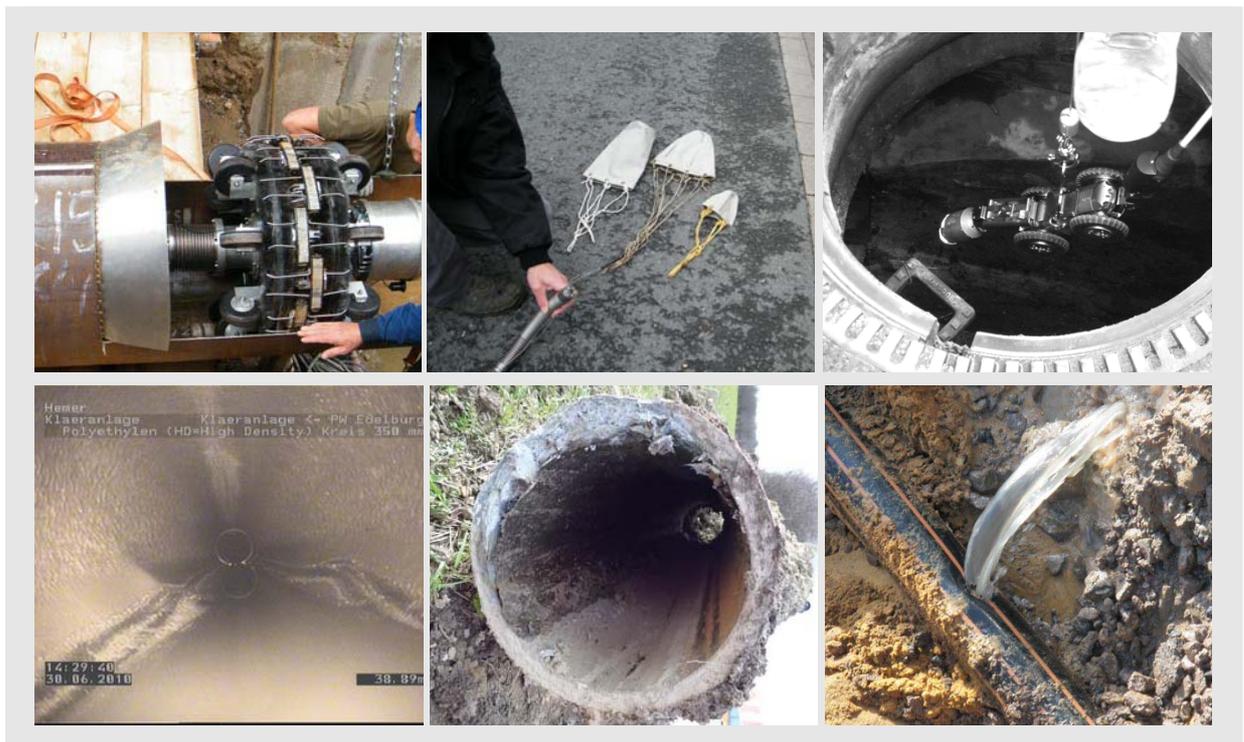


Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und –dükern

- Phase I -

Handlungsempfehlungen unter technischen
und wirtschaftlichen Aspekten

Langfassung



AZ I-2-ZV-08/058.4 – Einzelauftrag 2 (IV-7-042 600 004 B)

Harting, K.
Gelsenkirchen, Februar 2011

Fördernde Stelle



Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

Bearbeitung



IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

Wissenschaftliche Leitung

PD Dr.-Ing. Bert Bosseler

Projektleitung und Bearbeitung

Dipl.-Ing. (FH) Kathrin Harting

Dipl.-Ing. (FH) Maria Dedussi

Wir danken allen Mitgliedern des Lenkungskreises für die zahlreichen Anregungen und die fachlichen Diskussionen sowie die weitreichende Unterstützung bei der inhaltlichen Bearbeitung des Forschungsprojektes:

Herr Dipl.-Ing. Hans Peter Bauer - Stadtwerke Sundern,
Herr Ltd. BD Gerhard Bebandorf - Landeshauptstadt Kiel Stadtentwässerung,
Herr Dipl.-Ing. Michael Böke-Hasselmeier - Wirtschaftsbetriebe Porta Westfalica,
Herr Dipl.-Ing. (FH) Axel Borges - Stadtentwässerungsbetrieb der Stadt Düsseldorf,
Herr Dipl.-Ing. (FH) Ludger Becker - Stadt Recklinghausen,
Frau Dipl.-Ing. Bianca Burger - Göttinger Entsorgungsbetriebe,
Frau Dipl.-Ing. Iris Carstensen - Hamburg Wasser,
Herr Dipl.-Ing. Andreas Dudzik - Emschergenossenschaft und Lippeverband,
Herr Jürgen Frick - Technische Betriebe Leverkusen,
Herr Dipl.-Ing. Rainer Gerlach - Entwässerung Stadt Witten,
Herr Dipl.-Ing. (FH) Jörg Gisselmann - Zweckverband Ostholstein ZVO Entwässerung,
Herr Dipl.-Ing. Frank Grauvogel - Technische Werke Burscheid AöR,
Herr Dipl.-Ing. Willi Große - Amt für Stadtentwässerung Hemer,
Herr Andreas Hans - Stadt Willich,
Herr Dipl.-Ing. Rainer Hein - Abwasserbetrieb der Stadt Billerbeck,
Herr Dipl.-Ing. Bernd Hellweg - Gemeinde Holzwickede,
Herr Norbert Hildebrand - Technische Werke Burscheid AöR,
Herr Dipl.-Ing. Cornelius Hünemeyer - Hamburger Stadtentwässerung AöR,
Herr Dipl.-Ing. (FH) Guido Jüssen - Abwasserwerk der Stadt Bad Honnef,
Herr Dipl.-Ing. (FH) Peter Jungblut - Abwasserbetrieb Erkelenz,
Herr Jörg Klaer - Stadtbetrieb Abwasserbeseitigung Lünen AöR,
Herr Christian Koch - Stadt Olpe,
Herr Dipl.-Ing. Karl-W. Krebbing - Technische Werke Emmerich GmbH,
Frau Dipl.-Ing. Anja Kreißler - Landeshauptstadt Kiel Stadtentwässerung,
Frau Dipl.-Ing. Bianca Kurzke - Stadt Recklinghausen,
Herr Dipl.-Ing. Olaf Kühl - Stadt Recklinghausen,
Herr Michael Lanz-Eckstein - ISN Infrastruktur Neuss AöR,
Herr Dipl.-Ing. Andreas Manzke - Zweckverband Ostholstein ZVO Entwässerung,
Herr Dipl.-Ing. Norbert Montag - Stadt Rietberg Abwasserbetrieb,
Dipl.-Ing. (FH) BOR Volker Nachtmann - Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg,
Herr Dipl.-Ing. Matthias Neumann - Gemeinde Möhnesee,
Frau Dipl.-Ing. Nina Radtke - Technische Werke Emmerich am Rhein GmbH,
Herr Dipl.-Ing. Werner Rusteberg - Göttinger Entsorgungsbetriebe,
Herr Dipl.-Ing. Karsten Schliekert - Entwässerung Stadt Witten,
Herr Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marco Schröder - Gemeindewerke Herzebrock-Clarholz,
Herr Dipl.-Ing. Matthias Setter - Stadt Rietberg Abwasserbetrieb,
Herr Dipl.-Ing. Uwe Stampf - Landeshauptstadt Stuttgart Eigenbetrieb Stadtentwässerung,
Frau Dipl.-Ing. Dagmar Trautzsch - Göttinger Entsorgungsbetriebe,
Herr Michael Weniger - Entwässerung Stadt Witten,
Herr Oliver Zimmermann - Stadt Rietberg Abwasserbetrieb.

Inhaltsverzeichnis

1	VERANLASSUNG, ZIELSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE.....	1
2	BAULICHE RANDBEDINGUNGEN UND BETRIEBSERFAHRUNGEN	3
2.1	Düker, Druckleitung und Druckleitungsnetz – Einsatzbereiche und Begriffsunterscheidung	3
2.2	Anforderungen an Inspektion und Wartung, Betriebserfahrungen der Betreiber	6
2.3	Materialien und Nennweiten.....	11
2.4	Verlauf und Zugänglichkeiten	14
2.5	Kenntnisse zum Druckleitungsbestand	17
3	SCHADENSARTEN UND -BILDER.....	18
3.1.1.1	Metallische Leitungen	19
3.1.1.2	Kunststoffleitungen	25
3.1.1.3	Asbestzementleitungen.....	28
4	ZUSTANDSERFASSUNG – TECHNIKÜBERBLICK UND EINSATZVORAUSSETZUNGEN	31
4.1	Innen-Inspektion	31
4.1.1	Kanalkameras	31
4.1.1.1	Fahrwagenkameras	32
4.1.1.2	Axialkamera mit Saugschirm	34
4.1.1.3	Kanalradar	36
4.1.1.4	Laser-Querschnittsvermessung	38
4.1.2	Inspektionsroboter.....	40
4.1.3	Inspektionsmolche	42
4.1.3.1	Ultraschall	45
4.1.3.2	Magnetstreulfluss.....	46
4.1.3.3	Wirbelstrom.....	48
4.1.3.4	Mechanische Geometriemessung	49
4.1.3.5	Akustische Leckageortung.....	50
4.1.3.6	Geodätische Lagevermessung	50
4.1.3.7	Optische Inspektion	51
4.1.4	Eingespülte oder gezogenen Techniken.....	52
4.1.4.1	Eingezogenes Gerät zur mechanischen Kaliber- und Verformungsmessung.....	52
4.1.4.2	Ballartiges eingespültes Hydrophon zur Leckageortung.....	53

4.1.4.3	Mit Schirm eingezogenes Hydrophon zur Leckageortung	55
4.1.4.4	Eingezogenes Gerät mit Ringlaserkreisel und Wegaufnehmer zur Lagevermessung	57
4.2	Außen-Inspektion	58
4.2.1	Prüfung an freigelegter Rohrwand	58
4.2.1.1	Elektromagnetische Prüftechnik	58
4.2.1.2	Ultraschall	60
4.2.2	Prüfung erdüberdeckter Rohre.....	62
4.2.2.1	Akustische Leckageortung.....	62
4.2.2.2	Leckageortung mit Tracergas und gelöstem Helium	63
4.2.2.3	Thermografie zur Leckage- und Leitungsortung	64
4.2.2.4	Georadar zur Leitungsortung und Detektion von Lagerungsdefekten ..	65
4.2.2.5	Begehung der Leitungstrasse	68
4.2.2.6	Permanente akustische / optische Bruchüberwachung	68
4.3	Wasserdruckprüfung	69
4.4	Prüfungen an Werkstoffproben.....	74
5	TECHNIKEN ZUR WASSERHALTUNG.....	75
6	PRAXISEINSÄTZE	78
6.1	Dichtheitsprüfung.....	80
6.1.1	Testleitung PVC DN 200	80
6.1.2	Testleitung PE-HD DI 75.....	83
6.2	Axialkamera mit Saugschirm	84
6.2.1	Testleitung PE-HD DI 100.....	84
6.2.2	Testleitung PE-HD DI 50.....	88
6.3	Fahrwagenkamera.....	92
6.3.1	Testleitung PE-HD DI 355.....	92
6.3.2	Testleitung Guss DN 300	98
6.3.3	Testleitung Guss DN 300 (zweiter Einsatz)	102
6.4	Eingespülte Dreh-Schwenkkopfkamera	105
6.4.1	Düker Stahl DN 350	105
6.4.2	Testleitung Asbestzement DN 150.....	108
6.4.3	Testleitung PVC DN 125	112
6.5	Innenradar	116

6.5.1	Testleitung Asbestzement DN 500.....	116
6.5.2	Testleitung Guss DN 500	119
6.6	Georadar	121
6.6.1	Testleitung Asbestzement DN 300.....	121
6.6.2	Testleitung Asbestzement DN 300 (zweiter Einsatz)	123
6.7	Wirbelstromscannen.....	127
6.7.1	Testleitung Guss DN 300 – Außenanwendung.....	127
6.7.2	Testleitung Stahl DN 700 – Innenanwendung.....	130
6.8	Akustische Leckageortung, Testleitung Spannbeton DN 1400	132
6.9	Fazit aus Testeinsätzen.....	136
7	HINWEISE UND BEWERTUNGSMATRIX ZUR TECHNIKAUSWAHL.....	138
8	HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	148
8.1	Zustandserfassung bestehender Leitungen	148
8.2	Planung und Bau.....	156
9	FAZIT	159
10	AUSBLICK	163
11	LITERATURVERZEICHNIS	164

1 Veranlassung, Zielstellung und Vorgehensweise

Pumpstationen und Abwasserdruckleitungen sind vielfach Bestandteil der Kanalisation. Sie werden in Netzbereichen eingesetzt, in denen eine Entwässerung über Freispiegelkanäle technisch schwierig umgesetzt werden kann oder mit hohen Kosten verbunden ist. Dies ist insbesondere der Fall bei mangelndem Geländegefälle, geringem oder nur zeitweisem Abwasseranfall z.B. aufgrund geringer Siedlungsdichte, zu querenden Hindernissen und ungünstigen Untergrundverhältnissen z.B. durch Fels oder bei hohen Grundwasserständen. In Nordrhein-Westfalen betreiben rund 90 % der Kanalnetzbetreiber (357 von insgesamt 396) Druckrohrleitungen [1]. Die Gesamtlänge der Druckrohrleitungen in NRW beläuft sich auf 3.491 km und entspricht damit einem Anteil von knapp 4 % des gesamten öffentlichen Abwassernetzes [1].

Abwasserdüker gehören zu den sogenannten Kreuzungsbauwerken. Kreuzungsbauwerke sind erforderlich, wenn Leitungen in ihrem Verlauf auf Hindernisse treffen. In Nordrhein-Westfalen werden von den insgesamt 396 kommunalen Netzbetreibern und elf Wasserverbänden insgesamt 1.278 Abwasserdüker betrieben [1]. Eine Umfrage des IKT unter 208 nordrhein-westfälischen Netzbetreibern ergab, dass 131 (63 %) der befragten Betreiber über einen oder mehrere Düker verfügen [2].

Bei Druckleitungen und Dükern ist es besonders wichtig, eine dauerhafte Funktionsfähigkeit sicherzustellen. Fällt eine Druckleitung bzw. die Pumpstation aus oder ist der Durchfluss in einem Düker behindert, können Einstauungen und Überschwemmungen und damit Risiken für Grundwasser und Vorfluter sowie Schäden bei Anschlussnehmern die Folge sein. Bei Undichtigkeiten der Leitungen kann Abwasser in Grundwasser und Boden gelangen und es können Hohlräume im umliegenden Erdreich entstehen, sodass auch Schäden an der Geländeoberfläche nicht auszuschließen sind. Ablagerungen in Druckleitungen können zu verringerten Förderströmen der Pumpen und erhöhten Betriebskosten führen.

Im Bereich der Freigefälleleitungen gehört die (optische) Zustandserfassung zu den üblichen betrieblichen Aufgaben und wird spätestens seit der Einführung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal [3] in NRW bzw. der Eigenkontrollverordnungen der Länder flächendeckend umgesetzt. Anders stellt sich dies bei Druckrohrleitungen dar. Wartungsarbeiten und Inspektionen beschränken sich im Regelfall auf Pumpstationen und Be- und Entlüftungsventile der Leitungen. Inspektionen der Leitungen während ihrer Betriebszeit werden im Regelfall nicht vorgesehen und die Leitungen gelten nach DWA Arbeitsblatt 116-2 als wartungsfrei [4]. Dennoch stellt sich vielen Netzbetreibern die Frage, in welchem Zustand sich die Leitungen befinden, insbesondere wenn bereits betriebliche Störungen aufgetreten sind. Spätestens zum Ende der geplanten Nutzungsdauer steht die Entscheidung an, ob eine Leitung weiterhin betrieben werden soll, um möglicherweise vorhandene technische Nutzungsdauerreserven ausnutzen und Kosten einsparen zu können, oder ob die Leitung erneuert bzw. saniert werden soll. Diese Entscheidung lässt sich jedoch ohne Kenntnisse über den Leitungszustand kaum treffen.

Um den Zustand von Druckleitungen beurteilen zu können, sind Maßnahmen zur Zustandserfassung erforderlich. Da jedoch Inspektionen während des Betriebs bei Planung und Bau von Druckleitungen meist nicht vorgesehen werden, fehlen Zugangsöffnungen oder Schäch-

te sind nur in großen Abständen vorhanden. Hinzu kommen erschwerte Bedingungen für eine Inspektion durch Bögen, Voll- oder Teilfüllungen der Leitungen sowie Gefälle- und Steigungsstrecken. Daher bestehen bei vielen Netzbetreibern Unsicherheiten, inwieweit Inspektionen bzw. Zustandserfassungsmaßnahmen möglich sind und welche Techniken eingesetzt werden können.

Vor dem Hintergrund, dass Erfahrungen mit der Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen fast gänzlich fehlen, wurde dieses Projekt vom Ministerium für Klima, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) in Phase I beauftragt. Die erste Projektphase wurde durch einen Lenkungskreis mit Vertretern von 27 Netzbetreibern inhaltlich unterstützt. Zunächst wurden die am Markt verfügbaren Techniken zur Zustandserfassung recherchiert (Kapitel 4). Parallel dazu wurden die baulichen Randbedingungen von Abwasserdruckleitungen und die Betriebserfahrungen der beteiligten Netzbetreiber (Kapitel 2) sowie Schadensarten und –bilder (Kapitel 3) zusammengestellt. Anschließend fanden exemplarische Testeinsätze ausgewählter Techniken an bestehenden Druckleitungen der Betreiber statt (Kapitel 6). Ziel dieser ersten Projektphase war es, Hinweise zur generellen Inspizierbarkeit der Leitungen mit der verfügbaren Technik, zu Einsatzvoraussetzungen und Handhabbarkeit der Inspektionstechniken sowie zum Aufwand zu erhalten (Kapitel 7), um erste Handlungsempfehlungen für die Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen ableiten zu können (Kapitel 8).

2 Bauliche Randbedingungen und Betriebserfahrungen

2.1 Düker, Druckleitung und Druckleitungsnetz – Einsatzbereiche und Begriffsunterscheidung

Abwasserdruckleitungen werden eingesetzt, wenn eine Entwässerung über Freispiegelkanäle technisch kaum umgesetzt werden kann oder mit hohen Kosten verbunden ist. Dies kann beispielsweise der Fall sein bei

- mangelndem Geländegefälle bzw. Förderung von Abwasser zu einem höher gelegenen Punkt,
- geringem oder nur zeitweisem Abwasseranfall (z.B. aufgrund geringer Siedlungsdichte, Trennverfahren, Campingplatz oder Gastronomiebetrieb),
- zu querenden Hindernissen,
- ungünstigen Untergrundverhältnissen oder
- hohen Grundwasserständen.

