektes werden in dem vorliegenden Endbericht dargestellt.

Gegenstand des Pilotvorhabens war es, mehrere Lösungsvarianten zur optischen Inspektion eines 5,7 km langen Teilabschnittes des Paderborner Schmutzwasser-Hauptsammlers zu erarbeiten, eine oder mehrere Varianten auszuwählen und vor Ort umzusetzen. Die im Rahmen der Begleitung der Maßnahmen gewonnenen Erkenntnisse wurden mit Blick auf Vor- und Nachteile der gewählten Vorgehensweisen ausgewertet und auf diese Weise Verbesserungsmöglichkeiten bzw. Einsatzmöglichkeiten und -grenzen der eingesetzten Techniken aufgezeigt. Im Ergebnis werden den Kanalnetzbetreibern allgemeine **Hinweise zur Vorbereitung** von Inspektionsmaßnahmen und zur inspektionsgerechten Planung künftiger Anlagen an die Hand zu geben. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde eine praxisorientierte **Vorgehensweise** gewählt. Zunächst wurden mit Blick auf den gegebenen Anwendungsfall Recherchen zu Techniken und Geräten aus den Themenbereichen optische Inspektion, Kanalreinigung und Vorflutsicherung durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurden insbesondere auch Fragestellungen und Anforderungen aus dem Bereich der

Arbeitssicherheit betrachtet. Anschließend wurden die Randbedingungen des Paderborner Untersuchungsobjektes detailliert ermittelt. Dies beinhaltete u.a. die Sichtung von Bestandsunterlagen, die Erfassung von Praxiserfahrungen des STEB Paderborn, die Begehung der Kanaltrasse sowie die Inspektion und Vermessung der Schachtbauwerke. Im nächsten Arbeitsschritt wurden unterschiedliche Lösungsansätze zur optischen Inspektion des Schmutzwasser-Hauptsammlers erarbeitet, nach einer ersten Vorauswahl zu konkreten Verfahrensvorschlägen weiterentwickelt und schließlich sechs verschiedene Varianten zur optischen Inspektion für die Umsetzung vor Ort ausgewählt. Diese Inspektionstechniken wurden durch Fachfirmen – zum Teil unterstützt durch Personal des STEB Paderborn – im Untersuchungsobjekt angewendet. Im Ergebnis konnte der ausgewählte Teilabschnitt des Schmutzwasser-Hauptsammlers in Bezug auf seine Gesamtlänge von 5,7 km zu 92 % inspiziert werden. Die dafür notwendigen 10 Nachteinsätze wurden durch das IKT begleitet und ausführlich dokumentiert. Aus den dabei gewonnenen Erkenntnissen sowie ergänzenden Untersuchungen (u.a. Interviews mit Kanalnetzbetreibern, Versuchen in IKT-Prüfstrecken) wurden Planungsempfehlungen zur Inspektion teilgefüllter Kanäle abgeleitet. Die einzelnen Projektinhalte sind nachfolgend zusammengefasst.

Kapitel 2 gibt vor dem Hintergrund der als wesentlich eingestuften Randbedingungen des Paderborner Untersuchungsobjektes – Nennweite der Rohre, Durchflussmenge und Füllhöhe – einen Überblick zum **Stand der Technik** bezüglich Verfahren und Geräten zur Inspektion, Kanalreinigung und Vorflutsicherung.

In Kapitel 3 werden **ergänzende Untersuchungen** beschrieben, die durchgeführt wurden, um über den im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie betrachteten Sammler und dessen spezielle Randbedingungen hinausgehend weitere Informationen zum Thema „Inspektion teilgefüllter Kanäle“ zu erfassen.

Zunächst wurden **Interviews mit 16 öffentlichen Kanalnetzbetreibern** geführt, um bereits bestehende Praxiserfahrungen hinsichtlich der Zustandserfassung von Kanälen, in denen ständig hohe Abwassermengen abgeleitet werden, zu erfassen (vgl. Kapitel 3.1). Demnach waren 14 der Entwässerungssysteme, über die berichtet wurde, nicht mit ortsfesten Betriebspunkten (z.B. Schieber) ausgestattet, um teilgefüllte Sammler temporär abwasserfrei halten zu können. Es wurde herausgestellt, dass sowohl die Nachrüstung derartiger Einrichtungen als auch der alternative Einsatz provisorischer Wasserhaltungsmaßnahmen mit hohen Kosten verbunden sind. Vor diesem Hintergrund verzichteten einige Netzbetreiber bei der Inspektion auf aufwendige Techniken zur Vorflutsicherung und tolerieren die Einschränkungen der Zustandserfassung, die sich aus der Teilfüllung ergeben. Im Gegensatz dazu wurde Kompromissen hinsichtlich der Einhaltung arbeitssicherheitstechnischer Vorschriften eine deutliche Absage erteilt. Neben der Vorflutsicherung wurde die Kanalreinigung als wesentliche Voraussetzung für die Inspektion genannt. Probleme bei der Ablagerungsbeseitigung können u.a. entstehen durch Sonderquerschnitte sowie Schächte, die nur eingeschränkt oder überhaupt nicht zugänglich sind. Im Gesamtblick der Befragung ist festzuhalten, dass die Kanalnetzbetreiber bei der Zustandserfassung von teilgefüllten Kanälen den Einsatz von Verfahren zur Reinigung, Vorflutsicherung und Inspektion anstreben, die nicht nur aus technischer Sicht den

Anforderungen des vorliegenden Anwendungsfalles genügen, sondern auch zuverlässig, wirtschaftlich vertretbar und aus arbeitssicherheitstechnischer Sicht geeignet sind.