Durch hohe Freiheitsgrade in der Trassenführung können Druckentwässerungen flexibel bezüglich Topographie und Linienführung geplant und somit schwierigem Gelände angepasst werden. Dies wird nach DWA Arbeitsblatt 116-2 [4] durch beliebige Kurvenführung, einfache Umgehung von Hindernissen, freie Gradientenwahl, Verlegung im Straßenseitenraum oder im freien Gelände sowie durch verminderte Tiefenlage der Leitungen umgesetzt. [4]

Druckentwässerungssysteme können aus einzelnen Druckleitungen bestehen, die das Abwasser eines einzelnen Gebäudes zur Freispiegelkanalisation fördern oder gesammeltes Abwasser einer Siedlung oder eines Stadtteils zur Kläranlage oder Freispiegelkanalisation transportieren (vgl. Abb. 1). Bei verästelten oder ringförmig angelegten Druckleitungsnetzen wird das Abwasser über kleine Einzelpumpwerke angeschlossener Gebäude einer Sammel-druckleitung zugeführt, die das Abwasser an eine Kläranlage oder an einen Freispiegelkanal übergibt (vgl. Abb. 2). Der Abwassertransport wird hier über die Einzelpumpwerke umgesetzt. Hauptbestandteile eines Druckentwässerungssystems sind ein Sammelraum, eine Pumpe, die Druckleitung sowie entsprechende Rohrverbindungen und Armaturen. Gegebenenfalls sind des Weiteren Druckluftspülstationen integriert [5].

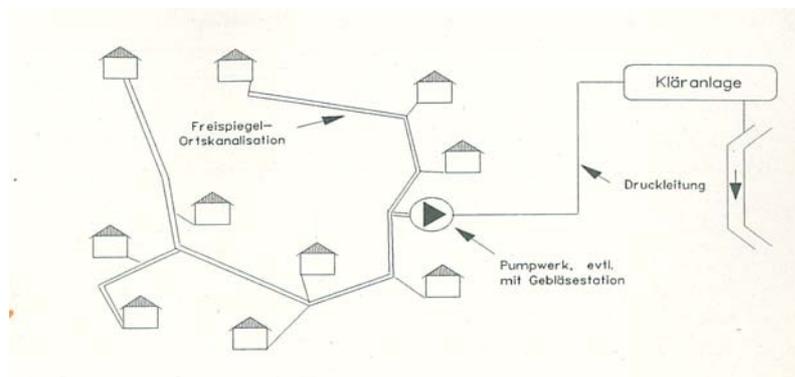


Abb. 1: Beispiel einer Transportdruckleitung (hier Förderung von Abwasser eines Siedlungsgebietes zur Kläranlage) [6]

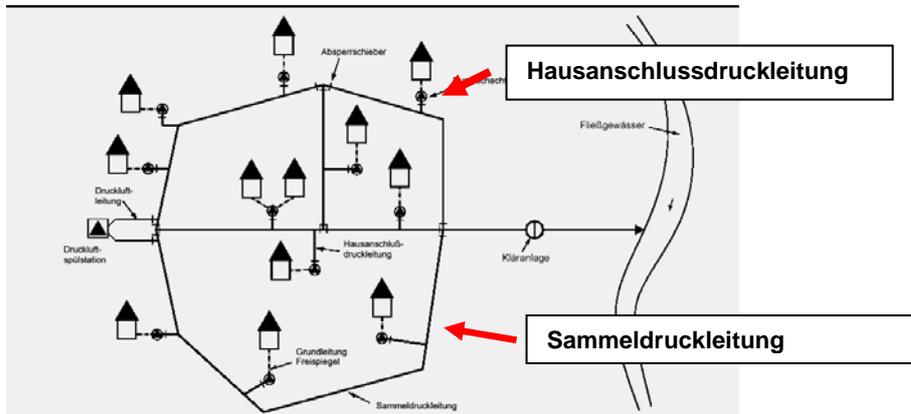


Abb. 2: Schema eines Druckentwässerungsnetzes [4]

In der Praxis sind neben den oben beschriebenen einzelnen Druckleitungen und -netzen häufig **Mischformen** zu finden, bei denen im Verlauf einer Druckleitung mit eigener Pumpstation noch weitere Druckleitungen angeschlossen sind. Um im Rahmen des Projektes eine Abgrenzung zwischen Druckleitungen mit Netz und ohne Netz treffen zu können, wurde folgende Unterscheidung vorgenommen:

- **Druckleitung ohne Netz:**

Eine Druckleitung ohne Netz oder Transportleitung dient vorwiegend dazu, das zentral an einem Punkt A gesammelte Abwasser zu einem Punkt B zu fördern, beispielsweise von einem abgelegenen Siedlungsgebiet zur Kläranlage oder zu einem Übergabepunkt an die Freispiegelkanalisation. Die Druckleitung wird nicht als Sammelleitung genutzt oder die Sammelfunktion hat eine untergeordnete Bedeutung, d.h. im Verlauf sind keine oder nur wenige weitere Leitungen angeschlossen. Der Hauptvolumenstrom wird vom Startpumpwerk gefördert und nicht durch die einzelnen Pumpwerke der angeschlossenen Leitungen.

Innerhalb der Druckleitungen ohne Netz kann weiterhin zwischen **Anschlussdruckleitungen**, die einzelne Anschlussnehmer an ein Kanalnetz anschließen, und **Transportleitungen** unterschieden werden, die das gesammelte Abwasser mehrerer Anschlussnehmer bzw. einer Siedlung oder eines Gebietes ableiten.

- **Druckleitungsnetze:**

Druckleitungsnetze entwässern ein Gebiet mit einem mehr oder weniger verzweigten Netz, bestehend aus Sammeldruckleitungen und Anschlussdruckleitungen. Die Sammeldruckleitungen fördern Abwasser zu einem Übergabepunkt (wie Freispiegelkanalisation oder Kläranlage) und dienen gleichzeitig zur Sammlung des Abwassers einzelner Anschlussnehmer. Die Sammeldruckleitung kann mit eigener Pumpstation am Startpunkt ausgestattet sein, oder das Abwasser in der Leitung wird rein über die Einzelpumpwerke der Anschlussnehmer gefördert. Gegenüber einer Druckleitung ohne Netz überwiegt das Fördervolumen der angeschlossenen Einzelpumpwerke im Vergleich zu dem Fördervolumen des „Startpumpwerks“ der Sammeldruckleitung (vgl. Abb. 3).

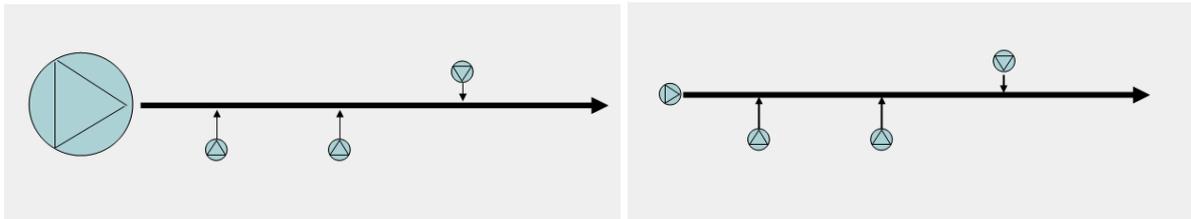


Abb. 3: Skizze zur Abgrenzung zwischen Druckleitung ohne Netz (links) und Druckleitungsnetz (re)

Düker werden nach DWA Arbeitsblatt 112 [7] als „Kreuzungsbauwerke zur Unterquerung eines Hindernisses, die als **Druckrohrleitungen im freien Gefälle** betrieben werden“ definiert. Sie stellen Teilabschnitte von Freispiegelkanälen dar, die tiefer liegen als die vorherigen und nachfolgenden Abschnitte [8]. Sind Unterquerungen von Hindernissen als Pumpendruckleitungen gestaltet oder das Wasser fließt unter dem Hindernis im Freigefälle und wird hinter dem Hindernis durch Pumpen gehoben, fallen die Leitungen nicht unter den Begriff Düker [7].

Düker funktionieren nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren. Sie bestehen in der Regel aus einem Einlaufbauwerk, dem Dükeroberhaupt, einer oder mehreren Dükerleitungen und einem Auslaufbauwerk, dem Dükerunterhaupt (vgl. Abb. 4). Fließt dem Einlaufbauwerk Wasser zu, stellt sich am Auslaufbauwerk das Höhenniveau des Oberhauptes abzüglich des resultierenden Druckhöhenverlustes aus Reibungsverlusten in der Dükerleitung und Ein- und Austrittsverlusten an Ober- und Unterhaupt ein. Dieser Druckhöhenverlust muss durch einen Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterhaupt ausgeglichen werden. Vielfältige Modifikationen, wie z.B. vertikal verlaufende Dükeräste im Ein- oder auch im Auslauf, sind möglich. Die Funktionsweise bleibt dabei gleich.

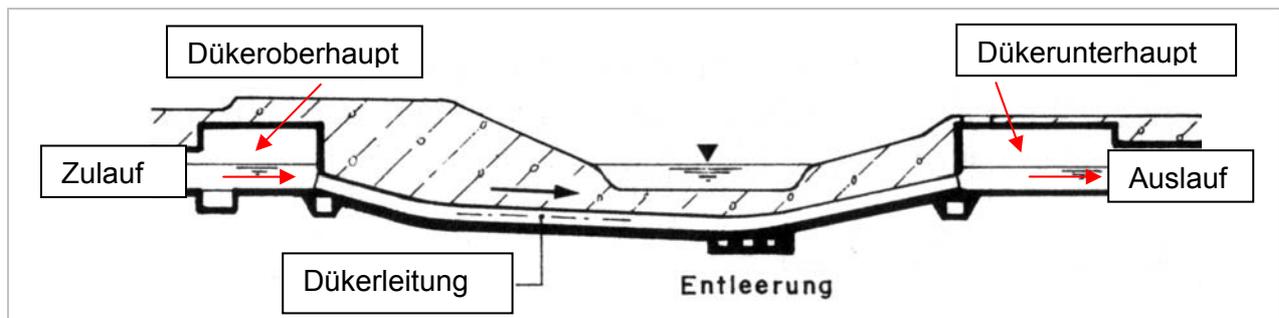


Abb. 4: Prinzipskizze eines Dükerbauwerks (vgl. [9])

2.2 Anforderungen an Inspektion und Wartung, Betriebserfahrungen der Betreiber

Das **Wasserhaushaltsgesetz** [10] verpflichtet jeden Betreiber einer Abwasseranlage dazu, Funktionsfähigkeit, Zustand, Unterhaltung und Betrieb seiner Anlage selbst zu überwachen (§ 61) und seine Anlage nur nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik zu errichten, zu betreiben und zu unterhalten (§60). Ähnliche Pflichten zur Selbstüberwachung und ergänzende Angaben zur Art und zu den Intervallen von Prüfungen finden sich auch in den Eigen-/ Selbstüberwachungsverordnungen der Länder.

Beispielsweise sieht die „**Selbstüberwachungsverordnung Kanal**“ des Landes Nordrhein-Westfalen (SüwV Kan NRW, [3]) für Abwasserdruckleitungen ohne Drucknetz eine halbjährliche bzw. den vorgeschriebenen Intervallen der Hersteller entsprechende „Inaugenscheinnahme des Bereiches der Kontroll- und Reinigungsöffnungen“ vor, um sichtbare Schäden, z.B. durch Korrosion, zu erfassen. Darüber hinaus sind monatlich (bzw. entsprechend den Herstellerangaben) die „Armaturen für Belüftung, Entleerung, Druckstoßsicherung und von Kontrolleinrichtungen“ auf ihre Funktion zu prüfen. Für Drucknetze wird darüber hinaus eine jährliche Kontrolle der Funktionsfähigkeit und Dichtigkeit der „Pump- und Druckleitungen“ gefordert. Detaillierte Angaben zur Art der Prüfung sind nicht enthalten. Für Düker werden hinsichtlich Inspektion und Zustandserfassung optische Inspektionen und Druckprüfungen gefordert, deren Häufigkeit abhängig von der Bedeutung des Dükers und der technischen Durchführbarkeit festgelegt werden soll (vgl. Tab. 2). Im zugehörigen Runderlass „Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen“ [11] sind weitergehende Regelungen zu Maßnahmen und Fristen im Falle festgestellter Schäden getroffen.

Unter allgemein anerkannten Regeln der Technik werden üblicherweise die technischen Anforderungen aus **Normen** und **Regelwerken** verstanden, die sich in der Praxis bewährt haben. In der DIN EN 1671 „Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“ [5] werden als grundlegende Anforderungen an Druckentwässerungssysteme definiert, dass von den Anlagen keine Gefahr für die Gesundheit der Bevölkerung und das Betriebspersonal ausgehen darf, die geforderte Lebensdauer und die bauliche Unversehrtheit der Anlage sichergestellt sein müssen, keine Verstopfungen auftreten dürfen, Überflutungen und Einstau von Freispiegelleitungen verhindert bzw. in ihrer Häufigkeit begrenzt werden müssen, keine Gefahr für Gebäude bestehen soll, Zugänglichkeiten für Wartungsarbeiten bestehen und die Druckleitungen „entsprechend den funktionellen Festlegungen“ auf Druckdichtheit geprüft werden müssen.

Konkrete Anforderungen im geltenden Regelwerk bezüglich Inspektion und Wartung beziehen sich vorwiegend auf Pumpwerke, Druckluftstationen und Armaturen (vgl. Tab. 1). Für die **Druckleitungen** selbst werden, mit Ausnahme von Spülungen im Bedarfsfall und Dichtheitsprüfungen, keine Maßnahmen genannt. Die Leitungen gelten nach DWA Arbeitsblatt 116-2 [4] als **wartungsfrei**. Hinsichtlich wiederkehrender Druckprüfungen werden keine konkreten Zeitintervalle genannt, allerdings findet sich in der Musterbetriebsanweisung des DWA Arbeitsblatt 199-3 eine Angabe von fünf Jahren. In Bezug auf das Prüfverfahren wird im Zusammenhang mit der Bauabnahme auf DIN EN 805 [12] verwiesen, in der die Prüfung von Trinkwasserleitungen festgelegt wird.

Tab. 1: Anforderungen geltender Regelwerke und der Selbstüberwachungsverordnung Kanal NRW (SüwV Kan NRW) zu Inspektion und Wartung im Zusammenhang mit Abwasserdruckleitungen

Norm / Regelwerk / Verordnung	Anforderungen
SüwV Kan NRW	<p>Abwasserpumpwerke:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Überprüfung der Pumpen nach Betriebsanleitung des Herstellers, z.B. durch Probelauf nicht ständig betriebener Pumpen, in Zeitintervallen nach Herstellerangaben, sonst monatlich • Überprüfung der Signal- und Alarmeinrichtungen, Fernüberwachung und Fernwirksystem nach Herstellerangaben in Intervallen nach Angaben des Herstellers, sonst monatlich <p>Druckleitungen ohne Netz¹:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erfassung sichtbarer Schäden im Bereich der Kontroll- und Reinigungsöffnungen durch Inaugenscheinnahme in Intervallen entsprechend der Herstellerangaben, sonst halbjährlich • Prüfung von Armaturen für die Entlüftung, Entleerung, Druckstoßsicherung und Kontrolleinrichtungen durch Kontrolle der Funktionsfähigkeit gemäß Herstellerangaben in Intervallen entsprechend der Herstellerangaben, sonst monatlich <p>Einrichtungen in Druckentwässerungsnetzen: Prüfung der Funktionsfähigkeit und Dichtheit der Pumpen- und <u>Druckleitungen</u> nach Herstellerangaben, sonst jährlich</p>
DIN 1671 ²	<ul style="list-style-type: none"> • Wartung von Pumpen und Druckluftstationen nach den Empfehlungen der Hersteller und/oder nach nationalen Vorschriften • Jährliche Inspektion der Sammelräume einschließlich Pumpen und gegebenenfalls der Verdichter, nach Erfordernis abweichende Inspektionsintervalle • Spülungen der Druckleitung im Bedarfsfall, üblicherweise nicht notwendig, wenn Mindestfließgeschwindigkeiten zur Selbstreinigung eingehalten werden • Prüfung der <u>Druckleitungen</u> auf Druckdichtheit den funktionellen Festlegungen entsprechend
DWA-A 147 ³	<ul style="list-style-type: none"> • Inspektion und Wartung von Anlagen besonderer Entwässerungsverfahren, z.B. Druckentwässerung, nach Bedarf und Herstellerangaben <p><i>Fortsetzung s. nächste Seite</i></p>

1 Definition für „Druckleitung ohne Netz“ entsprechend Erhebungsbogen für das Berichtsjahr 2001 zur SüwV Kan NRW: Einzelne von Drucknetzen unabhängige Rohrleitungen, an deren Scheitel ein größerer Druck als der atmosphärische Druck herrscht (DIN 4044). Eine Druckleitung ist nur dann vom Netz unabhängig bzw. bildet kein eigenes Netz, wenn sie der Verbindung von Bauwerken oder Leitungsnetzen dient und in ihrem eigenen Verlauf keine Hausanschlussleitungen eingebunden sind.

2 DIN EN 1671: Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Deutsche Fassung, August 1997

3 Arbeitsblatt DWA-A 147: Betriebsaufwand für die Kanalisation – Betriebsaufgaben und Häufigkeiten, April 2005

Tab. 1 (Fortsetzung): Anforderungen geltender Regelwerke und der Selbstüberwachungsverordnung Kanal NRW (SüwV Kan NRW) zu Inspektion und Wartung im Zusammenhang mit Abwasserdruckleitungen

Norm / Regelwerk	Anforderungen
DWA-A 116-2 ⁴	<ul style="list-style-type: none"> • Jährliche Reinigung und Prüfung von Schächten einschließlich Förderaggregaten und Steuereinrichtungen • Regelmäßige Funktionskontrolle der Absperrorgane • Regelmäßige Wartung von Druckluftspülstationen gemäß Herstellerangaben • Regelmäßige Prüfung von Druckbehältern durch zugelassene Prüfstelle • Empfehlung einer Absperrmöglichkeit am Ende der Druckleitung, um wiederkehrende Druckprüfungen vornehmen zu können (als allgemeine Anmerkung)
DWA-A 199-3 ⁵	<p>Angaben der Muster-Betriebsanweisung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Halbjährliche Sicht- und Funktionskontrolle der Be- und Entlüftungsventile • Druckprobe der <u>Druckleitungen</u> alle 5 Jahre

Für **Düker** werden sowohl in der SüwV Kan NRW als auch in Normen und Regelwerken Inspektionen als Instandhaltungsmaßnahmen gefordert. Inspektionsintervalle werden in der SüwV Kan NRW und in DIN EN 752 [13] nicht vorgegeben, sondern sie sind abhängig von der Bedeutung eines Dükers und der technischen Durchführbarkeit bzw. des Verstopfungsrisikos und dessen möglichen Auswirkungen festzulegen (vgl. Tab. 2). DWA Arbeitsblatt 143 [14] sieht eine bauliche Inspektion alle fünf bis zehn Jahre vor. Darüber hinaus fordert die SüwV Kan NRW Dichtheitsprüfungen an Dükern, deren Häufigkeit abhängig von der Bedeutung der Düker und der technischen Durchführbarkeit festgelegt werden soll.

⁴ Arbeitsblatt DWA-A 116-2: Besondere Entwässerungsverfahren, Teil 2: Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden

⁵ Arbeitsblatt DWA-A 199-3: Dienst- und Betriebsanweisung für das Personal von Abwasseranlagen, Teil 3: Betriebsanweisung für das Personal von Abwasserpumpenanlagen, Juni 2007

Tab. 2: Anforderungen geltender Regelwerke und der Selbstüberwachungsverordnung Kanal NRW (SüwV Kan NRW) zu Inspektion und Wartung von Dükern

Norm / Regelwerk / Verordnung	Anforderungen
SüwV Kan NRW ⁶	<ul style="list-style-type: none"> • Halbjährliche Feststellung von Ablagerungen und Schwimmstoffen am Ein- und Auslaufbauwerk durch optische Inspektion bzw. Inaugenscheinnahme • Halbjährliche Überprüfung der Funktionsfähigkeit von Schmutzfang-, Mess- und Steuereinrichtung • Überprüfung der Leistungsfähigkeit und des Rückstauverhaltens durch Plausibilitätskontrollen (z.B. Druckhöhenverluste zwischen Ein- und Auslaufbauwerk); Häufigkeit abhängig von der Bedeutung der Dükern und der technischen Durchführbarkeit • Feststellen sichtbarer Schäden durch optische Inspektion bzw. Inaugenscheinnahme; Häufigkeit abhängig von der Bedeutung der Dükern und der technischen Durchführbarkeit • Überprüfung der Wasserdichtheit durch Strang- oder Muffenprüfung oder vergleichbare Prüfmethode; Häufigkeit abhängig von der Bedeutung der Dükern und der technischen Durchführbarkeit
DIN EN 752	<ul style="list-style-type: none"> • Festlegen von Inspektionsintervalle unter Berücksichtigung des Verstopfungsrisikos und dessen möglichen Auswirkungen
DWA-A 147 ⁷	<ul style="list-style-type: none"> • Betriebliche Inspektion von Dükern monatlich und bauliche Inspektion 0,2/Jahr bzw. 0,1/Jahr sofern dies die technischen Randbedingungen zulassen

Wie eine Umfrage bei den beteiligten Netzbetreibern zeigte, spiegeln sich die Anforderungen der Gesetze und Regelwerke entsprechend in der **Praxis** wieder: Vereinzelt werden Leitungen mittels Druckprüfung auf ihre Dichtheit untersucht. Inspektionen von Druckleitungen werden im Regelfall nicht durchgeführt. Nur in Einzelfällen wurden Teilstücke von Leitungen mittels Kamera befahren, meist im Zusammenhang mit Betriebsstörungen und Reparaturmaßnahmen.

Eine Vielzahl der bestehenden Druckleitungen kann, so die **Erfahrungen des Lenkungs-kreises**, ohne jegliche Reinigungs- und Inspektionsmaßnahmen störungsfrei betrieben werden. Voraussetzung dafür ist, dass die Leitungen den Anforderungen entsprechend gebaut wurden und sich z.B. nicht als überdimensioniert erwiesen haben und die geforderten Mindestfließgeschwindigkeiten nicht unterschritten werden. Problematisch erscheinen allerdings für den überwiegenden Teil der Betreiber Geruchsprobleme im Zusammenhang mit Abwasserdruckleitungen. Geruchsprobleme treten meist am Auslauf von Druckleitungen durch Ausgasen von Schwefelwasserstoff auf, der sich bei Abwesenheit von Sauerstoff nach langen Standzeiten im Abwasser bilden kann.

6 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, Seiten 64-67, Düsseldorf, Januar 1995

7 Arbeitsblatt DWA-A 147: Betriebsaufwand für die Kanalisation – Betriebsaufgaben und Häufigkeiten, April 2005

Als Probleme beim Betrieb von Abwasserdruckleitungen werden abnehmende Förderleistungen bzw. –mengen von Pumpen, Ablagerungen, Verfettungen von Be- und Entlüftungsventilen, Korrosion an Armaturen und vereinzelt auch Schäden der Leitung oder Verstopfungen, die zu Betriebsausfällen geführt haben, genannt.

Wenn betriebliche Probleme auftreten, die Leitungen ihre geplante Nutzungsdauer erreichen oder mehr Betriebssicherheit für große Transportleitungen gewünscht wird, deren Ausfall schwere Folgen nach sich ziehen würde, stellen sich Netzbetreiber häufig die Frage, wie sie den Zustand ihrer Leitungen erfassen und bewerten können.

Um die Wahrscheinlichkeit von Betriebsstörungen durch Schäden an einer Druckleitung möglichst gering zu halten, müssten die Leitungen nach Ablauf ihrer geplanten Nutzungsdauer grundsätzlich ausgetauscht werden. Einige Betreiber gehen auch so vor, andere nutzen wiederum störungsfreie Leitungen über die geplante Nutzungsdauer hinaus, um so Kosten einsparen zu können, allerdings unter Billigung unvorhersehbarer betrieblicher Störungen.

Als durchschnittliche betriebliche **Nutzungsdauer** werden in den KVR-Leitlinien [15] für Druckrohr- und Dükerleitungen 30 – 50 Jahre angegeben, unabhängig vom Material. Das DWA Arbeitsblatt 116-2 [4] nennt 50 – 80 Jahre. Bei den Betreibern sind die Annahmen unterschiedlich. Hier wurden 40 Jahre bis 80 Jahre als geplante Nutzungsdauer angegeben.

2.3 Materialien und Nennweiten

Unter den beteiligten Netzbetreibern wurde eine Umfrage zur Erhebung der Material- und Nennweitenverteilung ihres Druckleitungsbestands durchgeführt, an der sich 22 Betreiber beteiligt haben. Insgesamt unterhalten diese ein Kanalisationsnetz von rund 11.100 Kilometern, von denen rund 1.100 km als Druckleitungen ausgeführt sind. Durchschnittlich entspricht dies einem Anteil von 10 %, wobei der Anteil von Betreiber zu Betreiber stark variiert und von < 1 % bis 55 % reicht.

Die Auswertung hinsichtlich des Leitungsmaterials ergab, dass für **Druckleitungen ohne Netz** (Definition s. Abschnitt 2.1) vorwiegend Rohre aus PE, PVC, Guss und Asbestzement verwendet wurden. In der Gesamtauswertung der Daten von 22 Betreibern liegt der Anteil für PE bei 38 % und PVC bei 12 %, sodass der Kunststoffanteil bei 50 % liegt (GFK ist nur mit 0,4 % vertreten). Darüber hinaus sind Asbestzement mit 26 %, Stahl mit 15 %, Guss mit 6 % und Stahlbeton mit 1,1 % vertreten. In der Einzelbetrachtung der Fragebögen zeigte sich, dass der hohe Anteil für Druckleitungen aus Stahl durch Emschergenossenschaft und Lippeverband (EGLV) getragen wird, bei denen Stahlleitungen rund 40 % bzw. 70 % des gesamten Druckleitungsbestands darstellen. Der hohe Anteil an Asbestzementleitungen wird vorrangig durch den Zweckverband Ostholstein (ZVO) verursacht, bei dem für rund 56 % der insgesamt 338 km Leitungen Asbestzement verwendet wurde. Werden EGLV und ZVO aus der Statistik herausgenommen, erhöhen sich die Anteile der Kunststoffleitungen auf rund 76 % und für Gussleitungen auf 14 %. Asbestzement ist nur noch mit 4 % vertreten (vgl. Abb. 5).

Für die Verteilung der Leitungsdurchmesser ergab die Auswertung für Druckleitungen ohne Netz, dass ein Großteil zwischen DN 100 und DN 400 liegt. In der Gesamtauswertung aller Betreiber sind dies rund 70 %. Ohne Emschergenossenschaft und Lippeverband, die überdurchschnittlich viele Leitungen zwischen 500 mm und 2200 mm Innendurchmesser betreiben, liegt der Anteil für Leitungen zwischen DN 100 und DN 400 bei 83 % (vgl. Abb. 6).

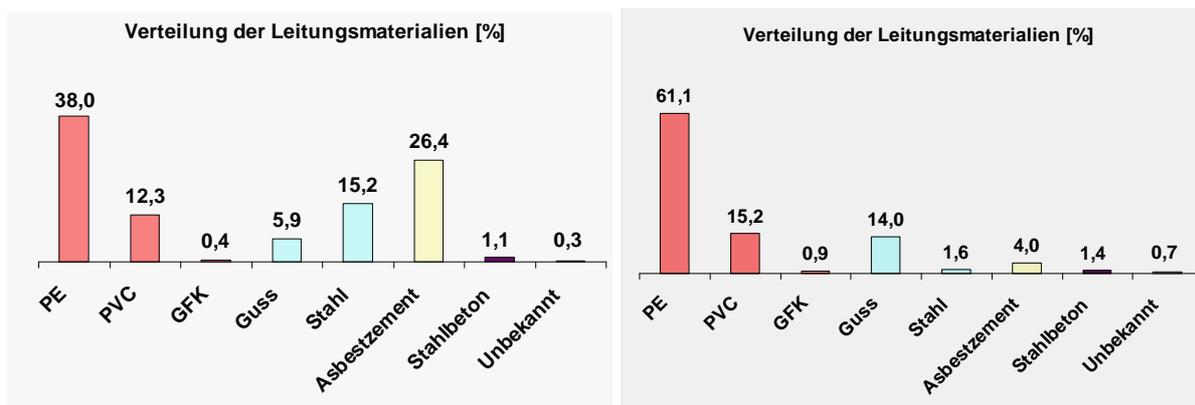


Abb. 5: Verteilung der Leitungsmaterialien bei Druckleitungen ohne Netz, links: 22 Netzbetreiber mit Gesamtdruckleitungslänge von 910 km, rechts: 19 Netzbetreiber mit Gesamtdruckleitungslänge von 350 km (ohne EGLV und ZVO)

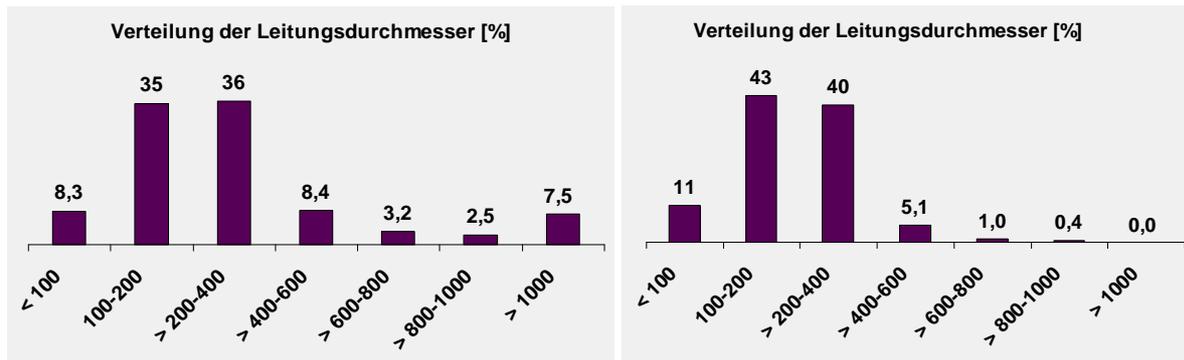


Abb. 6: Verteilung der Leitungsdurchmesser bei Druckleitungen ohne Netz, links: 22 Netzbetreiber mit Gesamtdruckleitungslänge von 910 km, rechts: 20 Netzbetreiber mit Gesamtdruckleitungslänge von 670 km (ohne EGLV)

Zwölf von 22 Kanalnetzbetreibern, die an der Umfrage teilgenommen haben, betreiben **Druckleitungsnetze**. Für diese Netze wurden fast ausschließlich Kunststoffrohre eingesetzt: Der Anteil für PE-Rohre liegt bei 80 % und für PVC-Rohre bei 19 %. Weiterhin sind Gussteilungen mit einem geringen Anteil von 0,1 % vertreten.

Die Auswertung der Leitungsdurchmesser zeigt, dass für die Druckleitungsnetze ausschließlich Rohre kleiner Nennweiten bis maximal DN 200 verlegt wurden. Der Großteil liegt mit rund 80 % unterhalb von 100 mm Innendurchmesser (vgl. Abb. 7).

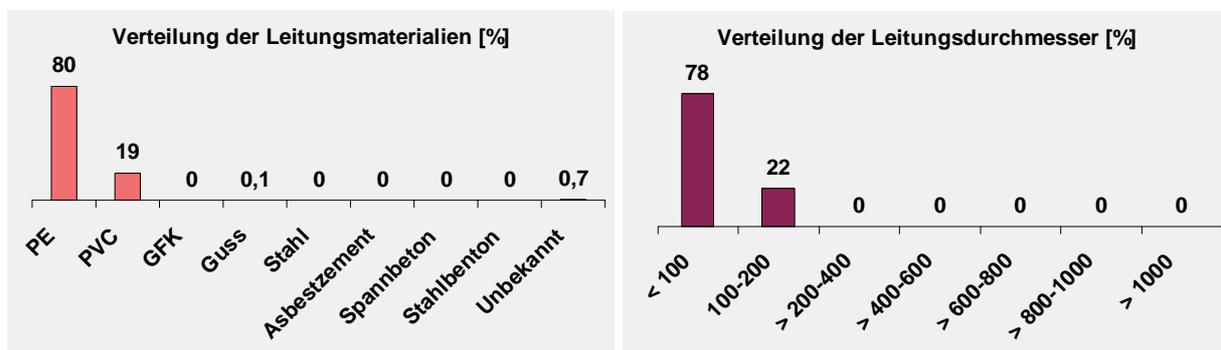


Abb. 7: Verteilung der Leitungsmaterialien und Durchmesser von Druckleitungsnetzen, Zwölf Netzbetreiber mit Gesamtlänge der Druckleitungsnetze von rund 210 km

Beim **Neubau** von Druckleitungen werden nach Aussagen der beteiligten Netzbetreiber überwiegend PE-Rohre verlegt, unabhängig davon, ob es sich um ein Druckleitungsnetz oder eine Druckleitung ohne Netz handelt.

Im Fragebogen wurden abhängig vom Leitungsmaterial Minimal- und Maximalwerte hinsichtlich **Alter**, **Nenndruck**, **Leitungslängen** und **Nennweiten** aufgenommen, soweit dem Betreiber diese Informationen vorlagen. Die Ergebnisse werden im Folgenden für Druckleitungen ohne Netz für die hauptsächlich verwendeten Rohrwerkstoffe aufgelistet.

PE-Leitungen:

- Alter: < 1 bis 51 Jahre,
- Leitungsdurchmesser: 40 mm bis 900 mm,
- Nenndruck: 6 bar bis 16 bar,

- Leitungslängen: wenige Meter bis 8,8 Kilometer.

PVC-Leitungen:

- Alter: 2 bis 48 Jahre,
- Leitungsdurchmesser: 50 mm bis 400 mm,
- Nenndruck: 6 bar bis 16 bar,
- Leitungslängen: wenige Meter bis 3,3 Kilometer.

Guss-Leitungen:

- Alter: 5 bis 50 Jahre,
- Leitungsdurchmesser: 65 mm bis 500 mm,
- Nenndruck: 6 bar bis 10 bar,
- Leitungslängen: wenige Meter bis 7,8 Kilometer.

Stahl-Leitungen:

- Alter: < 1 bis 75 Jahre,
- Leitungsdurchmesser: 100 mm bis 2.000 mm,
- Nenndruck: 6 bar bis 10 bar,
- Leitungslängen: wenige Meter bis 5 Kilometer.

Asbestzement-Leitungen:

- Alter: 20 bis 55 Jahre,
- Leitungsdurchmesser: 100 mm bis 1.800 mm,
- Nenndruck: 4 bar bis 10 bar,
- Leitungslängen: wenige Meter bis 5,9 Kilometer.

Zu Materialien und Nennweitenverteilung von Dükern lagen keine umfassenden Informationen für eine Auswertung vor. In Einzelfällen wurden Düker z.B. aus PE-HD, Stahl, Stahlbeton oder auch Asbestzement hergestellt.

2.4 Verlauf und Zugänglichkeiten

„Druckentwässerungssysteme unterscheiden sich von konventionellen Schwerkraftentwässerungssystemen dadurch, dass anstelle einer Kanalisation mit zahlreichen Schächten geschlossene Rohrleitungen ohne Zugangsmöglichkeiten verwendet werden. Während Schwerkraftentwässerungssysteme mit dem Gefälle zu verlegen sind, können Druckentwässerungssysteme dem Geländeverlauf folgend fallend und steigend verlegt werden.“ [5]

Entsprechend den oben zitierten Ausführungen der DIN EN 1671 „Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“ zeichnen sich **Abwasserdruckleitungen** im Allgemeinen durch Bögen, Hoch- und Tiefpunkte und eine geringe Verlegetiefe aus. Soweit Zugangsmöglichkeiten im Verlauf der Druckleitung vorhanden sind, haben diese meist große Abstände. Im Folgenden werden weitere Informationen zu Verlegetiefe, Zugangsmöglichkeiten, Bögen und Höhenverlauf zusammengefasst.

Verlegetiefe:

Die Leitungen werden i.d.R. dem Geländeverlauf angepasst in frostfreier Tiefe verlegt. Im Handbuch „Druckentwässerung – Hinweise zu Planung, Bau und Betrieb“ der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) [6] wird beispielsweise eine Verlegetiefe von 1,00 m bis 1,40 m empfohlen.

Zugangsmöglichkeiten:

Als Zugangsöffnungen für Inspektionstechniken kommen prinzipiell Revisionsöffnungen, Spülstutzen, ein offenes Druckleitungsende und geöffnete Rohrverbindungen in Pumpstationen, Schächten und ggf. auch an Be- und Entlüftungsventilen in Frage (s. Abb. 8). Während in der DIN EN 1671 [5] und dem DWA Arbeitsblatt 116-2 [4] für Druckleitungen keine Zugangsmöglichkeiten vorgesehen sind und Spülstutzen nach DIN EN 1671 [5] zu Beginn jeden Strangs angeordnet werden sollen, empfiehlt das Handbuch der LfU [6] Kontroll- und Spülschächte in Abständen von 500 m bis 1.000 m.