Im nächsten Schritt wurden vor dem Hintergrund von Überlegungen, im Rahmen der Zustandserfassung des Paderborner Untersuchungsobjektes einen Heber zur Vorflutsicherung einzusetzen und den Kanal durch Begehungen inspizieren zu lassen, ein in Betrieb befindlicher **Heber in Ludwigshafen besichtigt** und eine **Kanalbegehung in Kaiserslautern begleitet** (vgl. Kapitel 3.2). Als Ergebnis der Vor-Ort-Besichtigung des Hebers wurde festgestellt, dass bei diesem Gerät nicht nur die Dimensionierung und Verlegung der Leitung zu beachten ist, sondern auch der gegebenenfalls notwendige Umbau von Schächten zu geeigneten Zu- und Ablaufbauwerken. Mit Blick auf die zu erwartenden Kosten wurde der Einsatz eines Hebers zur temporären Umleitung des Abwassers für die Inspektion des Paderborner Untersuchungsobjektes nicht weiter verfolgt. Demgegenüber legten die Erfahrungen aus der Begleitung einer Kanalbegehung einen solchen Einsatz auch für den Paderborner Haupt-Schmutzwassersammler nahe.

Um schließlich unter reproduzierbaren Randbedingungen Techniken zur Absenkung des Wasserstandes bzw. zur Inspektion der Rohrsohle zu testen, wurden **Versuche in teilgefüllten Prüfstrecken des IKT durchgeführt** (vgl. Kapitel 3.3). Dabei kamen zwei Techniken zum Einsatz. Es wurde zum einen untersucht, inwieweit die Möglichkeit besteht, in einem in Betrieb befindlichen Kanal mit Hilfe einer Ejektordüse eine Absenkung des Wasserspiegels zu erzielen. Anhand der Versuchsergebnisse war insbesondere mit Blick auf die optische Kanalinspektion festzustellen, dass unter den gegebenen Randbedingungen der Wasserspiegel zwar deutlich erkennbar abgesenkt, der Sohlenbereich jedoch nicht vollständig wasserfrei gehalten werden konnte. Die im Rahmen der Versuchsdurchführung beobachtete Spritzwasser- und Aerosolbildung kann sich darüber hinaus negativ auf die Qualität einer parallel durchgeführten optischen Inspektion auswirken. Zum anderen wurde eine Druckkammer zur optischen Inspektion des Sohlbereiches von Kanälen getestet, die – z.B. mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit der Zustandserfassungsmaßnahme – trotz des Einsatzes von Methoden der Vorflutsicherung nicht vollständig abwasserfrei gehalten werden können. Im Ausgangszustand der Versuche war die Druckkammer mit simuliertem Abwasser geflutet. Zur Verdrängung dieses Mediums aus dem Prüfraum wurde zum einen Luft (Variante A) und zum anderen Frischwasser (Variante B) zugeführt. Bei der Versuchsvariante A (Luftzufuhr) konnte das Höhenniveau des simulierten Abwassers innerhalb der Druckkammer zwar deutlich, jedoch nicht vollständig abgesenkt werden. Darüber hinaus führte Spritzwasserbildung zu Einschränkungen bei der Inaugenscheinnahme des Druckkammerinnenraumes. Die optische Inspektion der Rohrsohle erscheint auf diese Weise zumindest teilweise realisierbar. Allerdings bestehen Verbesserungspotentiale hinsichtlich der Absenkung des Wasserspiegels und der Vermeidung von Spritzwasser. Die Umsetzung der Versuchsvariante B (Frischwasserzufuhr) ergab, dass das simulierte Abwasser mit Hilfe des direkt aus dem Trinkwassernetz zugeführten Frischwassers nicht in ausreichendem Maße aus der Druckkammer verdrängt werden konnte. Eine Inaugenscheinnahme der Rohrsohle war daher nicht möglich.