Im Rahmen einer Umfrage unter den beteiligten Netzbetreibern gaben 16 von 21 Betreibern (rd. 75 %) an, dass zumindest ein Teil ihrer Druckleitungen mit Schächten ausgestattet sei. Die Abstände einzelner Schächten wurden mit 10 m bis 1.500 m beziffert, wobei diese Abstände nicht als regelmäßige Schachtabstände innerhalb einer Leitung, sondern als Minimal- und Maximalabstand zwischen zwei Zugangsmöglichkeiten zu verstehen sind.

Spülstutzen sind bei 14 von 21 Betreibern an einigen Leitungen vorhanden, bei zwei Betreibern an sämtlichen Leitungen. Die Abstände dieser wurden mit 50 m bis 1.000 m angegeben. Nach Aussage von Lenkungskreismitgliedern existieren in der Praxis auch zahlreiche Leitungen, die ohne jegliche Zugangsmöglichkeiten verlegt wurden, sodass Inspektionsöffnungen nur am Druckleitungsende oder in der Pumpstation geschaffen werden könnten. Als Beispiel kann eine rund zwei Kilometer lange Druckleitung mit einer Nennweite vom 100 mm ohne jegliche Zugangsmöglichkeit genannt werden.



Abb. 8: Revisionsöffnung (li), T-Stück und Spülstutzen (mi) und Passstück (re) in Gussleitungen

Bögen / Richtungsänderungen:

Da Druckleitungen üblicherweise dem Geländerverlauf entsprechend und teils entlang von Straßen verlegt werden, können sie zahlreiche Bögen enthalten. Richtungsänderungen in Druckleitungen können durch Bogen- bzw. Winkelformstücke oder bei PE-Leitungen auch durch Verlegung des Rohres in einem langgezogenen Bogen hergestellt werden. Scharfe Richtungsänderungen sollen bei Druckleitungen nach DIN 1671 [5] zwar möglichst vermieden werden, um die Bildung von Verstopfungen zu verhindern, optische Inspektionen im Rahmen von Praxiseinsätzen (vgl. Kapitel 6) zeigten allerdings, dass fast alle Leitungen scharfe Richtungsänderungen zwischen 45° und 90° enthielten. Auch Auskünfte von Betreibern bestätigen, dass viele Leitungen derartige Richtungsänderungen enthalten bzw. anhand von Planungsunterlagen mit diesen zu rechnen ist.

Für PE-, PVC- und Guss-Abwasserdruckleitungen werden Bogenformstücke in Abstufungen von 11°, 22°, 30°, 45° und 90° angeboten [16,17]. Bei PE-Leitungen variieren die Bogenradien abhängig vom Hersteller und teils auch abhängig von der Gradzahl zwischen 1,5xD und 4,5xD (4,5 x Durchmesser), wobei 90°-Bögen meist mit Biegeradien von 1,5xD gefertigt werden [16,17]. Zu PVC-Bögen lagen lediglich Produktinformationen eines Herstellers vor, denen ein Biegeradius von rund 4xD zu entnehmen ist [16]. Bei Bogenformstücken aus Duktulguss variieren die Bogenradien von Hersteller zu Hersteller. So gab ein Hersteller an, er fertige Bogenformstücke mit einem Radius von 1xD unabhängig von der Gradzahl und Nennweite [18]. Bei einem weiteren Hersteller sind die Radien abhängig von Nennweite und Gradzahl. Beispielsweise liegen sie bei 11°-Bögen zwischen 3xD (DN 60) und 0,7xD (DN 300), bei 45°-Bögen zwischen 2,4xD (DN 60) und 1,2xD (DN 300) und bei 90°-Bögen unabhängig von der Nennweite bei rund 0,9xD [19].

Zu Bogenformstücken für Asbestzementleitungen sind Informationen schwer erhältlich, da die Rohre seit dem 1. Januar 1995 [20] nicht mehr hergestellt werden dürfen. Nach Angaben eines Netzbetreibers sind in seinem Druckleitungsbestand Bogenformstücke zwischen 15° und 90° mit einem Radius von 3xD enthalten. Da Asbestzementrohre durch Wicklung hergestellt wurden, sind deutlich kleinere Radien vermutlich nicht zu erwarten.

Höhenverlauf:

Das Höhenprofil von Druckleitungen kann sehr unterschiedlich aussehen, da es in der Regel dem Geländeverlauf angepasst wird. Daher sind Leitungen mit durchgehendem Anstieg bzw. Gefälle oder mit Gefälle-, Steigungs- und waagerechten Strecken mit Hoch- und Tiefpunkten möglich. Gefälle- und Steigungsstrecken können ebenfalls mit unterschiedlichen Neigungen

ausgeführt werden. Die Betreiber des Lenkungsreises gaben beispielsweise Neigungen ihrer Druckleitungen zwischen -35 % und 100 % an.

Hinweise zur Bauweise von **Dükern** finden sich im Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 157 „Bauwerke der Kanalisation“ [21]. Das Arbeitsblatt unterscheidet zwischen Dükern mit Gefälle Richtung Oberhaupt, die am Oberhaupt (s. Abb. 9) entleert werden können, und Dükern mit einem Tiefpunkt zwischen Ober- und Unterhaupt, die über einen Entleerungsschacht am Tiefpunkt entleert werden können (s. Abb. 10). Der Entleerungsschacht soll über einen Pumpensumpf verfügen und beide Dükeräste sind mit Schiebern auszustatten, sodass jeder Dükerast separat entleerbar ist. Bezüglich der Dükerleitung wird empfohlen, den Anfang des abfallenden Astes stärker zu neigen (1:3 und steiler) und das Gefälle des ansteigenden Ast schwächer auszubilden (1:6 und flacher). Der Neigungswinkel des abfallenden Astes sollte 45° (1:1) nicht unterschreiten. [21]

In der Praxis finden sich darüber hinaus Düker, die ein Hindernis mit einem Tiefpunkt ohne Entleerungsschacht unterqueren. Eine Entleerung dieser Düker kann beispielsweise über Ejektoren oder Saugschläuche, die zum Tiefpunkt geführt werden, umgesetzt werden (vgl. [22]). Als Zugangsmöglichkeiten für Inspektionen an Dükern können Schächte an Dükerober- und Dükerunterhaupt dienen.

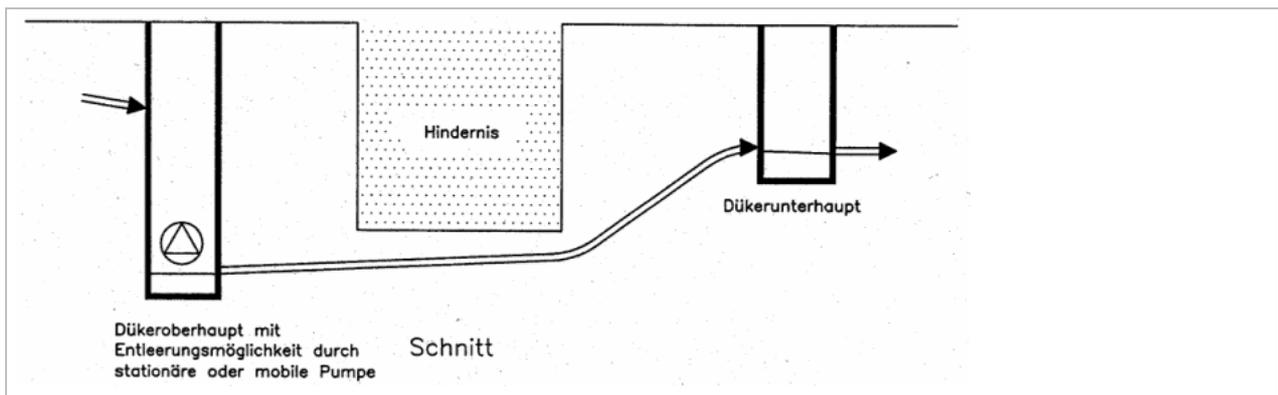


Abb. 9: Düker mit Entleerung am Oberhaupt [21]

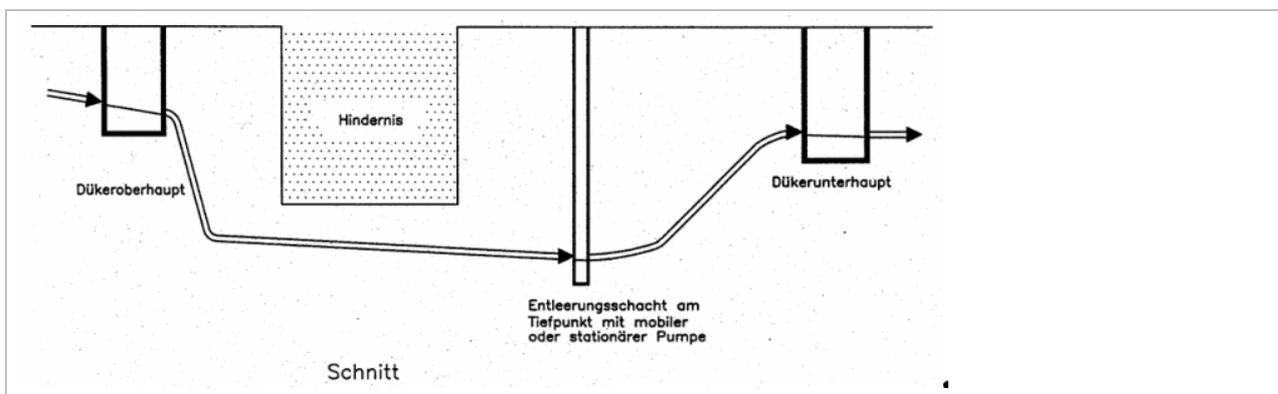


Abb. 10: Düker mit Entleerungsschacht am Tiefpunkt [21]

2.5 Kenntnisse zum Druckleitungsbestand

Als Vorbereitung für mögliche Testeinsätze stellten Betreiber, die Teststrecken aus ihrem Bestand vorgeschlagen hatten, verfügbare Informationen zu ihren Leitungen zusammen. Eine Auswertung zeigte, dass meist nur wenige Daten zum Druckleitungsbestand vorliegen und oft weder der exakte Verlauf einer Leitung, noch Lage und Ausführung von Bögen bekannt sind. Pläne können zwar in den meisten Fällen zu Verfügung gestellt werden, jedoch enthalten diese Pläne Angaben, die vielfach vom tatsächlichen Bestand abweichen, oder Lage und Höhenverlauf der Leitungen konnten nur anhand von bekannten Punkten wie Schächten und Entlüftungsventilen abgeschätzt werden. In der folgenden Auflistung wird zusammengestellt, welche Bestandsdaten im Regelfall vorliegen und welche fehlen.

Im Regelfall bekannte Bestandsdaten:

- Baujahr,
- Material und Nennweite,
- Start- und Anfangspunkt der Leitung,
- Lage von Kontrollschächten (falls vorhanden),
- Lage von Hochpunkten *mit* Be- und Entlüftungsventilen,
- Abzweige und weitere Anschlussnehmer,
- ungefähre Lage der Leitung.

Häufig bekannte Bestandsdaten:

- Fördermengen,
- ungefährer Höhenverlauf,
- vorherige Schäden und Reparaturen.

Meist unbekannteste Bestandsdaten:

- exakte Lage,
- Lage und Biegeradius von Bögen,
- Exakter Höhenverlauf mit Hoch- und Tiefpunkten und Druckverhältnisse,
- Korrosionsschutz innen/außen bei Guss,
- ursprüngliche Wandstärke,
- Zustand der Leitung.

3 Schadensarten und -bilder

Im Rahmen einer Umfrage bei den beteiligten Netzbetreibern wurden Schadensarten und –bilder für Abwasserdruckleitungen zusammengestellt. Die Auswertung zeigt, dass bisher nur wenige aussagekräftige Schadensbilder vorliegen. Inspektionen, die Schadensbilder liefern könnten, sind unüblich und Schäden werden daher häufig erst bemerkt, wenn es sich um deutliche Defekte, wie z.B. eine geborstene Leitung, handelt, die den Leitungsbetrieb einschränkt. Diese Schäden fordern dann allerdings eine sofortige Reparatur der Leitung. Um die Datenbasis zu erweitern, wurden daher weitere Informationen aus der Literatur zu Schadensarten in Trinkwasserleitungen mit ähnlichen Leitungsmaterialien herangezogen, so dass jetzt eine erste Übersicht möglicher Schadensarten für Abwasserdruckleitungen vorliegt.

Die ursprüngliche Zielstellung, im Rahmen des Projektes einen **Schadensreferenzkatalog** für Abwasserdruckleitungen zu entwickeln, musste vor diesem Hintergrund verworfen werden. Zum einen ist die Anzahl der zu unterscheidenden Schadensbilder gering und zum anderen besitzt eine optische Inspektion für die in Abwasserdruckleitungen typischen Materialien und Schadensarten eine nur eingeschränkte Aussagekraft. So sind für die in Abwasserdruckleitungen eingesetzten Leitungsmaterialien vermehrt Schäden zu erwarten, die optisch kaum oder gar nicht erkennbar sind. Zu nennen sind hier beispielsweise Außenkorrosion und Graphitierung (Form der Korrosion) in Gussrohren, Änderungen in der Zementmatrix mit Festigkeitsverlust in Asbestzementrohren und Ermüdungserscheinungen in Kunststoffrohren. Schwächungen der Rohrwand können dann bei diesen Leitungen wiederum bei Belastung mit Innendruck zu Rissen bzw. einem Bersten des Rohres führen. Derartige Schäden kündigen sich optisch i.d.R. nicht an, sodass eine Zustandsbewertung allein auf Basis von optischen Aufnahmen zu Fehlinterpretationen, z.B. durch den Eindruck eines scheinbar mängelfreien Zustands, führen kann. Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, wurde auf die Aufnahme eines Schadensreferenzkatalogs in den Bericht verzichtet. Stattdessen wurde in den Bericht eine als **Überblick** gekennzeichnete Beschreibung der möglichen Schadensarten und optischen Auffälligkeiten aufgenommen.

In Tab. 1 sind Ergebnisse einer statistischen Erhebung des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfachs (DVGW) zu **Schadensursachen** an Trinkwasserhaupt- und –versorgungsleitungen abhängig vom Rohrmaterial dargestellt. Unterschieden wird zwischen Schäden durch Fremdeinwirkungen (z.B. durch Baumaschinen), erhöhte Biegebeanspruchungen durch Bodenbewegungen, Korrosion, defekte Rohrverbindungen und werkstoff- oder konstruktionsbedingte Mängel an Leitungen und Zubehör [23]. Wie die Statistik zeigt, sind die Schadensursachen abhängig vom Material verteilt: Während bei Stahl und Duktulguss Korrosion an erster Stelle steht und bei Grauguss ein Großteil der Schäden auf Bodenbewegungen zurückgeführt wird, liegen die Ursachen bei PE, PVC und Faserzement gleichmäßiger verteilt. Zwar sind die baulichen und betrieblichen Randbedingungen von Abwasserdruckleitungen und Trinkwasserleitungen nicht identisch, insbesondere liegt bei Abwasser ein aggressiveres Fördermedium vor, jedoch werden ähnliche Materialien verwendet und Tiefenlage sowie Betriebsdrücke sind annähernd vergleichbar. Daher können aus der Statistik des DVGW zumindest Tendenzen für die typischen Schadensmechanismen eines Werkstoffs bzw. relevante Einflussfaktoren abgeleitet werden.

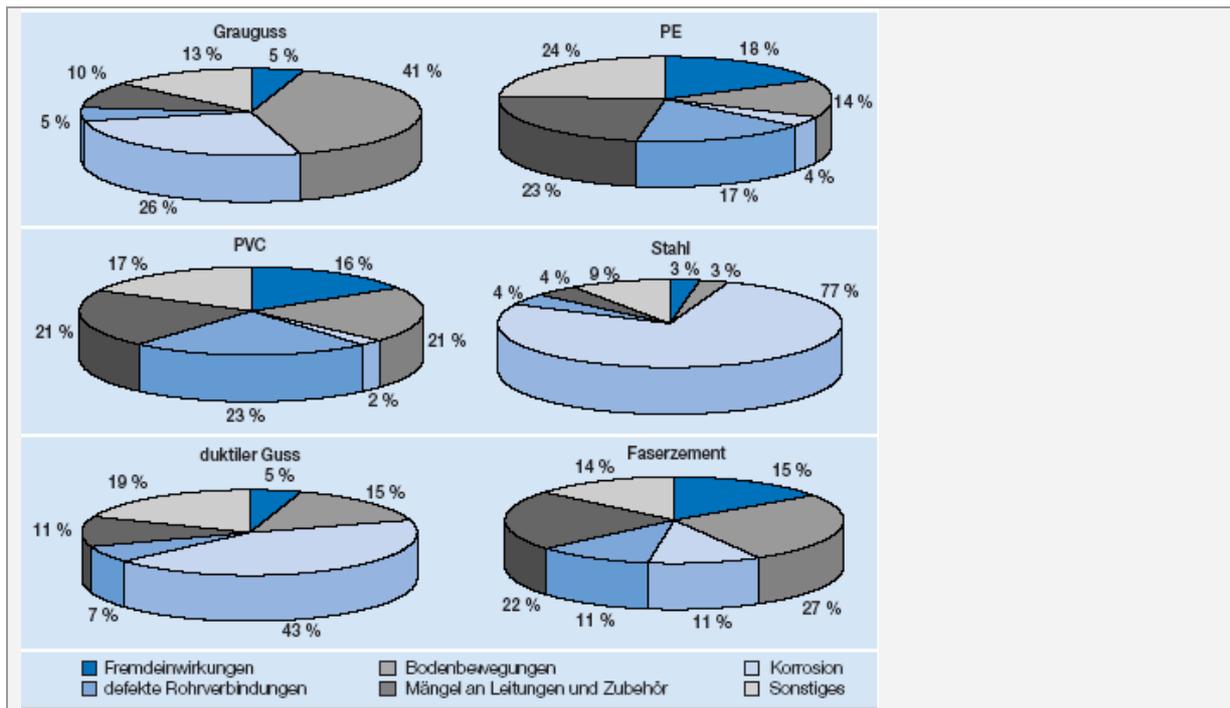


Abb. 11: Prozentuale Verteilung der Schadensursachen an Haupt- und Versorgungsleitungen der Trinkwasserversorgung nach Materialarten im Auswertungszeitraum von 1997-2004 [24]

3.1.1.1 Metallische Leitungen

Für die traditionell eingesetzten metallischen Trinkwasserleitungen sind im Gegensatz zu Kunststoffleitungen oder den in geringem Umfang eingesetzten Asbestzementrohren bereits Studien zu Schadensarten und –ursachen zu finden. Untersuchungen nach [34] an Proben beschädigter Rohre aus Trinkwasserleitungen ergaben, dass Korrosion die häufigste Schadensart bei erdverlegten metallischen Trinkwasserleitungen ist. Als häufigste Korrosionsart bei Graugussleitungen wird Graphitierung angeführt. Graphitierung, auch Spongiose oder Eisenschwamm genannt, ist eine Sonderform der Korrosion von Gussrohren, bei der das Eisengerüst ausgelöst wird, und poröses Eisenhydroxid im Graphitgefüge verbleibt [34,25]. Es entsteht ein weiches, nicht tragfähiges Korrosionsprodukt, sodass der Werkstoff seine Festigkeit verliert und mechanisch nicht mehr belastbar ist [25,34]. Da das Werkstück seine Form beibehält, ist Graphitierung häufig optisch nicht zu erkennen [25,34]. Vor diesem Hintergrund scheint es möglich, dass auch ein Teil der Schäden in Graugussrohren, deren Ursache in der DVGW-Umfrage von den Betreibern unter Bodenbewegungen eingestuft wurde, eine gemeinsame Folge aus Korrosion und mechanischer Belastung ist (vgl. Abb. 11).

Die Untersuchungen an 131 Proben geschädigter Trinkwasserrohre [34] ergaben die in Abb. 12 dargestellte Verteilung von Korrosionsarten an der Rohraußenseite. Bei Grauguss wurden am häufigsten Graphitierung und Muldenkorrosion vorgefunden, bei Duktulguss und Stahl waren es Flächen- und Muldenkorrosion. Geprüft wurden 95 Duktulguss- (GGG), 7 Grauguss- (GGL) und 29 Stahlproben. Entsprechend ist die Aussagekraft der Datenbasis auf diese Werkstoffarten begrenzt. Beispiele für die verschiedenen Korrosionsarten werden in Abb. 13 bis Abb. 16 dargestellt.

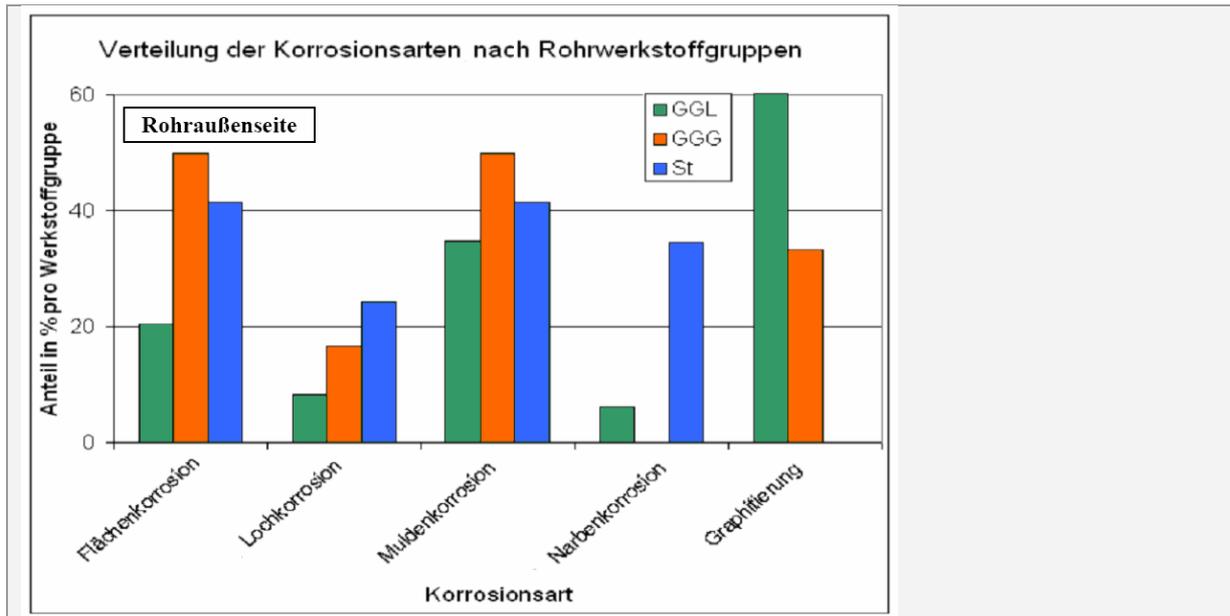


Abb. 12: Verteilung der Korrosionsarten an der Rohraußenseite auf die Rohrwerkstoffgruppen [34]; GGL: Grauguss, GGG: Duktiguss, St: Stahl

Da bei Gussleitungen für Trink- und Abwasser vergleichbare Materialien eingesetzt wurden, die sich erst ab ca. 1990 durch ihre Innenauskleidung unterscheiden [35], kann von ähnlichen Korrosionserscheinungen für die Rohraußenseite ausgegangen werden [26,35]. Demgegenüber können Daten zur Innenkorrosion von Trinkwasserleitungen nicht ohne Weiteres auf Abwasserleitungen übertragen werden, da es sich bei Abwasser um ein aggressiveres Medium im Vergleich zu Trinkwasser handelt. Auch bildet sich bei Abwasserleitungen keine Kalk-Rost-Schutzschicht wie in Trinkwasserleitungen aus.

Grundsätzlich können Leitungen aus Stahl und Gusseisen bei fehlendem Korrosionsschutz sowohl außen als auch innen korrodieren. Inwieweit sich Korrosionsraten bei erdverlegten Stahl-, Grauguss- und Duktigussrohren unterscheiden, wird in der Literatur unterschiedlich eingeschätzt. Einerseits wird Graugussrohren eine höhere Korrosionsbeständigkeit zugeschrieben als Rohren aus Duktiguss und Stahl [27], andererseits ergaben andere Untersuchungen keine signifikanten Unterschiede der Korrosionsempfindlichkeit von Duktiguss und Grauguss [28]. Weitere Quellen gehen davon aus, dass sich Korrosion aufgrund verschiedener Wanddicken und damit Abnutzungsreserven von Grauguss, Duktiguss und Stahl unterschiedlich schnell als Schaden bemerkbar macht [34,38]. Rohre aus Grauguss haben bei gleichen Nennweiten die größte Wandstärke, Stahlrohre die geringste.

Korrosionswahrscheinlichkeit und –geschwindigkeit an der *Rohraußenwand* sind in erster Linie vom Zustand des Korrosionsschutzes und von Materialfehlern, den Eigenschaften des Bodens (wie Art, Aggressivität, Leitfähigkeit, Porenvolumen, Belüftung, Bakterien, Feuchtigkeit) und Streustromeinflüssen abhängig. Die Aggressivität eines Bodens wird anhand seines spezifischen Widerstands bzw. seiner Leitfähigkeit eingestuft. Mit zunehmender Leitfähigkeit erhöht sich die Korrosionswahrscheinlichkeit von Leitungen im Boden. Als sehr aggressive Böden werden Torf-, Schlick, Marsch-, Humusböden und künstliche Böden (Müll, Schlacke, kohlehaltige Böden) eingestuft. Aggressive Böden sind Ton- und kalkarme Humusböden. Sand-, Sandmergel-, Lös-, Kalkmergel-, Kalk-, stark kalkhaltige Humusböden und gut belüftete Lehm- und Lehmmergelböden gelten als nicht aggressiv. Allgemein führen bindige Bö-

den (wie Tonböden) gegenüber nichtbindigen Böden (wie Sandböden) zu einer höheren Korrosionswahrscheinlichkeit der Leitungen. Rohre in intakter Sandbettung sollen vor Einflüssen, welche die Korrosionswahrscheinlichkeit erhöhen, geschützt sein. Entsprechende Empfehlungen zur Beurteilung des Korrosionsverhaltens von Böden auf Rohrleitungen sind im Arbeitsblatt GW 9 [29] des DVGW enthalten. [29,30,31,32,34]

Einfluss auf die Korrosionswahrscheinlichkeit der *Rohrinnenwand* haben Korrosionsschutz und Materialfehler sowie Sauerstoffgehalt, pH-Wert, Fließgeschwindigkeit, Salzgehalt und Gehalt an Bicarbonat- und Kalziumionen des Wassers [34]. Hinsichtlich der Innenkorrosion von Abwasserdruckleitungen werden Luft einschüsse als besonders problematisch angesehen [33,35].

Neben Korrosion können weitere Schadensarten in metallischen Leitungen auftreten, die in [34] hinsichtlich ihrer Signifikanz für Trinkwasserleitungen aus Grauguss, Duktulguss und Stahl eingestuft wurden (vgl. Tab. 3). Demzufolge sind Korrosion und undichte Rohrverbindungen typische Schadensarten aller Werkstoffe. Bei Grauguss als sprödem Werkstoff sind darüber hinaus Querbrüche typisch. Diese können aus übermäßiger mechanischer Belastung des Rohres resultieren (z.B. durch Bodenbewegungen), aber auch als Folge von Querschnittsreduzierungen durch Korrosion in Verbindung mit mechanischer Belastung entstehen. [34]

Von den Netzbetreibern des Lenkungskreises wurden als bereits aufgetretene Schadensarten Risse, Rohrbrüche (Querbruch), Lochkorrosion und Beschädigungen durch Fremdeinwirkungen bei Bauarbeiten an Gussleitungen genannt. Bei Stahlleitungen sind bereits Lochkorrosion, Abrasion der Innenauskleidung, Wandstärkenverlust im Bogen und Rissbildungen aufgetreten. In Tab. 5 sind die aus der Literatur und von den Netzbetreibern genannten Schadensarten für Duktulguss, Grauguss und Stahl zusammengefasst.

Tab. 3: Schadenssignifikanz an metallischen Trinkwasserleitungen [34]

Schadensart	Grauguss	Duktulguss	Stahl
Querbruch	typisch	nicht möglich	nicht möglich
Schalenbruch	ab ~ DN 500	nicht möglich	nicht möglich
Rundriss	nicht möglich	selten	selten
Längsriss	selten	möglich ab DN 400	möglich ab DN 400
Korrosion	typisch	typisch	typisch
Graphitierung (Form der Korrosion)	typisch	typisch	nicht möglich
Undichte Verbindungen	typisch	typisch	typisch
Übermäßige Verformung	nicht möglich	selten	selten

Die vorherigen Ausführungen zeigen, dass der **Korrosionsschutz** metallischer Leitungen wichtig für die Beständigkeit des Werkstoffs gegenüber äußeren Einflüssen ist. Gespräche mit den beteiligten Netzbetreibern zeigten, dass oft nicht bekannt ist, inwieweit die Gussrohre ihres Leitungsbestands mit Korrosionsschutz gefertigt wurden. In Einzelfällen ist ebenfalls nicht bekannt, ob es sich um Grau- oder Duktulgussrohre handelt. Allerdings ist es möglich, Gussrohre anhand ihres Fertigungsjahres in **Rohrgenerationen** einzuteilen, um Anhaltswerte zum Korrosionsschutz zu erhalten (vgl. Tab. 4). Nach Herstellerinformationen fertigte bei-

spielsweise der Schalker Verein (später Saint Gobain) bis 1970 Rohre aus Grauguss mit äußerem und innerem Korrosionsschutz (Teer/Bitumen). Ab 1970 wurden Duktulgussrohre hergestellt, die anfänglich keinen Korrosionsschutz besaßen und schnell korrodierten. Nach Einschätzung des Herstellers sind diese Rohre kaum noch verbaut. Zwischen 1970 und 1975 habe es bei den deutschen Gussrohrherstellern einen fließenden Übergang zu Duktulgussrohren der zweiten Generation mit Korrosionsschutz gegeben. Ab Mitte der 70er Jahre seien alle Rohre außen zinkbeschichtet gewesen. Innen wurden die Rohre mit Zementmörtel ausgekleidet. Ab ca. 1980 würden Rohre mit mehrschichtigem Außenschutz aus Zink und Epoxid hergestellt. Hinsichtlich des äußeren Korrosionsschutzes seien Trinkwasser- und Abwasserrohre vergleichbar. Ein wesentlicher Unterschied läge ab 1990 in der Auskleidung: Bis 1990 seien Trink- und Abwasserrohre mit Zementmörtel auf Basis von Hochofenzement ausgekleidet worden, ab 1990 sei für Abwasserrohre Tonerdezement eingeführt worden. [35]

Tab. 4: Einteilung von Rohrmaterial und Korrosionsschutz von Gussrohren für Abwasserdruckleitungen abhängig vom Fertigungsjahr [34,35]

Fertigungsjahr	Rohrmaterial und Korrosionsschutz	
bis ca. 1960/1970	<p>Grauguss</p> <p>Innenschutz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Heißbitumenbeschichtung • Bitumenanstrich • Teerbeschichtung • Teeranstrich 	<p>Außenschutz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Heißbitumenbeschichtung • Bitumenanstrich • Teerbeschichtung • Teeranstrich • bei aggressiven Böden auch Steinkohleteerpech • Zinküberzug mit Bitumendeckbeschichtung (teilweise ab 1960)
Übergangszeit	<p>Duktulguss Generation I</p> <p>Innenschutz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • anfänglich ohne Schutz • Bitumenanstrich (ab ca. 1964) 	<p>Außenschutz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • anfänglich ohne Schutz • ab ca. 1964 Bitumenanstrich • ab ca. 1964 Zinküberzug mit Bitumendeckbeschichtung
ab ca. 1975	<p>Duktulguss Generation II</p> <p>Innenschutz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zementmörtelauskleidung bis 1990 auf Basis von Hochofenzement, ab 1990 auf Basis von Tonerdezement 	<p>Außenschutz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zinküberzug mit Bitumendeckbeschichtung
ab ca. 1985/1990	<p>Innenschutz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zementmörtelauskleidung auf Basis von Tonerdezement 	<p>Außenschutz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zinküberzug mit Epoxidharz-Deckbeschichtung

Tab. 5: Mögliche Schadensarten an metallischen Abwasserdruckleitungen auf Basis von Betreibererfahrungen sowie Literaturangaben zu Schadensarten in Trinkwasserleitungen

Grauguss	Duktilguss	Stahl
<ul style="list-style-type: none"> • Korrosion innen/außen als Flächen-, Mulden-, Loch- und Narbenkorrosion und Graphitierung • undichte Verbindungen • Querbruch • Schalenbruch • Abrieb/Fehlstellen der Innenbeschichtung • Fehlstellen im äußeren Korrosionsschutz • Längsrisse • Beschädigung durch Dritte • Leckagen (als Folge) 	<ul style="list-style-type: none"> • Korrosion innen/außen als Flächen-, Mulden-, Loch- und Narbenkorrosion und Graphitierung • undichte Verbindungen • Abrieb/Fehlstellen der Innenbeschichtung • Fehlstellen im äußeren Korrosionsschutz • Längsrisse • Rundrisse • Verformung • Beschädigung durch Dritte • Leckagen (als Folge) 	<ul style="list-style-type: none"> • Korrosion innen/außen als Flächen-, Mulden-, Loch- und Narbenkorrosion • undichte Verbindungen • Abrieb/Fehlstellen der Innenbeschichtung • Fehlstellen im äußeren Korrosionsschutz • Längsrisse • Rundrisse • Verformung • Beschädigung durch Dritte • Leckagen (als Folge)

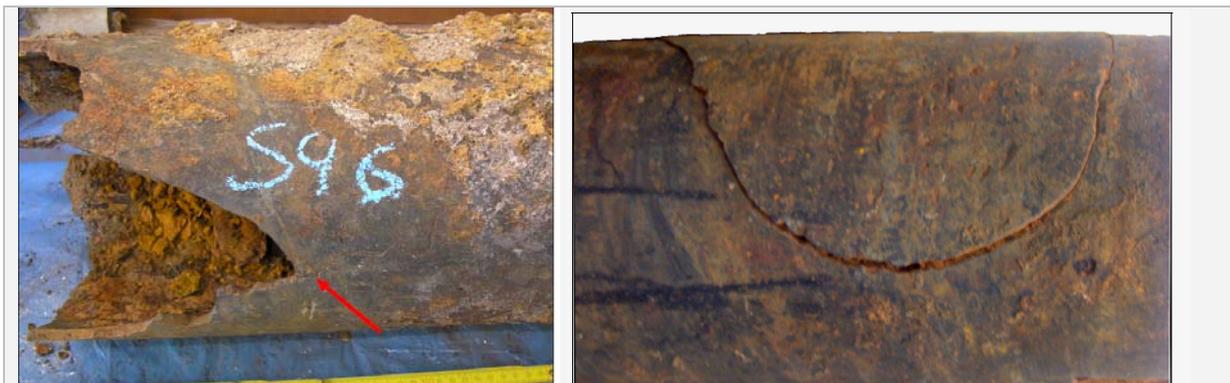


Abb. 13: Querbruch (li) und Schalenbruch (re) in Trinkwasser-Graugussrohren [34]



Abb. 14: Längsriss (li) sowie Mulden- und Lochkorrosion (re) in Trinkwasser-Graugussrohren [34]



Abb. 15: Graphitierte Schicht eines Trinkwasser-Graugussrohres (li) [34] und Narbenkorrosion mit beginnender Lochkorrosion eines Trinkwasser-Stahlrohres (re) [34]



Abb. 16: Graphitiertes Trinkwasser-Graugussrohr vor dem Sandstrahlen (oben) und danach (unten) [34]



Abb. 17: Lochkorrosion in einer Grauguss-Abwasserdruckleitung und Korrosion einer Stahlleitung in einer Abwasserpumpstation (re) [36]

3.1.1.2 Kunststoffleitungen

Typische Schäden an Kunststoffrohrleitungen treten nach [37] infolge von Ermüdungerscheinungen und Kerbverhalten auf. Mit zunehmender Liegezeit von PVC- und PE-Rohren ist nach [37] mit einer Festigkeitsabnahme zu rechnen. Insbesondere bei PVC-Leitungen kommt es zu einer Versprödung des Werkstoffs und somit zu einer zunehmenden Bruchempfindlichkeit [20]. Für Rohre aus dem Werkstoff PE 80 wird in [20] ein Festigkeitsverlust von bis zu 50 % in 20 Jahren genannt, der zu Längs- und Spiralarissen führen könne. Schäden aufgrund von Kerbwirkungen können durch Steine in der Rohrbettung entstehen, die über Zeit in das Rohrmaterial eingedrückt werden [37].