In Kapitel 4 wird die Inspektion teilgefüllter Kanäle mit Blick auf die damit verbundenen Anforderungen aus der **Arbeitssicherheit** betrachtet, denn bei der Durchführung von Arbeiten in abwassertechnischen Anlagen bestehen vielfältige Gefahrenquellen für das vor Ort tätige Personal. Zunächst wird ein **Überblick zu möglichen Gefährdungen** und entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen gegeben (vgl. Kapitel 4.1). Anschließend richten sich die Betrachtungen auf den **Einsatz von provisorischen Rohrabsperngeräten** in Kanälen (vgl. Kapitel 4.2). Dabei handelt es sich um Geräte, mit denen Rohrleitungen provisorisch verschlossen werden können, um beispielsweise das Fördermedium vorübergehend zurückzuhalten oder eine Druckprüfung durchzuführen. In Abhängigkeit ihrer Konstruktion werden fünf Gerätetypen – mechanische, pneumatische, hydraulische Rohrabsperngeräte sowie Rohrabsperblasen und Rohrabsperrkissen – unterschieden. Diese Elemente werden lediglich im Bedarfsfall in einen Kanal oder eine Leitung eingesetzt. Ihr Vorteil gegenüber dauerhaft installierten Bauteilen, wie z.B. Schiebern oder Absperrklappen, liegt in der Flexibilität hinsichtlich der Auswahl des Einsatzortes. Auf der anderen Seite ist die Anwendung von provisorischen Absperrgeräten mit Gefahren für das vor Ort tätige Personal verbunden. Dies wird anhand von Beispielen zu Arbeitsunfällen im Zusammenhang mit dem Einsatz von Dichtblasen verdeutlicht. Vor diesem Hintergrund wurde mit Blick auf die Inspektion des Paderborner Haupt-Schmutzwassersammler untersucht, inwieweit unter Berücksichtigung der gegebenen Randbedingungen und arbeitssicherheitstechnischer Fragestellungen der Einsatz von provisorischen Absperrerelementen möglich ist. Nach dem Ergebnis einer Machbarkeitsstudie erscheint eine spezielle Absperrscheibe für diesen Anwendungsfall geeignet. Es wurde ein entsprechender Konstruktionsentwurf für Rohre der Nennweite DN 1600 entwickelt. Die Absperrscheibe könnte über mehrere Tage sicher verbaut im Kanal verbleiben, da sie mit 2 Durchlässen (inkl. Schiebern) ausgestattet ist, deren Größe mit Blick auf die Aufrechterhaltung der Abwasservorflut dimensioniert wurde.

Vor dem Hintergrund o.a. Recherchen, Praxiserfahrungen und Anforderungen aus der Arbeitssicherheit werden in Kapitel 5 die **In-situ-Inspektionen in Paderborn** ausgehend von den Vorbereitungen bis zur Umsetzung vor Ort beschrieben.

Zunächst werden die **wesentlichen Kenndaten des Entwässerungssystems** der Stadt Paderborn vorgestellt (vgl. Kapitel 5.1). Dessen Hauptschlagader ist ein insgesamt ca. 8 km langer, einzügig gebauter Sammler, der nahezu die gesamte Menge des Paderborner Schmutzwassers aufnimmt und zur Zentralkläranlage transportiert. Gegenstand der vorliegenden Studie war die Inspektion eines ca. 5,7 km langen Abschnittes dieses Kanals.

Um die örtlichen – z.B. baulichen und betrieblichen – Randbedingungen des Untersuchungsobjektes aufzunehmen, wurde eine detaillierte **Ist-Aufnahme** durchgeführt (vgl. Kapitel 5.2). Diese Vorgehensweise beinhaltete mehrere Arbeitsschritte. Zunächst wurden die zur Verfügung stehenden Bestandsunterlagen erfasst und gesichtet. Anschließend wurden Gespräche mit Mitarbeitern des STEB Paderborn geführt, um auf diese Weise Betriebsinformationen aus der Praxis zu erheben, die für die Planung und Umsetzung der Kanalinspektion von Bedeutung sein könnten. Der dritte Schritt beinhaltete eine Begehung der Kanaltrasse inkl. Inaugenscheinnahme der Schächte, da diese Bauwerke den Zugang zum Kanal darstellen und damit von wesentlicher Bedeutung für die Planung und Umsetzung von Inspektionsmaßnahmen sind. Betrachtet wurde sowohl die

Anfahrbarkeit (z.B. Straßen, Wege, Lage im Gelände) und Zugänglichkeit (z.B. verschraubte Deckel) der Schachtöffnungen als auch die Konstruktion (z.B. Anzahl und Anordnung der Bermen) und der bauliche Zustand (z.B. Einstiegshilfen) der Schachtbauwerke. Darüber hinaus wurden in den Schächten stichprobenartig Gasmessungen durchgeführt, um Erkenntnisse über den Gehalt gesundheitsschädlicher oder explosiver Substanzen in der Kanalluft zu gewinnen. Im Rahmen der Ortsbegehung wurde u.a. festgestellt, dass ein Teil der Einstiegshilfen deutliche Anzeichen von Korrosion erkennen ließ und die Schachtbauwerke deutliche Unterschiede hinsichtlich der Konstruktion (z.B. Breite der Auftritte, Höhe des Arbeitsraumes) aufwiesen. Vor diesem Hintergrund und mit Blick auf die oben bereits erwähnte besondere Bedeutung der Schächte für die Kanalinspektion wurde zunächst eine Vermessung und Inspektion sämtlicher Schächte durchgeführt. Als Ergebnis der umfangreichen Ist-Aufnahme lagen detaillierte Informationen über den Haupt-Schmutzwassersammler, seine Schachtbauwerke sowie die in Wechselwirkung stehenden Elemente des Entwässerungssystems der Stadt Paderborn vor.

Auf dieser Basis wurden **Lösungsansätze und -varianten** zu den Themen Kanalreinigung, Wasserhaltung und Inspektion **entwickelt und** anschließend diejenigen **Verfahren ausgewählt**, die unter den gegebenen Randbedingungen für den Vor-Ort-Einsatz geeignet erschienen (vgl. [Kapitel 5.3](#)). Zur Ablagerungsbeseitigung wurde das Untersuchungsobjekt nachts unter Einsatz eines Sohlenreinigers gereinigt. Auf den Einsatz von rundumreinigenden Düsen (z.B. Propellerdüse) und handgeführten Hochdruckreinigern wurde aufgrund des aus Sicht des STEB Paderborn unverhältnismäßig großen Aufwandes und der spezifischen Einsatzrisiken verzichtet.

Das Wasserhaltungskonzept wurde vor dem Hintergrund entwickelt, dass das Paderborner Untersuchungsobjekt keine festinstallierten Einrichtungen (z.B. Schieber oder Pumpstationen) umfasst, um den zu inspizierenden Haupt-Schmutzwassersammler temporär abwasserfrei zu halten. Unter Berücksichtigung der gegebenen örtlichen Randbedingungen sowie von wirtschaftlichen und arbeitssicherheitstechnischen Anforderungen wurden Maßnahmen zur Vorflutsicherung entwickelt, deren Ziel es war, den Wasserstand mit vertretbarem Aufwand so weit wie möglich abzusenken. Dieses Vorgehen beinhaltete zum einen das Absperren eines der wesentlichen Zuläufe zum Haupt-Schmutzwassersammler mit Hilfe eines dort vorhandenen Schiebers und die Zwischenspeicherung des zurückgehaltenen Abwassers in den Becken einer sog. Regenwasserbehandlungsanlage. Zum anderen wurden die Inspektionen in den im Tages-Vergleich zuflussarmen Nachtstunden zwischen 0.00 Uhr und 6.00 Uhr durchgeführt. Darüber hinaus wurden die Termine zur Zustandserfassung mit den Industriebetrieben, die in der Regel auch nachts erhebliche Abwassermengen einleiten, abgestimmt, um so eine weitere Reduzierung der Zulaufmengen zu erreichen.

Mit Blick auf die Faktoren Qualität der Inspektion, bauliche und betriebliche Randbedingungen des Untersuchungsobjektes, Anforderungen aus der Arbeitssicherheit sowie Ressourcen, Technik und Know-how wurden sechs Inspektionstechniken zur Zustandserfassung des Untersuchungsobjektes ausgewählt. Dabei handelte es sich um drei fahrende Robotersysteme, wie sie in ähnlicher Art auch bei der Inspektion von nicht-

begehbaren Kanälen üblich sind, ein schwimmendes Robotersystem sowie jeweils eine technische Lösung zur bemannten Befahrung bzw. Kanalbegehung.

Die **Umsetzung** der Inspektionsplanungen im Rahmen von insgesamt zehn Vor-Ort-Einsätzen wurde durch den STEB Paderborn und das IKT begleitet und insbesondere mit Blick auf die Einsatzmöglichkeiten und -grenzen der ausgewählten Inspektionstechniken ausführlich dokumentiert und beschrieben (vgl. Kapitel 5.4). Im Ergebnis konnte der ausgewählte Teilabschnitt des Paderborner Haupt-Schmutzwassersammlers in Bezug auf seine Gesamtlänge von 5,7 km zu 92 % inspiziert werden. Im Gegensatz dazu war die Zustandserfassung von zwei Abschnitten (154 m bzw. 322 m lang) nicht möglich, weil die Schächte aufgrund örtlicher Randbedingungen nicht anfahrbar waren. Hinsichtlich des gewählten Wasserhaltungskonzeptes ist festzuhalten, dass es gelang, die Abflussmenge im Kanal temporär abzusenken. Die **Wasserstandshöhe** betrug bei der Durchführung der Inspektionen **zwischen 10 und 30 cm**. Damit lag sie zum Teil deutlich unterhalb der minimalen Teilfüllungshöhe von 30 bis 40 cm, die unter regulären Betriebsbedingungen nur in Nächten von Trockenwetterperioden erreicht wird.

In Kapitel 6 werden **Planungsempfehlungen** für die Inspektion teilgefüllter Kanäle beschrieben. Diese Hinweise wurden aus Erkenntnissen abgeleitet, die im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie gewonnen bzw. erfasst wurden. Sie beziehen sich **zum einen** auf die Inspektion **bestehender Kanäle**. Hierfür wird eine dreistufige Vorgehensweise, von der Ist-Aufnahme und Entwicklung von Lösungsvarianten bis zur Verfahrensauswahl, vorgeschlagen. **Zum anderen** werden Empfehlungen **für den Bau zukünftiger Anlagen** gegeben. Hier bleibt festzustellen, dass als Grundvoraussetzung für eine Inspektion die **ausreichende Zugänglichkeit** zum Sammler an allen Schachtbauwerken gegeben sein muss und unterstützende Maßnahmen zur Wasserhaltung bereits zu berücksichtigen sind. Dies gilt insbesondere, wenn keine festinstallierten Absperreinrichtungen vorgesehen sind. Da auch bei der unbemannten Inspektion zur Installation der Inspektionstechnik stets Personal im Bereich des Schachtgerinnes eingesetzt werden muss, sind provisorische Wasserhaltungsmaßnahmen i.d.R. mit einem außergewöhnlich hohen arbeitssicherheitstechnischen Aufwand verbunden. Diese Aspekte sind sowohl bei der Planung der Schachtbauwerke als auch der konzeptionellen Auslegung der Vorflutsicherung zu berücksichtigen.