Im Bereich der Wasserversorgung sind hauptsächlich Rohre mit längerer Liegezeit schadensrelevant. Zu Beginn des Einsatzes von Kunststoffrohren war die Langzeitfestigkeit dieser Rohre weitgehend unbekannt, während die heute gefertigten Rohre auch auf ihre Zeitstandfestigkeit geprüft werden. [37,20]

Zur Verteilung unterschiedlicher Schadensarten in Druckleitungen aus PE und PVC liegen bislang kaum Auswertungen vor. In einer durch die Water Environment Research Foundation (WERF, USA) finanzierten Studie [38] wurde eine Auswertung von vier Wasserversorgern aus dem Vereinigten Königreich zu Schadensarten in PE- und PVC-Trinkwasserleitungen aufgeführt (vgl. Tab. 6). Dementsprechend traten bei PVC-Leitungen als Hauptschadensart Längsrisse auf (47 %), als zweithäufigste Schadensart wurden fehlerhafte Rohrverbindungen aufgeführt (25 %) und selten traten Rundrisse auf (6 %). Demgegenüber sind bei PE-Leitungen fast 50 % der Schäden fehlerhafte Rohrverbindungen, während Längsrisse und Rundrisse kaum aufgetreten sind (8 % bzw. 2 %).

Grundsätzlich ist bei Kunststoffen mit komplexen Schadensmechanismen zu rechnen. Innendrucke führen zu hohen Spannungen in Umfangsrichtung, die sich mit Spannungsspitzen durch Punktbelastungen an der Innenseite überlagern und insbesondere zu Längsrissen führen können. Weitere Lasten, z.B. aus Bodenverschiebungen mit Längsbiegeeffekten, können gerade bei Werkstoffen mit geringer Bruchdehnung oder im Widerlagerbereich von Bögen zu weiteren Schäden führen.

Tab. 6: Wasserversorgungsleitungen - Schadensursachen, Erhebung bei vier U.K.-Wasserversorgern [nach 38]

Schadensarten	Verteilung [%]	
	PVC	PE
Fehlerhafte Rohrverbindung	25	46
Längsriss	47	8
Rundrisse	6	2

Von den beteiligten Netzbetreibern des Lenkungskreises wurden als bereits aufgetretene Schäden in PE-Leitungen u.a. Abrisse von Schweißverbindungen, Beschädigungen durch Fremdeinwirkung bei Tiefbauarbeiten und das Bersten einer Leitung nach Fehleinbau eines T-Stücks genannt. In Verbindung mit PVC-Leitungen wurden als Schadensart Längsrisse, Abriss von Klebeverbindungen, Bersten, Rohrbruch und Scherbenbildung genannt (s. Abb. 18 bis Abb. 21).

Ausgehend von den Erfahrungen der beteiligten Netzbetreiber und Hinweisen aus der Literatur wurden die folgenden Schadensarten bzw. Auffälligkeiten für Druckleitungen aus PVC und PE identifiziert:

- Undichte Rohrverbindungen,
- Längsrisse,
- Deformationen bzw. Spannungsrisskorrosion insbesondere infolge von Punktlasten,
- Rundrisse,
- Sprödbbruch,
- Leckagen (als Folge),
- Beschädigung durch Dritte.



Abb. 18: Rissbildung in einer Flanschverbindung eines PVC-Abwasserdruckrohres in der Pumpstation (li) [39]
Durch Tiefbauarbeiten hervorgerufener Schaden an einer PE-Abwasserdruckleitung (re) [40]



Abb. 19: Ovalisierung (li) und Deformation durch Punktlast in einer PE-HD-Abwasserdruckleitung



Abb. 20: Sprödbbruch an einem PVC-U Trinkwasserrohr (Verlegejahr vor 1975) [20]



Abb. 21: Spiralbruch eines PVC-Druckrohres aufgrund hohen Innendruckes (li) und übermäßige Verformung durch punktuelle Belastung eines PVC-Druckrohres (re) [41]

3.1.1.3 Asbestzementleitungen

Da es sich bei Asbestzement um einen zementgebundenen Werkstoff handelt, können an der Rohrrinnenseite Schäden durch biogene Schwefelsäurekorrosion auftreten. Insbesondere in Abwasserdruckleitungen neigt das Abwasser bei langen Standzeiten und fehlender Belüftung zur Bildung von Schwefelwasserstoff. Dieser gas in nur teilgefüllten Leitungsabschnitten oder am Druckleitungsende in den Luftraum aus und wird in der Sielhaut der Rohrwand durch Bakterien zu Schwefelsäure oxidiert. Die Schwefelsäure reagiert mit dem Calciumhydroxid des Zementsteins und bildet das Korrosionsprodukt Calciumsulfat. Calciumsulfat ist eine Verbindung mit weicher, quellfähiger Struktur [38].

Darüber hinaus kann das geförderte Abwasser bei geringem pH-Wert zu einem Auslaugen des Calciumhydroxids und somit zu einer Zersetzung des Zementsteins führen. Für Druckrohre, in denen das geförderte Wasser einen geringen pH-Wert und somit eine geringe Alkalität aufweist, kann nach [38] ein erhöhtes Risiko für Materialabbau festgestellt werden. Das Auslaugen des Calciumhydroxids führt grundsätzlich zu einem Festigkeitsverlust des Rohrmaterials, sodass eine Verringerung der Wandstärke, Löcher, Riss- und Scherbenbildungen sowie ein Bersten der Leitung die Folge sein können. Als typischerweise bei einem Druckstoß auftretendes Schadensbild wird in [38] das Heraussprengen einer Rohrscherbe genannt. Unter statischer Belastung entstehen nach [42] üblicherweise Längsrisse in Y-Form.

Als typische Schadensbilder treten darüber hinaus in der Praxis Blasenbildungen in der Innenbeschichtung (vgl. Abb. 25) und ein Aufquellen des Rohrmaterials (vgl. Abb. 22) auf [45,54,55]. Das Aufquellen der Rohrwand wird durch Sulfatreiben bzw. Ettringitbildung in der Zementmatrix verursacht [26,43]. Die Sulfate können sowohl aus der Abwasserfracht selbst als auch aus dem Grundwasser stammen.

Neben einer Innenkorrosion kann auch in ähnlicher Weise ein äußerer Korrosionsangriff aufgrund von aggressivem Grundwasser mit niedrigem pH-Wert und/oder hoher Sulfatkonzentration auftreten. So wirken beispielsweise saure Böden mit pH-Werten unter 6,3 grundsätzlich aggressiv auf Asbestzementrohre. Eine Auslaugung des Calciumhydroxids tritt in Böden mit geringem Ionengehalt auf. Das Gefährdungspotential ist erhöht, wenn der Grundwasserspiegel zyklisch steigt und fällt (Grundwasserwechselzonen) oder wenn Grundwasser das Rohr umströmt. In schwefelsauren Böden reagieren Sulfate mit Calciumhydroxid und den Siliziumverbindungen, die zu einem Quellen der Zementmatrix führen. Nach [38] werden lösliche Sulfate im Grundwasser von > 150 ppm und > 1.000 ppm im Boden als aggressiv angesehen. [38]

Darüber hinaus treten Wandstärkenverluste an Asbestzementrohren selten auch durch Abrieb, also mechanische Beanspruchungen, auf. Hauptsächlich ist davon der Sohlraum betroffen, in dem mit dem Wasser transportierte Stoffe, wie Sand und andere mineralische Bestandteile, einen Abrieb erzeugen und eine V-förmige Einkerbung in der Sohle verursachen (vgl. Abb. 24). [38]

Neben Korrosionsvorgängen können Schlag- und Stoßbelastungen der biegesteifen Asbestzementrohre, z.B. während des Transports oder der Verlegung, zu einem mechanischen Versagen der Rohre führen. Ebenso können Lasten aus Verkehr, Bodenbewegungen und

thermische Veränderungen Schäden verursachen. Ausgeprägte Druckstöße sind nach [38] ein häufiger, aber meist nicht erkannter Faktor für entsprechende Schädigungen. [20,38]

In Asbestzement-Trinkwasserleitungen sind nach [44] bei längeren Liegezeiten von 30-40 Jahren undichte Rohrverbindungen durch Schäden der Dichtungen typisch.

Ausgehend von den Erfahrungen der beteiligten Netzbetreiber und Hinweisen aus der Literatur wurden die folgenden Schadensarten bzw. Auffälligkeiten für Druckleitungen aus Asbestzement identifiziert:

- Korrosion innen/außen bzw. Veränderungen der Zementmatrix mit Festigkeitsverlust und Quellen der Rohrwand,
- Blasenbildung der Innenbeschichtung,
- undichte Rohrverbindungen,
- Riss- und Scherbenbildung,
- Wandstärkenverlust,
- Beschädigung durch Dritte,
- Leckagen als Folge von Schäden.



Abb. 22: Gequollenes Asbestzementrohr einer Abwasserdruckleitung [45]



Abb. 23: Ausschnitt eines korrodierten Asbestzementrohres einer Abwasserdruckleitung [39]

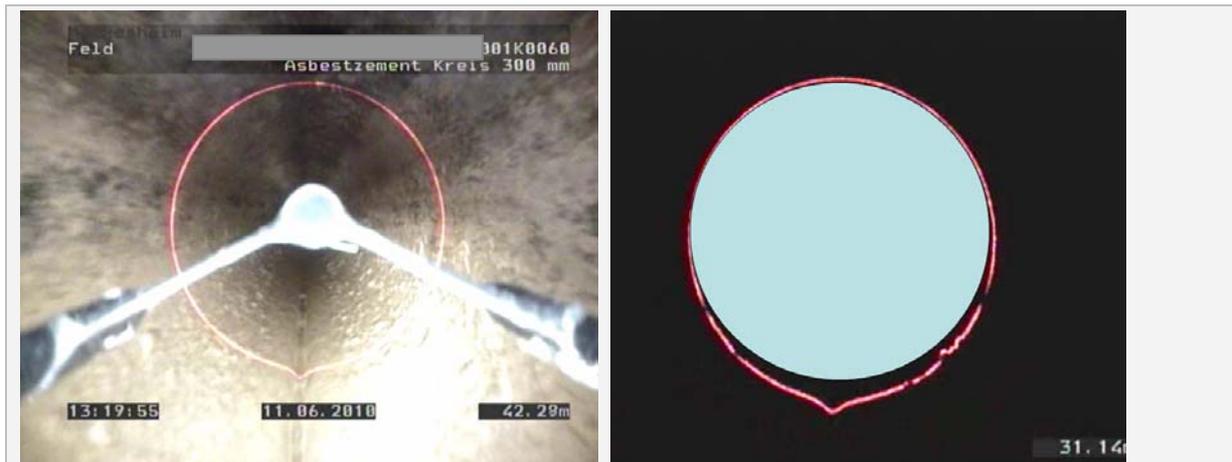


Abb. 24: Materialabtrag in der Rohrsohle eines Asbestzement-Freispiegelkanals (li) und mit Laserlichtring aufgenommenen Querschnitt mit Einblendung des ursprünglichen Kreisquerschnitts (re) [46]



Abb. 25: Blasenbildung (li, mi) und Ablösen von Material (re) der Rohrwand einer Trinkwasser-Asbestzementleitung [47]

4 Zustandserfassung – Techniküberblick und Einsatzvoraussetzungen

Der Markt bietet zahlreiche Techniken zur Zustandserfassung von Druckleitungen. Allerdings wurden diese meist speziell zur Untersuchung von Öl-/Gaspipelines oder Versorgungsleitungen für Fernwärme und Wasser sowie für industrielle Leitungen konzipiert, z.B. von Kraftwerken und der chemischen Industrie. Daher wurden die Techniken meist auf den Rohrwerkstoff Stahl und entsprechende Nennweiten, Zugangsmöglichkeiten und Bögen dieser Leitungen abgestimmt.

In diesem Kapitel wird ein allgemeiner Überblick zu Techniken gegeben, die prinzipiell für die Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen in Frage kommen. Berücksichtigt wurden dabei in erster Linie marktübliche Techniken, die bereits ihre grundsätzliche Einsatzfähigkeit für Abwasserkanäle oder Versorgungs- bzw. industrielle Druckleitungen gezeigt haben.

Wie die folgenden Unterkapitel zeigen, gibt es für Abwasserdruckleitungen bislang nicht „die ideale“ Technik, mit der sich eine Inspektion einfach und kosteneffektiv wie im Freispiegelbereich umsetzen lässt. Bei vielen Techniken müssen zahlreiche Randbedingungen im Vorfeld einer Inspektion sichergestellt werden bzw. sind Vorarbeiten oder bauliche Änderungen notwendig. Dies wirft die Frage auf, wie Inspektionsziele für Abwasserdruckleitungen abhängig von den verfügbaren Techniken realistisch und unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Aspekten sinnvoll formuliert werden können. Entsprechend wurden die Techniken in diesem Kapitel danach gegliedert, wie sie in bzw. an Leitungen eingesetzt werden und wie sie vorgerieben werden. Diese Faktoren haben einen entscheidenden Einfluss auf die Einsatzmöglichkeit und Handhabbarkeit der Techniken in einer Abwasserdruckleitung. Ein Schwerpunkt des Techniküberblicks liegt daher auf den Einsatzvoraussetzungen der jeweiligen Technik und es werden Hinweise zu Inspektionskosten gegeben. Auf Basis dieser Informationen kann abgeschätzt werden, ob eine Technik zur Inspektion von Abwasserdruckleitungen geeignet sein könnte und welcher Aufwand damit verbunden ist.

4.1 Innen-Inspektion

Im diesem Kapitel werden Techniken vorgestellt, mit denen Leitungen von innen auf bestimmte Eigenschaften wie Leckagen, Restwanddicken oder ihren optischen Zustand untersucht werden können. Aufgeführt werden übliche Kanalkameras und Zusatzmodule, Inspektionsroboter, Inspektionsmolche mit unterschiedlichen Messtechniken und weitere Systeme.

4.1.1 Kanalkameras

Die Inspektion einer Leitung mittels Kamera stellt im Bereich der Kanalisation die übliche Vorgehensweise zur Zustandserfassung dar. Bei Freispiegelleitungen sind Technik und Kanal (Nennweite, Schächte) soweit aufeinander abgestimmt, dass eine Inspektion im Regelfall problemlos umgesetzt werden kann. Welche Voraussetzungen für den Einsatz dieser Kameras sowie der zusätzlich adaptierbaren Prüftechniken erfüllt werden müssen, wird in Abschnitt 4.1.1.1 bis 4.1.1.4 dargestellt.

4.1.1.1 Fahrwagenkameras

Heute weit auf dem Markt verbreitet sind **Dreh-/Schwenkbare Kameras** auf einem Fahrwagen als Träger- und Antriebseinheit mit Kabelverbindung zum Inspektionsfahrzeug zur Strom- und/oder Datenübertragung. Die Befilmung des Kanals wird auf einem Datenträger gespeichert. Zeitgleich mit der Befahrung wird vom Inspekteur im TV-Fahrzeug ein Inspektionsprotokoll erstellt. Dieser entscheidet während der Befahrung, welche Wandungsbereiche näher abgeschwenkt werden sollen und klassifiziert die Schadensbilder.

Seit einigen Jahren sind auch Fahrwagenkameras mit sogenannten **Fisheye-Objektiven** erhältlich. Die Weitwinkel-Kameraobjektive nehmen die Rohrwand mit einem halbkugelförmigen Blickfenster auf (360° in Umfangsrichtung und ca. 180° in Längsrichtung). Ziel dieser Inspektion ist es, die Rohrwand vollständig aufzuzeichnen, um auf Basis der Daten später am PC eine virtuelle Befahrung durchführen zu können. Spezielle Software soll es dem Benutzer ermöglichen, das Rohr erneut „zu befahren“ und dabei sämtliche Richtungen abzuschwenken. Unterschiede der Kamerasysteme bestehen im Wesentlichen darin, dass sie mit einem oder zwei Fisheye-Objekten ausgestattet sind. Bei je einem Objektiv an Front und Heck des Fahrwagens werden zeitgleich Vorblick und Rückblick aufgenommen, sodass bei der späteren Bearbeitung im Büro auch entsprechend beide Blickrichtungen, z.B. auf Muffen und Versätze, verfügbar sind.

Die heutigen Fahrwagenkameras sind teilweise mit **Lasertechnik** zur Schadensvermessung und **Ortungssendern** erhältlich, die von der Geländeroberfläche aus mit einem entsprechenden Empfangsgerät geortet werden können (Laser zur Querschnittsvermessung werden gesondert in Abschnitt 4.1.1.4 aufgeführt).

Einsatzvoraussetzungen:

- Eine optische Inspektion einer Leitung ist grundsätzlich unabhängig vom **Leitungsmaterial** möglich, also grundsätzlich auch bei Abwasserdruckleitungen einsetzbar. Allerdings ist zu hinterfragen, inwieweit eine optische Inspektion bei dem jeweiligen Leitungsmaterial ausreichende Informationen zur Zustandsbewertung liefert (vgl. Kapitel 3).
- Grundvoraussetzung für eine optische Inspektion sind die **Außerbetriebnahme** und **Entleerung** der Druckleitung, die mit entsprechend hohem Aufwand verbunden sind. Eine vollständige Entleerung ist ohne bauliche Änderungen nicht bei jeder Druckleitung möglich.
- Eine vorherige **Reinigung** ist für die Befahrbarkeit der Leitung nicht zwangsläufig erforderlich, Ablagerungen können jedoch die Sicht auf die Rohrwand und die Reichweite einer Kamera einschränken.
- Es sind **Zugangsöffnungen** für die Kamera erforderlich. Bei vielen Druckleitungen kommen ein offenes Leitungsende und geöffnete Flanschverbindungen im Pumpwerk als Öffnung in Frage. Revisionsschächte im Leitungsverlauf fehlen oder sind in Abständen von mehreren hundert Metern verbaut. Zudem ist die Größe von Zugangsöffnungen zu den Leitungen aufgrund geschlossener Rohrdurchführungen begrenzt (z.B. Revisionsöffnungen, T-Stücke, Passstücke).

- Herkömmliche Fahrwagenkameras werden ab **Leitungsdurchmesser** DN 100 angeboten, wobei die Systeme i.d.R. erst ab DN 125/ DN 150 bogengängig sind. Kameras mit Fisheye-Objektiv sind derzeit für Nennweiten ab 150/200 mm verfügbar.
- Welche **Reichweite** mit einer Fahrwagenkamera erzielt werden kann, ist neben technischen Randbedingungen der Kamera (Zugkraft, Gewicht, Kabellänge etc.) stark von den Randbedingungen einer Druckleitung abhängig. Aufgrund von Bögen, Steigungen und glatten Rohrwandungen ist davon auszugehen, dass die maximalen Reichweiten der Systeme (systemabhängig meist zwischen 200 m - 1.000 m lt. Hersteller) oft nicht erreicht werden können.

Kosten:

Die Kosten für eine Inspektion mit herkömmlichen Fahrwagenkameras liegen bei ca. 100 €/h netto zzgl. Anfahrt [48,49,50]. Im Vergleich zu Freispiegelkanälen ist bei der Inspektion von Druckleitungen mit erhöhtem Zeitaufwand zu rechnen. Beispielsweise konnten im Rahmen der Praxiseinsätze (vgl. Kapitel 6) im Tagesdurchschnitt zwischen 35 m/h und 175 m/h inspiziert werden.