Als **Ausblick** aus den Erkenntnissen, die im Rahmen der vorliegenden Pilotstudie bei den umfangreichen Vor-Ort-Einsätzen unterschiedlicher Inspektionstechniken gesammelt wurden, strebt der STEB Paderborn die Umsetzung verschiedener Maßnahmen an. Zum einen soll der Zustand der insgesamt 476 m langen Abschnitte (entspricht 8 % der Gesamtlänge) des Untersuchungsobjektes, die während der Projektlaufzeit nicht inspiziert werden konnten, erfasst werden. Um die Voraussetzungen dafür zu schaffen, ist geplant, die Zugänglichkeit der Schächte im Trassenverlauf zwischen Verner Straße und Römerstraße (vgl. Abb. 77) durch den **Bau von befestigten Anfahrtswegen**, die auf die Anforderungen der für den Kanalbetrieb notwendigen Einsatzfahrzeuge abgestimmt sind, sicherzustellen. In diesem Zusammenhang waren vorab Fragestellungen hinsichtlich des notwendigen Erwerbs von Grundstücksflächen zu klären. Zum anderen ist vorgesehen, mehrere ortsfeste **Schieber** in das Untersuchungsobjekt **einzubauen**. Die Standorte dieser

Absperreinrichtungen sollen so gewählt werden, dass der Haupt-Schmutzwassersammler abschnittsweise temporär abwasserfrei gehalten werden kann. Als Zwischenspeicher für das zurückgestaute Abwasser soll der bestehende Kanal dienen. Die Installation der Schieber verspricht im Ergebnis nicht nur Vorteile für die Inspektion des Sammlers, sondern auch für die Durchführung von gegebenenfalls in der Zukunft notwendigen punktuellen Sanierungsmaßnahmen. Darüber hinaus ist es auch denkbar, diese Absperreinrichtungen zur regelmäßigen Erzeugung von Spülwellen zu nutzen und dadurch Kosten für die Hochdruckreinigung mit Wasserstrahlen einzusparen. Offen ist bisher noch, inwieweit die Schieber im Betriebszustand des Kanals, d.h. unter Teilfüllung, eingebaut werden können.

8 Literatur

- [1] Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Arbeitsblatt A 140: Regeln für den Kanalbetrieb – Teil I: Kanalbetrieb; Hennef, GFA (März 1990).
- [2] Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Merkblatt M 143, Teil 1: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Grundlagen; Hennef, GFA (August 2004).
- [3] Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Entwurf zum Merkblatt M 149, Teil 2: Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Kodiersystem für die optische Inspektion (Ersatz für Merkblatt M 143-2 des DWA-Regelwerkes); Hennef, GFA (Februar 2006).
- [4] Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Entwurf zum Arbeitsblatt A 147: Betriebsaufwand für die Kanalisation – Teil 1: Betriebsaufgaben und Häufigkeiten; Hennef, GFA (April 2003).
- [5] Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Merkblatt M 143, Teil 2: Optische Inspektion – Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen; Hennef, GFA (April 1999).
- [6] Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Merkblatt M 149: Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden; Hennef, GFA (April 1999).
- [7] Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitung von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem (Selbstüberwachungsverordnung Kanal – SüwV Kan); Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land NRW, Nr. 49: S. 64-67; Düsseldorf 1995.
- [8] Bosseler, B.; Birkner, T.: Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) bei den kommunalen Netzbetreibern und Wasserverbänden in NRW; Endbericht des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (Dezember 2003), Download unter www.ikt.de.
- [9] Protokoll der Abschlussbesprechung zum Vorhaben „Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) bei den kommunalen Netzbetreibern und Wasserverbänden in NRW“ vom 09.12.2003.
- [10] DIN EN 13508-2: Zustandserfassung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion; Berlin, Beuth Verlag (September 2003).

- [11] DIN EN 752-5: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 5: Sanierung; Berlin, Beuth Verlag (November 1997).
- [12] DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden; Norm-Entwurf; Berlin, Beuth Verlag (Oktober 2005).
- [13] Internetauftritt der Ritec GmbH, Rohr-Inspektions-Technik, Haldenwang: www.ritec-tv.de (Stand März 2007).
- [14] Internetauftritt der EnviroSight LLC, Randolph, USA: www.envirosight.com (Stand März 2007).
- [15] Internetauftritt der Everest VIT GmbH, Hamburg: www.everestvit.de (Stand März 2007).
- [16] Internetauftritt der Bodemann GmbH, Dornbirn, Österreich: www.bodemann.com (Stand März 2007).
- [17] Internetauftritt der IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG, Kiel: www.ibak.de (Stand März 2007).
- [18] Firmeninformation der Radiodetection Limited, Bristol, UK (Stand: Juli 2005).
- [19] Internetauftritt der Wolfgang Rausch GmbH & Co. KG, Weißenberg bei Lindau: www.rauschtv.net (Stand März 2007).
- [20] Firmeninformation der Pader Kanal Technik – Rohr Frei GmbH & Co. KG, Paderborn.
- [21] Internetauftritt der GE Inspection Technologies GmbH, Hürth: <http://www.geinspectiontechnologies.com> (Stand März 2007).
- [22] Internetauftritt der RICO EAB Gesellschaft für Microelektronik mbH, Kempten: www.rico-eab.de (Stand März 2007).
- [23] Internetauftritt der Gullyver Gesellschaft für mobile Inspektionssysteme mbH, Bremen: www.gullyver.de (Stand März 2007).
- [24] Internetauftritt der Firma Research & Production Taris, Moskau, Russland: www.taris.ru (Stand März 2007).
- [25] Internetauftritt der Firma Cobra Technologies, Smyrna, USA: www.cobratec.com (Stand März 2007).
- [26] Internetauftritt der Firma RS Technical Services, Petaluma, USA: www.rstechserv.com (Stand März 2007).
- [27] Information der Fa. Meyer Entsorgung, Osnabrück.
- [28] Firmeninformation der Lönne Entsorgung GmbH & Co. KG, Lippstadt.
- [29] Althoff, H.; Elkmann, N.; Gruen, E; Stemplewski, J.; Development of automated inspection devices of large combined sewers under operation; Vortragsskript zur Veranstaltung No Dig 2006 in Brisbane (Australien), Download unter www.nodig06.im.com.au/papers.htm (Stand März 2007).

- [30] Internetauftritt des Fraunhofer-Institut Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF), Magdeburg: www.iff.fraunhofer.de (Stand Dezember 2006).
- [31] Stemplewski, J.; Althoff, H.; Teichgräber, B.; Elkmann, N.: Automatisierte Inspektions- und Reinigungssysteme für teilgefüllte Abwasserkanäle DN 1400 – DN 2800; KA – Abwasser, Abfall (2006), Heft 6, S. 587-592.
- [32] Wendel, J. (hanseWasser Bremen): Inspektion und Dokumentation von begehbaren Kanälen; Vortragsskript zur ATV-DVWK-Veranstaltung „3. Erfahrungsaustausch Kanalinspektion“; Kassel (November 2003, unveröffentlicht).
- [33] Information Firma Dipl.-Ing. Bernd Otte, Bremen.
- [34] Firmeninformation hanseWasser Bremen GmbH.
- [35] Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Merkblatt M 143, Teil 2: Optische Inspektion – Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen; Hennef, GFA (April 1999).
- [36] BGV C5: Abwassertechnische Anlagen (Oktober 1995 / Fassung: Januar 1997); Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (Unfallverhütungsvorschrift), Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) in Kooperation mit dem Carl Heymanns Verlag, Download unter www.arbeitssicherheit.de bzw. www.hvbg.de.
- [37] Firmeninformation der JT-elektronik GmbH, Lindau/Bodensee.
- [38] Information der Stadt Minden, Abteilung Abwasserwirtschaft, Fachbereich Kanalnetzbetrieb.
- [39] Information der Fa. Tauchunternehmen und Apparatebau Hirt, Koblenz.
- [40] Internetauftritt der Fa. Tauchunternehmen Leunert, Bad Saarow-Pieskow: www.leunert.de (Stand Dezember 2006).
- [41] Internetauftritt der Eurodiver 24 GmbH, Bendorf: www.eurodiver24.com (Stand März 2007).
- [42] Internetauftritt der Fa. Tauchunternehmen und Apparatebau Hirt, Koblenz: www.hirt-tauchunternehmen.de (Stand März 2007).
- [43] Internetauftritt der Fa. Backers Transport- & Hubservice BTS-LIFT, Wittmund: www.bts-lift.de (Stand März 2007).
- [44] Internetauftritt der Nordseetaucher GmbH, Ammersbek: www.nordseetaucher.de (Stand Februar 2007).
- [45] Internetauftritt des Kasseler Entwässerungsbetriebes (Eigenbetrieb der Stadt Kassel): www.ks-keb.de (Stand März 2007).
- [46] Internetauftritt der Fa. Taucherbetrieb Gilz, Dormagen: www.taucherbetrieb.de (Stand März 2007).