4.1.1.2 Axialkamera mit Saugschirm

Die sogenannte „**Schleppkamera**“ wurde von der Fa. Karl Reiner GmbH (Wertingen) gezielt für die Inspektion von Abwasserdruckleitungen konzipiert und in Zusammenarbeit mit der Fa. Gullyver - Gesellschaft für mobile Inspektionssysteme mbH (Bremen) als Sonderanfertigung konstruiert. Die Schleppkamera ist eine Axialkamera, die mit Hilfe eines Saugschirms in die Leitung eingesogen wird.

Die Stromversorgung der Kamera wird durch Akkus bereitgestellt, die direkt hinter die Kamera gekoppelt sind (vgl. Abb. 26), um ein leichtes Kabel rein zur Datenübertragung zum Inspektionsfahrzeug verwenden zu können. Der Saugschirm, eine Eigenkonstruktion der Inspektionsfirma, wird abhängig vom Durchmesser der Leitung in verschiedenen Materialien und Nennweiten verwendet. Dieser wird vorne an der Kamera befestigt und zusammen mit Kamera und Kabel in die Leitung eingesogen, indem üblicherweise mit einem Saugfahrzeug ein Unterdruck in der Leitung erzeugt wird. Dazu wird die Leitung im Vorfeld entleert, ein Saugfahrzeug angeschlossen (z.B. an der Pumpstation), Restwasser aus der Leitung gesogen (aus Unterbögen und Tiefpunkten) und anschließend die Kamera von der Gegenseite (z.B. über das offene Ende der Leitung) eingesetzt. [51]

Eine weitere Variante der Inspektion ist lt. Anbieter, zunächst ein Stahlseil mit dem Saugschirm in die Leitung einzuziehen, dieses an eine Kamera zu koppeln und anschließend die Kamera durch die Leitung zu ziehen. So können die Reichweiten lt. Anbieter erhöht werden.

Einsatzvoraussetzungen:

- Wie bei den Fahrwagenkameras ist eine optische Inspektion grundsätzlich unabhängig vom **Leitungsmaterial** möglich. Zu hinterfragen ist, inwieweit eine optische Inspektion bei dem jeweiligen Leitungsmaterial ausreichende Informationen zur Zustandsbewertung liefert (vgl. Kapitel 3).
- Die Leitung ist im Vorfeld der Inspektion **außer Betrieb** zu nehmen und **zu entleeren**.
- Eine vorherige **Reinigung** ist für die Befahrbarkeit der Leitung nicht zwangsläufig erforderlich, Ablagerungen können jedoch die Sicht auf die Rohrwand und Reichweite der Kamera einschränken.
- Das Einsaugen der Kamera kann nur umgesetzt werden, wenn ein **Unterdruck** in der Leitung erzeugt werden kann (ca. -0,2 bar bis -0,6 bar lt. Anbieter). Dies setzt voraus, dass ein Saugfahrzeug bzw. eine Vakuumpumpe durch Übergangsstücke im Pumpwerk, an Revisionsöffnungen oder am Druckleitungsende angeschlossen werden kann. Einsatzgrenzen können durch das Leitungsvolumen oder Restwasser in Tiefpunkten und/oder Unterbögen in Verbindung mit Höhendifferenzen entstehen, sodass kein ausreichender Unterdruck erzeugt werden kann. Ausgehend von einem Unterdruck von beispielsweise -0,9 bar am Saugfahrzeug kann das Restwasser nur bis maximal 9 m Höhendifferenz angesogen werden. Ggf. lassen sich bei größeren Leitungsvolumina oder Höhendifferenzen Teilabschnitte einrichten (Zugänge und Schieber erforderlich). Laut Anbieter konnte bereits ein ausreichender Unterdruck in Leitungsabschnitten bis zu 1.500 m erzeugt werden.

- Als **Zugangsöffnungen** für die Kamera reichen kleine Öffnungen, beispielsweise in Form von T-Stücken und Spülstutzen, aus.
- Das System wird derzeit für **Leitungsdurchmesser** zwischen DN 50 und DN 250 angeboten.
- Die **Reichweite** des Systems ist abhängig vom Leitungsdurchmesser (größerer Saugschirm, höhere Zugkraft) und dem Reibungswiderstand in der Leitung, insbesondere durch Bögen und Hindernisse. Die maximale Reichweite für das gleichzeitige Einsaugen von Schirm und Kamera liegt lt. Anbieter bei geraden Leitungsverläufen in Leitungen DN 250 bei 750 m. Bei Nennweiten von DN 50 seien bis zu 500 m möglich.

Kosten:

Die Kosten für einen Tageseinsatz der Schleppkamera liegen bei ca. 1.400 € netto zzgl. Anfahrt und zzgl. Kosten für das Saugfahrzeug [52]. Im Rahmen von Praxiseinsätzen (vgl. Kapitel 6) wurden im Tagesdurchschnitt rund 60 m/h inspiziert.



Abb. 26: Schleppkamera - Axialkamera mit unterschiedlichen Saugschirmen

4.1.1.3 Kanalradar

Als ergänzende Messmethode für die optische Inspektion von Kanälen wurde in Zusammenarbeit der Firmen M.J. OOMEN BV (Sprundel, Niederlande) und edm Büro für angewandte Geophysik (Sandstedt) das Georadarverfahren für den Einsatz in der Kanalisation weiterentwickelt. Die Kanalradarantenne wird hierbei an einen herkömmlichen Kamerafahrzeug gekoppelt und mit diesem durch die Leitung transportiert (s. Abb. 27).

Das Radar wird mit zwei unterschiedlichen Zielstellungen eingesetzt: In der Regel soll die Rohrbettung auf Hohlräume und sonstige Lagerungsdefekte untersucht oder es sollen Eigenschaften der Rohrwand, wie Wandstärken oder Inhomogenitäten, ermittelt werden. In Abhängigkeit der Aufgabenstellung erfolgen eine Antennen- und Messkonfiguration sowie eine Festlegung der Frequenzbereiche. Bei dieser Messmethode werden mittels einer Breitband-Antenne, die auf die Rohrwand ausgerichtet wird, kurze elektromagnetische Impulse von einigen Nanosekunden Länge gesendet. Die an Schichtgrenzen reflektierten Impulse werden von derselben Antenne wieder empfangen und zeitgleich zur Inspektion in einem Radargramm dargestellt sowie für die spätere, detaillierte Auswertung als Datensatz gespeichert. Die Frequenz der ausgestrahlten elektromagnetischen Impulse liegt in Abhängigkeit der Aufgabenstellung bei Messungen aus dem Kanal heraus in einer Bandbreite von ca. 800 MHz bis 2,5 GHz. [53,54,55]

Bei einer Messung wird die Radarantenne i.d.R. in einzelnen Befahrungen auf Scheitel (12.00 Uhr), beide Kämpfer (3.00 Uhr und 9.00 Uhr) und Rohrsohle (bei Restwasser zwei Messprofile z.B. 5.00 Uhr und 7.00 Uhr) ausgerichtet. So sind im Regelfall vier bis fünf Befahrungen des zu untersuchenden Kanalabschnitts notwendig. [54,55]

Über die Untersuchung der Leitungszone auf Lagerungsdefekte und der Rohrwand auf Restwandstärken und Inhomogenitäten hinaus kann das Kanalradar lt. Anbieter auch zur Bestimmung der Schichtdicke von Zementmörtel-Auskleidungen in Stahl- und Gussleitungen eingesetzt werden [55].

Im Zusammenhang mit Abwasserdruckleitungen kann das Kanalradar insbesondere für die Inspektion von Abwasserdruckleitungen aus Asbestzement und ggf. auch von Zementmörtel auskleidungen in Gussrohren interessant sein.

Einsatzvoraussetzungen:

Die Bestimmung von Lagerungsdefekten und Rohrwandstärken ist nur bei **nichtmetallischen Leitungen**, die vom elektromagnetischen Impuls durchdrungen werden können, denkbar (Beton, Asbestzement, GFK, PVC, Steinzeug). Bei PE-HD-Leitungen eignet sich das Radar nach Angaben des Anbieters nur eingeschränkt, da das Signal durch das Material stark gedämpft werde. Voraussetzung zur Bestimmung der Wandstärke sei, dass sich die Dielektrizitätskonstante von Rohrwand und Rohrbettung unterscheidet. Für **metallische Leitungen** aus Guss und Stahl besteht laut Anbieter die Möglichkeit, die Dicke von Zementmörtel auskleidungen zu bestimmen. [54,55]

Praxisnahe Untersuchungen mit Radar an profilierten Großrohren aus PE-HD in einem IKT-Versuchsstand zeigten in [56], dass für diese Rohre weder eine Erkundung des Rohrprofils noch der Bettung mit dem Radarverfahren möglich war.

- Werden mit dem Kanalradar die Rohrwand oder Zementmörtelauskleidung untersucht, wird als Ergebnis der prozentuale Anteil der noch vorhandenen Wand- bzw. Beschichtungstärke bezogen auf die ursprüngliche Stärke angegeben. Hierzu sind **Angaben** zur ursprünglichen Wandstärke bzw. Beschichtungsdicke notwendig. Liegen keine Angaben vor, wird mit Näherungswerten gerechnet, die durch spätere Probennahmen an der Leitung verifiziert und ggf. korrigiert werden können. Für die Untersuchung der Leitungszone sind sämtliche verfügbaren Angaben zu Materialien der Leitungszone hilfreich.
- Die Leitung ist **außer Betrieb** zu nehmen und zu **entleeren**. Restwasser wirkt dämpfend auf den Impuls und behindert die Radarmessung.
- Da Ablagerungen in der Leitung die Messung beeinflussen können, wird eine vorherige **Reinigung** der Leitung dringend vom Anbieter empfohlen.
- Um eine Kamera samt Antenne einsetzen zu können, werden abhängig vom Leitungsdurchmesser **Öffnungen** über ca. 60-80 cm der Rohrlänge benötigt.
- Das Kanalradar ist derzeit ab **Leitungsdurchmessern** von DN 200 einsetzbar, wobei nach oben hin laut Anbieter keine Beschränkungen bestehen [55].
- Die Kabellänge des Kanalradars liegt bei 350 m, sodass die maximale Inspektionlänge derzeit auf 350 m begrenzt ist. Die vor Ort tatsächlich erzielbare **Reichweite** hängt zudem von der Leistungsfähigkeit des eingesetzten Fahrwagens und den Bedingungen in der Leitung ab.

Kosten:

Die Kosten für einen Tageseinsatz des Kanalradars sind abhängig von der Aufgabenstellung der Untersuchung und liegen für das Kanalradar ohne Fahrwagenkamera bei ca. 2.500 – 3.000 €/d und mit Fahrwagenkamera bei 3.500 – 4.000 €/d netto zzgl. Anfahrt. [57]



Abb. 27: Radarantenne (li) und unterschiedliche Fahrwagen mit montierter Antenne (mi, re)

4.1.1.4 Laser-Querschnittsvermessung

Als Zusatzmodul für Inspektionskameras werden Laser unterstützte Messeinheiten zur Bestimmung des Rohrquerschnitts angeboten. Diese können auf zwei unterschiedlichen Messprinzipien basieren, dem Lichtringverfahren oder der optischen Abstandsmessung.

Bei der optischen Abstandsmessung wird der Rohrquerschnitt üblicherweise mittels Lasertriangulation aufgezeichnet. Bei der Triangulationsmessung wird ein Laserstrahl unter einem bekannten Winkel auf die Rohrwand projiziert. Eine Empfangseinheit (Kamera, Sensor), die sich in einem fixen Abstand und Winkel zur Laser-Lichtquelle befindet, beobachtet den Lichtpunkt. Ändert sich der Abstand zwischen Empfangseinheit und Rohrwand, ändert sich auch der Winkel des reflektierten Lichtstrahls und somit die Position des aufgenommenen Lichtpunktes in der Empfangseinheit. Aus der Positionsänderung wird mit Hilfe der Winkelfunktionen die Entfernung des Objektes von der Laser-Lichtquelle bzw. der Empfangseinheit bestimmt. [58,59]

Geläufiger sind bei der Kanalinspektion Querschnittsmessungen mittels Lichtringverfahren. Ein Beispiel ist der „ClearLine Laser Profiler“ der Firma CleanFlow Systems (Auckland, Neuseeland), der über verschiedene Kamerahersteller⁸ als kompatibles Zusatzmodul angeboten wird. Die Messung mit dem Laser Profiler wird durch eine Laserdiode umgesetzt, die vorne an der Kamera montiert wird und im Blickfeld der Kamera einen Laser-Ring auf die Rohrwand projiziert. Der projizierte Laser-Ring ändert seine Gestalt in Abhängigkeit des Lichtraumprofils und wird während der Befahrung mit der Kamera aufgezeichnet. Mit Hilfe einer speziellen Software werden aus den aufgezeichneten Daten 3D-Modelle der Rohrgeometrie sowie Abwicklungen und Grafiken zum Rohrquerschnitt bzw. -durchmesser erzeugt. [60,61,62]

Ein System, das ebenfalls einen Laser-Ring auf die Rohrwand projiziert und als externes Modul in Kombination mit einer Fahrwagenkamera eingesetzt wird, bietet die Firma jt elektronik GmbH, Lindau an. Die spätere Auswertung zur Bestimmung von Deformationen findet manuell am PC statt, indem der aufgezeichnete Laser-Ring mit einem Referenzkreis überlagert und Abweichungen gemessen werden. Abweichend von den nachfolgend dargestellten Einsatzvoraussetzungen für den Laser Profiler kann dieses Gerät in Leitungen DN 150 bis DN 1000 eingesetzt werden.

Zielstellung der Laservermessung ist es, Rohrdurchmesser, Deformationen, Querschnittsreduzierungen durch Abflusshindernisse sowie Unebenheiten (z.B. nach Sanierung), Materialabtrag durch Korrosion oder Erosion und Lageabweichungen zu bestimmen [62,63]. Daher kann diese Technik auch für Abwasserdruckleitungen interessant sein, um Deformationen in biegeweichen PE- und PVC-Rohren zu bestimmen, Hinweise zu Materialabtrag in Asbestzement- und Gussrohren oder von Korrosionsbeschichtungen zu erhalten oder als vorbereitende Maßnahme für Sanierungen. Da die 3D-Darstellung aus einer Reihe von Querschnittsmessungen generiert wird, können Unterbögen nicht erfasst werden und müssen mit Neigungssensoren aufgenommen werden.

⁸ Für Europa: Cues Europa (Maastricht, Niederlande), IBAK Helmut Hunger GmbH & Co KG (Kiel), iPEK Spezial TV (Hirschegg), Pearpoint Radiodetection (Bristol, UK)

Einsatzvoraussetzungen (Beispiel Laser Profiler):

- Der Laser Profiler ist unabhängig vom **Leitungsmaterial** einsetzbar.
- Das Gerät muss **kompatibel** mit dem verwendeten Kamerasystem sein und wird derzeit für **Leitungsdurchmesser** von 150 mm bis 1.500 mm angeboten. [63]
- Die Druckleitung muss vor der Inspektion **außer Betrieb** genommen und **entleert** werden. Restwasser in der Leitung verfälscht das aufgezeichnete Profil.
- Die Größe der benötigten **Zugangsöffnung** ist in erster Linie abhängig vom eingesetzten Kamerasystem (s. auch Abschnitt 4.1.1.1), da der Laser-Profiler auch im Rohr auf die Kamera montiert werden kann.
- Zur Vermessung des Rohrquerschnitts sollte die Leitung frei von **Ablagerungen** sein, da diese das aufgezeichnete Profil verfälschen.
- Das Gerät wurde für gerade Leitungstrecken konzipiert, sodass nur langgezogene **Bögen** mit großem Radius durchfahren werden können. Querschnittsvermessungen sind hier nicht möglich.
- Die **Reichweite** des Systems ist in erster Linie von der Reichweite des Kamerasystems abhängig und kann durch die besonderen Bedingungen bei Abwasserdruckleitungen (wie Bögen, Zugangsöffnungen in großen Abständen) eingeschränkt sein (vgl. Abschnitt 4.1.1.1).
- Der Laser Profiler ist bislang nicht **explosionssgeschützt** und ist daher in Abwasserdruckleitungen nicht unbedenklich einsetzbar.

Kosten:

Kosten für den Einsatz des Laser Profilers werden von Inspektionsfirmen im Bereich von ca. 1,80 €/m - 2,25 €/m netto zzgl. Fahrwagenkamera und Anfahrt angegeben [64,65].

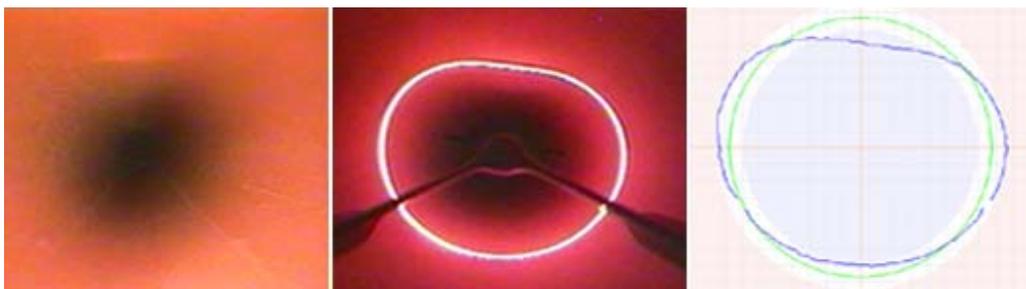


Abb. 28: Rohr mit Deformation (li) und Laser-Kreisring (mi) sowie Abweichung vom Soll-Querschnitt (re) [63]



Abb. 29: Bildbeispiele Laser Profiler für unterschiedliche Kameraköpfe [63]

4.1.2 Inspektionsroboter

Die Firma INSPECTOR SYSTEMS Rainer Hitzel GmbH (Rödermark) stellt Inspektionsroboter her, die speziell zur Befahrung industrieller Leitungen mit Bögen und senkrechten Leitungsabschnitten entwickelt wurden, z.B. von Kraftwerken, chemischen/petrochemischen Anlagen und Pipelines. Das System besteht aus einer Antriebseinheit und einem „Kopfelement“. Dieses Kopfelement wird abhängig von der Zielstellung der Befahrung mit der Antriebseinheit kombiniert und kann aus Kamera, Laser-, Ultraschall-, Wirbelstrom-, Schleif- oder einem Fräselement bestehen. Die Antriebseinheit ist aus mehreren, flexibel miteinander verbundenen Antriebselementen zusammengesetzt, die jeweils mit gegenüberliegenden Rädern („oben“ und „unten“) ausgestattet sind (s. Abb. 30), die pneumatisch an die Rohrwand gepresst werden. [66,67]

Zur optischen Inspektion wird ein Kameramodul angeboten, optional auch mit Laser zur Vermessung von Fehlstellen. Zur Wandstärkenmessung bzw. zur Detektion von Wandstärkenverlusten bei Stahlleitungen wird der Roboter mit Ultraschall- bzw. Wirbelstrom-Prüfelementen kombiniert, die in Zusammenarbeit mit den Firmen KontrollTechnik GmbH (Schwarmstedt, Wirbelstrom) oder der Firma Applus RTD b.v. (Rotterdam, Ultraschall) für den jeweiligen Einsatz konfiguriert werden. Bei der Detektion von Wandstärkenminderungen wird die Wirbelstromprüftechnik mit einem Permanentmagnet kombiniert (s. 4.2.1.1). Nach Angaben des Anbieters wird derzeit eine Wirbelstrom-Messeinheit zur Detektion von Wandstärkenminderungen in Gussleitungen modifiziert. Erste Testeinsätze seien bereits durchgeführt worden. [66]

Auf das Messprinzip von Ultraschall- und Wirbelstromtechniken wird näher in Abschnitt 4.1.3 eingegangen.