- [47] Forschungsprojekt: Vorrichtung zur Inspektion und Instandhaltung von in Betrieb befindlichen Abwasserkanälen und -leitungen; Endbericht der Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; Bochum (Juni 2002, unveröffentlicht).
- [48] Internetauftritt der ISAS GmbH, Füssen: www.kanalsanierung.com (Stand März 2007).
- [49] Internetauftritt der Brendle GmbH, Hülben: www.brendle-gmbh.de (Stand März 2007)].
- [50] Bosseler, B.; Schlüter, M.: Kanalreinigung – Düsen, Drücke, Hochdruckstrahlen; Endbericht des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (Dezember 2004), Download unter www.ikt.de.
- [51] Internetauftritt der KEG Kanalreinigungstechnik GmbH, Burgstädt-Herrenhaide: www.keg-pipe.com (Stand März 2007).
- [52] Bosseler, B.; Bennerscheidt C.: Einsatz der Ejektortechnik bei der Dükerreinigung und -inspektion; Endbericht des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (Juni 2004), Download unter www.ikt.de.
- [53] Internetauftritt der Firma Quest Kommunal und Industriebedarf, Herford: www.quest-kommunal.de (Stand März 2007).
- [54] Internetauftritt der Firma Dipl.-Ing. Bernd Otte, Bremen: www.ejektorduesen.de (Stand März 2007).
- [55] Marktübersicht „Kanalreinigungsdüsen“; Internetauftritt des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen; www.ikt.de (Stand März 2007).
- [56] Internetauftritt der Firma USBDüsen, Bretzfeld-Schwabbach: www.usbduesen.de (Stand März 2007).
- [57] Internetauftritt der Enz Technik AG, Giswil, Schweiz: www.enz.com (Stand März 2007)
- [58] Internetauftritt der Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften, Düsseldorf: www.vmbg.de (Stand März 2007)
- [59] BGV D15: Arbeiten mit Flüssigkeitsstrahlern (Oktober 1993 / Fassung: Januar 1997); Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (Unfallverhütungsvorschrift), Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Download unter www.hvbg.de.
- [60] DIN 4045: Abwassertechnik, Grundbegriffe; Berlin, Beuth Verlag (August 2003).
- [61] DIN 4049-1: Hydrologie, Grundbegriffe; Berlin, Beuth Verlag (Dezember 1992).

- [62] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisationen; 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1998.
- [63] Internetauftritt der VAG-Armaturen GmbH, Mannheim: www.vag-armaturen.com (Stand März 2007).
- [64] Internetauftritt der GEFA Prozesstechnik GmbH, Dortmund: www.gefa.com (Stand März 2007).
- [65] Internetauftritt der FRIATEC AG, Mannheim: www.friatec.de (Stand März 2007).
- [66] BGI 802: Sicherheitshinweise für die Arbeit mit provisorischen Rohrabsperngeräten; Tiefbau-Berufsgenossenschaft, München und Carl Heymanns Verlag KG, Köln (Oktober 2001).
- [67] Informationsmaterial der Beck GmbH, Bad Rappenau.
- [68] Internetauftritt der MÜLLER Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Schieder-Schwalenberg: www.mueller-umwelt.de (Stand: März 2007).
- [69] Internetauftritt der epros GmbH, Duisburg: www.epros.de (Stand März 2007).
- [70] Internetauftritt der EHLE - HD Entwicklungs- und Vertriebsgesellschaft mbH, Gerichshain: www.ehle-hd.com (Stand März 2007).
- [71] Internetauftritt der städtler + beck GmbH, Speyer: www.splusb.de (Stand März 2007).
- [72] Internetauftritt der HST Hydro-Systemtechnik GmbH, Meschede: www.systemtechnik.net (Stand März 2007).
- [73] Bosseler, B.; Schlüter, M.; Diburg, S.: Neue Methode zur Schwallspülung: „Spülsack“ – Vorbereitung für den Praxiseinsatz; Endbericht des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag des Bergisch-Rheinischen Wasserverbandes (Mai 2004), Download unter www.ikt.de.
- [74] Firmeninformation Heide-Pumpen GmbH, Gelsenkirchen: Produktkatalog.
- [75] Internetauftritt der Heide-Pumpen GmbH, Gelsenkirchen: www.heide-pumpen.de (Stand März 2007).
- [76] Firmeninformation der Conrad Pollmann Norddeutsche Karosseriefabrik und Pumpenbau GmbH, Bremen: Produktkatalog.
- [77] Internetauftritt der Conrad Pollmann Norddeutsche Karosseriefabrik und Pumpenbau GmbH, Bremen: <http://www.pollmann-pumpen.de> (Stand März 2007).
- [78] Information über den Heber 2000 der Fa. Bernhard Schmidt, Hennef.
- [79] Internetauftritt des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn: <http://www.bbr.bund.de/bauwesen/umweltschutz/abwasservorflut.htm>.
- [80] Information des Stadtentwässerungsbetriebes der Stadt Düsseldorf.
- [81] Firmeninformation der BASF AG, Ludwigshafen.

- [82] BGR 236: Rohrleitungsbauarbeiten (Januar 2006)/vorherige ZH 1/559; Berufsgenossenschaftliche Regel für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) in Kooperation mit dem Carl Heymanns Verlag, Download unter www.arbeitssicherheit.de bzw. www.hvbq.de.
- [83] BGR 126: Sicherheitsregeln für Arbeiten in umschlossenen Räumen von abwassertechnischen Anlagen (April 1988 / aktualisierte Fassung 1995) / vorherige ZH 1/177; Berufsgenossenschaftliche Regel für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) in Kooperation mit dem Carl Heymanns Verlag, Download unter www.arbeitssicherheit.de bzw. www.hvbq.de.
- [84] BGV A1: Grundsätze der Prävention (Januar 2004) / vorherige VBG1; Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (Unfallverhütungsvorschrift), Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) in Kooperation mit dem Carl Heymanns Verlag, Download unter www.arbeitssicherheit.de bzw. www.hvbq.de.
- [85] BGV C22: Bauarbeiten (Januar 2002) / vorherige VBG 37; Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (Unfallverhütungsvorschrift), Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) in Kooperation mit dem Carl Heymanns Verlag, Download unter www.arbeitssicherheit.de bzw. www.hvbq.de.
- [86] BGR 193: Benutzung von Kopfschutz (Januar 2000) / vorherige ZH 1/704; Berufsgenossenschaftliche Regel für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) in Kooperation mit dem Carl Heymanns Verlag, Download unter www.arbeitssicherheit.de bzw. www.hvbq.de.
- [87] BGR 191: Benutzung von Fuß- und Beinschutz (Juli 2000 / Fassung: Oktober 2001) / vorherige ZH 1/702; Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Download unter www.infopool-bau.de.
- [88] BGR 195: Einsatz von Schutzhandschuhen (April 1994) / vorherige ZH 1/706; Berufsgenossenschaftliche Regel für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) in Kooperation mit dem Carl Heymanns Verlag, Download unter www.arbeitssicherheit.de bzw. www.hvbq.de.
- [89] BGG 906: Grundsätze für Auswahl, Ausbildung und Befähigungsnachweis von Sachkundigen für persönliche Schutzausrüstungen gegen Absturz (Oktober 1995) / vorherige ZH 1/55; Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) in Kooperation mit dem Carl Heymanns Verlag, Download unter www.arbeitssicherheit.de bzw. www.hvbq.de.

- [90] DIN EN 361: Persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz – Auffanggurte; Berlin, Beuth Verlag (September 2002).
- [91] BGR 198: Einsatz von persönlichen Schutzausrüstungen gegen Absturz (April 1998 / Fassung: Oktober 2004) / vorherige ZH 1/709; Berufsgenossenschaftliche Regel für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) in Kooperation mit dem Carl Heymanns Verlag, Download unter www.arbeitssicherheit.de bzw. www.hvbg.de.
- [92] BGR 199: Benutzung von persönlichen Schutzausrüstungen zum Retten aus Höhen und Tiefen (April 2004) / vorherige ZH 1/170; Berufsgenossenschaftliche Regel für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) in Kooperation mit dem Carl Heymanns Verlag, Download unter www.arbeitssicherheit.de bzw. www.hvbg.de.
- [93] BGR 190: Benutzung von Atemschutzgeräten (April 2004) / vorherige ZH 1/701; Berufsgenossenschaftliche Regel für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) in Kooperation mit dem Carl Heymanns Verlag, Download unter www.arbeitssicherheit.de bzw. www.hvbg.de.
- [94] Information der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG Bau), Prävention Tiefbau, unveröffentlicht.
- [95] Artikel in der Tageszeitung „Nürnberger Nachrichten“; Verlag Nürnberger Presse Druckhaus Nürnberg GmbH & Co., Nürnberg (Dezember 2005).
- [96] Kaufmann, O.: Machbarkeitsstudie bezüglich der temporären Absperrung eines ständig teilgefüllten Schmutzwassersammlers in Paderborn (DN 1600/DN 1800); Bericht des Ingenieurbüros Dr.-Ing. Olaf Kaufmann (öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Kanalisationstechnik und Dichtheitsprüfungen) im Auftrag des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Bochum/Köln (Dezember 2006, unveröffentlicht).
- [97] Firmeninformation der städtler + beck GmbH, Speyer: www.splusb.de.
- [98] Internetauftritt der Stadt Paderborn, Amt für Öffentlichkeitsarbeit und Stadtmarketing: www.paderborn.de (Stand März 2007).
- [99] Internetauftritt des Informationssystems der Archive in Nordrhein-Westfalen (NRW): www.archive.nrw.de (Stand März 2007).
- [100] Bestandsunterlagen des Stadtentwässerungsbetriebs (STEB) Paderborn (unveröffentlicht).
- [101] Internetauftritt der BKU Beton-Korrosionsschutz GmbH, Lampertheim: www.bku-gmbh.com (Stand März 2007).

- [102] Internetauftritt der Staatl. Fachschule für Agrarwirtschaft Landshut-Schönbrunn in Landshut (Bayern): www.fachschule-gartenbau.de/wegebau.htm (Stand März 2007); Hinweis auf eine mündliche Mitteilung der DENSO GmbH, Leverkusen.
- [103] Firmeninformation der BKU Beton-Korrosionsschutz GmbH, Lampertheim.
- [104] DIN EN 1917: Einsteig- und Kontrollschächte aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton; Berlin, Beuth Verlag (April 2003).