Einsatzvoraussetzungen:

- Wie bei allen optischen Systemen ist das Kamera-Modul grundsätzlich unabhängig vom **Leitungsmaterial** einsetzbar, jedoch ist die Aussagekraft einer optischen Inspektion abhängig vom Rohrwerkstoff zu hinterfragen (vgl. Kapitel 3). Ultraschall- und Wirbelstrom-Prüfelement wurden zur Prüfung von Stahlleitungen konzipiert. Ein Einsatz der Ultraschalleinheit in PE/PVC-Leitungen ist nach Angaben des Anbieters grundsätzlich denkbar, jedoch liegen diesbezüglich noch keine Erfahrungen vor. Eine Wirbelstrom-Messeinheit für Gussleitungen ist derzeit in Entwicklung.
- Die Leitung ist unabhängig vom Inspektionsmodul (Kamera, Ultraschall, Wirbelstrom) **außer Betrieb** zu nehmen. Für die optische Inspektion ist die Leitung darüber hinaus **zu entleeren**. Bei Einsatz der Ultraschall-Einheit ist dagegen eine **Vollfüllung** der Leitung mit sauberem, partikelfreiem Wasser als Koppelmedium zwischen Ultraschallsensoren und Rohrwand erforderlich. Luftpolster in der Leitung führen zu Fehlmessungen. Für die Wirbelstromprüfung wird vom Hersteller eine geleerte Leitung empfohlen, sie kann jedoch auch in teil- oder vollgefüllter Leitung durchgeführt werden.
- Eine vorherige **Reinigung** der Leitung ist für die Ultraschall-Messung zwingend erforderlich, da die Messung durch Schmutzstoffe auf der Rohrwand oder im Wasser beeinträchtigt wird. Bei der optischen Inspektion ist sie für die Befahrbarkeit der Leitung nicht zwangsläufig notwendig, Ablagerungen können jedoch die Sicht auf die Rohrwand und

Reichweite des Roboters einschränken. Auch beim Einsatz der Wirbelstrom-Einheit wird seitens des Anbieters eine vorherige Reinigung empfohlen, da Ablagerungen die Messung und den Vortrieb des Roboters behindern können.

- **Bögen** können laut Anbieter bis 360° Richtungsänderung und einem Biegeradius von 1,5D (1,5 x Innendurchmesser) befahren werden, Steigungen bis zur Senkrechten.
- Als **Zugang** für den Inspektionsroboter wird abhängig vom Durchmesser der Leitung eine Öffnung über 0,5 m bis 2 m Rohrlänge benötigt, beispielsweise in Form von geöffneten Armaturen oder Revisionsöffnungen.
- Mit dem Roboter befahrbare **Leitungsdurchmesser** liegen laut Anbieter zwischen DN 75 und DN 750. Für Leitungsdurchmesser kleiner DN 130 kann eine Axialkamera mit dem Antriebsroboter kombiniert werden, ab DN 130 sind eine Dreh-/Schwenkkopfkamera mit Lasermodul sowie das Ultraschall-Modul einsetzbar. Das Wirbelstrom-Modul für Stahlleitungen kann derzeit ab DN 400 mit dem Roboter kombiniert werden und die Wirbelstrommesstechnik für Gusulleitungen wird derzeit für einen Innendurchmesser von 500 mm (Gesamtbereich ca. 400-600 mm) modifiziert.
- Die **Reichweite** des Inspektionsroboters mit Kameramodul liegt laut Anbieter bei maximal 500 m für Nennweiten ab 130 mm, für kleinere Nennweiten bei 100 m. Mit der Antriebseinheit für die Ultraschall-Messung sollen abhängig vom Durchmesser zwischen 200 m und 1.000 m erzielt werden können (1.000 m bei DN 130-200). In Kombination mit der Wirbelstromprüftechnik können bis zu 300 m Leitung befahren werden.
- Der Inspektionsroboter ist bislang nicht **explosionsgeschützt**. Der Auftraggeber hat daher zu gewährleisten, dass keine explosive Atmosphäre in der Umgebung des Einsatzortes besteht.

Kosten:

Die Kosten für einen Tageseinsatz des Inspektionsroboters liegen lt. Anbieter in Größenordnungen von 3.000-5.000 €/d netto inkl. Mobilisation zzgl. Anfahrt, bei Ultraschall- oder Wirbelstrom-Messungen bei ca. 7.000 – 10.000 €/d inkl. Mobilisation zzgl. Anfahrt [68].



Abb. 30: Beispiele der Inspektionsroboter der Fa. Inspector Systems: Roboter mit Kameramodul (li) Roboter mit Wirbelstromprüftechnik (re) [68]

4.1.3 Inspektionsmolche

Inspektionsmolche, auch „Intelligente Molche“ genannt, stammen aus dem industriellen Bereich und gehören zum Standard-Equipment bei der Inspektion von Pipelines. Sie setzen sich aus einer Trägereinheit, meist bestehend aus Kunststoff- und/oder Stahlelementen, und der eigentlichen Inspektionstechnik zusammen, die abhängig von der Zielstellung der Untersuchung eingesetzt wird [69,80]:

- Ultraschalltechniken zur quantitativen Wanddickenmessung sowie zur Detektion und Vermessung von Korrosion, Rissen und Diskontinuitäten der Rohrwand,
- Magnetstreufusstechniken zur qualitativen Bestimmung von Wandstärkenänderungen bzw. Materialverlusten und zur Detektion von Korrosion sowie zur Rissprüfung,
- Wirbelstromtechniken zur Geometriemessung (Beulen, Ovalitäten, Falten etc.), qualitativen Bestimmung von Wandstärkenänderungen bzw. Materialverlusten und zur Detektion von Korrosion sowie zur Rissprüfung,
- Mechanische Tastarme zur Geometriemessung (Beulen, Ovalitäten, Falten etc.),
- Akustische Schallaufnehmer sowie Druckdifferenzmessungen zur Leckageortung,
- Ortungssender zur Lageortung sowie Beschleunigungssensoren und Gyroskope/ Kreiselkompass zur Lagevermessung,
- Kameras zur optischen Inspektion.

Der Markt bietet zahlreiche Inspektionsmolche, bei denen verschiedene Techniken kombiniert sind, z.B. zur Geometrie-, Korrosions- und Lagevermessung. Darüber hinaus sind Techniken verfügbar, die über die oben genannten Grund-Messprinzipien hinausgehen. Als Beispiel können hier sogenannte EMAT-Sensoren (Electro-magnetic Acoustic Transducer) genannt werden, die über elektromagnetische Wellen bei gleichzeitiger Magnetisierung der Rohrwand Ultraschallimpulse auslösen, die zur Rissprüfung und Wanddicken- bzw. Korrosionsprüfung in Gasleitungen eingesetzt werden [80].

Molche werden mit gasförmigen oder flüssigen Medien (häufig das Fördermedium der Leitung) vorgetrieben. Stromversorgung und Datenspeicherung sind üblicherweise auf dem Molch installiert, sodass das System ohne Kabel durch die Leitung geführt wird. In speziellen Anwendungsgebieten werden auch Kabelmolche mit bidirektionaler Datenübertragung eingesetzt, z.B. in Steigleitungen an Ölplattformen [71].

Auch bei Abwasserdruckleitungen ist das Molchen von Leitungen üblich, allerdings nur im Zusammenhang mit Reinigungsmaßnahmen oder zum Orten einer Leitung. Zur Reinigung werden meist Schaumstoffmolche unterschiedlicher Härtegrade und Nennweiten sowie mit unterschiedlichen Beschichtungen verwendet (siehe auch [70]). Soll die Leitung geortet werden, können Molche auch in Kombination mit Ortungssendern eingesetzt werden, die dann durch oberirdisches Abschreiten der Leitungstrasse mit einem Empfangsgerät lokalisiert werden.

Wesentlicher Unterschied von Inspektionsmolchen für den industriellen Bereich zu Reinigungs-/Ortungsmolchen für Abwasserdruckleitungen ist, dass diese i.d.R. nicht aus

Schaumstoff, sondern aus Stahl und/oder Kunststoffelementen bestehen, sodass sie weniger flexibel bei Durchmesseränderungen und Bögen sind. Die Prüftechniken intelligenter Molche zur Untersuchung der Rohrwand auf Schäden und Materialverluste wurden meist für den Rohrwerkstoff Stahl konzipiert und sind daher bei den Werkstoffen von Abwasserdruckleitungen nicht oder nur eingeschränkt einsetzbar.

Allgemeine Einsatzvoraussetzungen, die für Molche unabhängig von der Prüftechnik gelten, sowie Kostenbeispiele, werden nachfolgend zusammenfassend aufgeführt. In den Abschnitten 4.1.3.1 bis 4.1.3.7 werden verschiedene Messprinzipien vereinfacht dargestellt und Informationen zu inspizierbaren Leitungsmaterialien gegeben.

Einsatzvoraussetzungen:

- Inspizierbare **Leitungsmaterialien** sowie prüfbare Parameter werden in den Abschnitten 4.1.3.1 bis 4.1.3.7 erläutert.
- Die inspizierbaren **Leitungsdurchmesser** sind abhängig von der Technik und vom Anbieter. Magnetstreulicht- und Ultraschallmolche werden beispielsweise für Leitungsdurchmesser ab DN 80 angeboten.
- Für **Einsatz** und Entnahme eines Molches in/aus der Leitung werden Molchschleusen benötigt. Dies sind Bypassstücke zur Leitung, deren Durchmesser dem Molchdurchmesser angepasst ist (meist Übermaß), sodass der Molch ohne besonderen Kraftaufwand eingesetzt werden kann. Indem der Molchschleuse entweder das Fördermedium der Leitung durch entsprechende Anschlüsse und Schieber zugeleitet wird oder externe Aggregate Druck erzeugen, wird der Molch aus der Schleuse in die Leitung vorgetrieben. Um bei Abwasserdruckleitungen temporäre Zugänge zu schaffen, ist es möglich, in der Pumpstation Flanschverbindungen zu öffnen und entsprechend aufgeweitete Passstücke anzuf lanschen oder den Molch über ein Endstück einzusetzen (vgl. Abb. 31).
- Auch wenn die Leitung für das Molchen **nicht entleert** werden muss und der Molch mit dem Fördermedium der Leitung vorgetrieben wird, entstehen bei Abwasserdruckleitungen zumindest Einschränkungen des **Betriebs**. In den meisten Fällen muss zunächst eine Molchschleuse geschaffen und somit die Leitung in der Pumpstation geöffnet und zumindest im Teilabschnitt entleert werden. Ist die Förderhöhe der Pumpe nicht ausreichend für den Vortrieb des Molches, muss eine separate Pumpe angeschlossen werden.
- Für den Vortrieb des Molches ist ein **Differenzdruck** zwischen Druck vor und hinter dem Molch notwendig, der abhängig vom Molch und den Bedingungen der Leitung (z.B. Bögen, Nennweite, Beschaffenheit der Rohrwand) variiert. Üblich ist im industriellen Bereich eine Differenzdruck von ca. 0,5 bar bis 2 bar, wobei der Druck zum Anfahren des Molches aufgrund der Haftreibung um 0,5-2 bar höher liegt [69,71].
- Die **Reichweite** bzw. die durchgängig befahrbare Leitungslänge ist beim Molchen in erster Linie von der Stromversorgung und der Datenspeicherung abhängig. Da Molche dazu ausgelegt wurden, lange Pipelineabschnitte von bis zu über 100 km zu befahren, bestehen diesbezüglich bei Abwasserdruckleitungen keine Einsatzgrenzen.

- Einsatzgrenzen können durch die meist starren Molche mit geringen Toleranzen hinsichtlich **Nennweitenänderungen** und eingeschränkter **Bogengängigkeit** entstehen (Ausnahmen z.B. sind Schaumstoffmolche mit Ortungssender oder Kamera). Üblicherweise können Bogenradien ab dem 1,5-fachen bis 3-fachen Innendurchmesser passiert werden (1,5D-3D). Da bei vielen Abwasserdruckleitungen weder der exakte Verlauf noch die Ausführung der Bögen bekannt ist und zudem keine Kenntnis über mögliche Querschnittseinengungen vorliegt (z.B. durch Verformung, Schäden oder Ablagerungen), sind Vorarbeiten notwendig, um die Durchgängigkeit der Leitung sicherzustellen. Dazu gehört eine **Molchreinigung** und ggf. der Einsatz von Konturmolchen zur Sicherstellung der Durchgängigkeit (montierte Scheiben/Bleche werden bei zu kleinen Bogenradien verbogen) oder Kalibermolchen zur Bestimmung der Rohrgeometrie und zum Messen von Bogenradien. Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Leitung möglichst keine abzweigenden Leitungen gleicher Nennweiten ohne Leitblech im T-Stück enthalten sollte und keine Hindernisse durch einragende Schieber entstehen.
- Zum Transport eines Molches muss ein ausreichendes **Wasservolumen** in der Pumpstation verfügbar sein (ggf. Zuleitung von Frischwasser zum Pumpwerk).

Kosten:

Ein Großteil der Kosten fällt beim Einsatz intelligenter Molche für die Mobilisation der Geräte an, da die Molche im Regelfall für die zu prüfende Leitung modifiziert werden, um das Gerät auf Nennweite, Bögen, Material etc. anzupassen. Beispielsweise beginnen die Kosten für den Einsatz von Ultraschall- und Streuflussmolchen bei ca. 60.000 € bis 80.000 € für Mobilisation und Leitungsinspektion [71,72]. Bei Einsatz von einfachen Kalibermolchen ist mit Kosten um ca. 15.000 € zu rechnen [71] und die Kosten für den Einsatz eines Molches zur akustischen Leckagedetektion werden mit ca. 6.000 -11.000 € [73] angegeben. Kosten für eine Leitungsortung mittels Schaumstoffmolch und Ortungssender wurden nicht pauschal beziffert. Angeboten zwei unterschiedlicher Firmen zur Ortung einer Leitung DN 80 mit 420 m Länge ist ein Preis von 2.300 – 3.900 € für den Einsatz zu entnehmen [74,75].

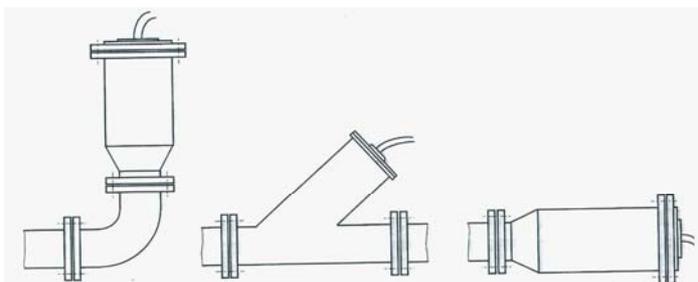


Abb. 31: Schematische Darstellung temporärer Molchschleusen [69]

4.1.3.1 Ultraschall

Bei der Ultraschallprüftechnik senden Schallköpfe Impulse im Ultraschallbereich auf die Rohrwand und empfangen die reflektierten Signale. Zur Wanddickenbestimmung bzw. Korrosionsmessung werden die Impulse senkrecht auf die Rohrwand gesendet. Ein Teil der Signale wird an der inneren Rohrwand reflektiert und ein Teil durchläuft die Rohrwand und wird an der äußeren Rohrwand sowie an Diskontinuitäten reflektiert werden. Aus der Differenz zwischen den Laufzeiten des Eintrittsechos der Rohrinneiseite und des Rückwandechos lässt sich unter Berücksichtigung der Geschwindigkeit des Ultraschalls im Rohrmaterial die Wanddicke bestimmen. Über die Laufzeit des Eintrittsechos, dem zuerst reflektierten Signal an der Rohrinneiseite, und der Geschwindigkeit des Schalls im Koppelmedium (z.B. Öl oder Wasser) wird der Abstand zwischen Ultraschallsender und der Rohrinneiseite bestimmt, der sogenannte Vorlauf. Mit Hilfe des Vorlaufwertes und der gemessenen Wanddicke lassen sich Aussagen dazu treffen, ob es sich bei einer Wanddickenminderung um Außen- oder Innenkorrosion handelt (vgl. Abb. 32). Um eine vollständige Prüfung der Rohrwand durchführen zu können, muss der Inspektionsmolch mit einer entsprechenden Anzahl an Ultraschallköpfen ausgestattet sein. Zur Detektion von Rissen in der Rohrwand werden Ultraschallköpfe verwendet, die den Ultraschallimpuls schräg auf die Rohrwand senden (vgl. Abb. 33). [69,76,77]

Bei Messungen mittels Ultraschall wird ein Koppelmedium zwischen Ultraschallkopf und Rohrwand benötigt, d.h. die Leitung muss mit Flüssigkeit gefüllt sein. Luft- oder Gaseinschlüsse dämpfen das Schallsignal und verfälschen die Messung. Allerdings wurden auch Sonderlösungen zur Inspektion von Gasleitungen entwickelt, beispielsweise Molche mit Ultraschallsensoren in flüssigkeitsgefüllten Laufrädern [69] oder Sensoren, die über elektromagnetische Wellen Ultraschallimpulse im Prüfkörper anregen und kein Koppelmedium benötigen [80].

Messungen mittels Ultraschall liefern im Gegensatz zu Magnetstreufuss- oder Wirbelstrommessungen quantitative Werte, d.h. die Dicke der Rohrwand bzw. die Abmessungen des Fehlers werden direkt bestimmt.

Die Ultraschallprüftechnik ist bei homogenen Materialien einsetzbar und wurde in erster Linie für den Werkstoff Stahl konzipiert. Ein Einsatz in PVC und PE scheint nach Ansicht der Anbieter denkbar zu sein, Leitungen aus Gusseisen dagegen werden aufgrund des im Vergleich zu Stahl inhomogenen Werkstoffs vermutlich nicht inspizierbar sein [71,72].

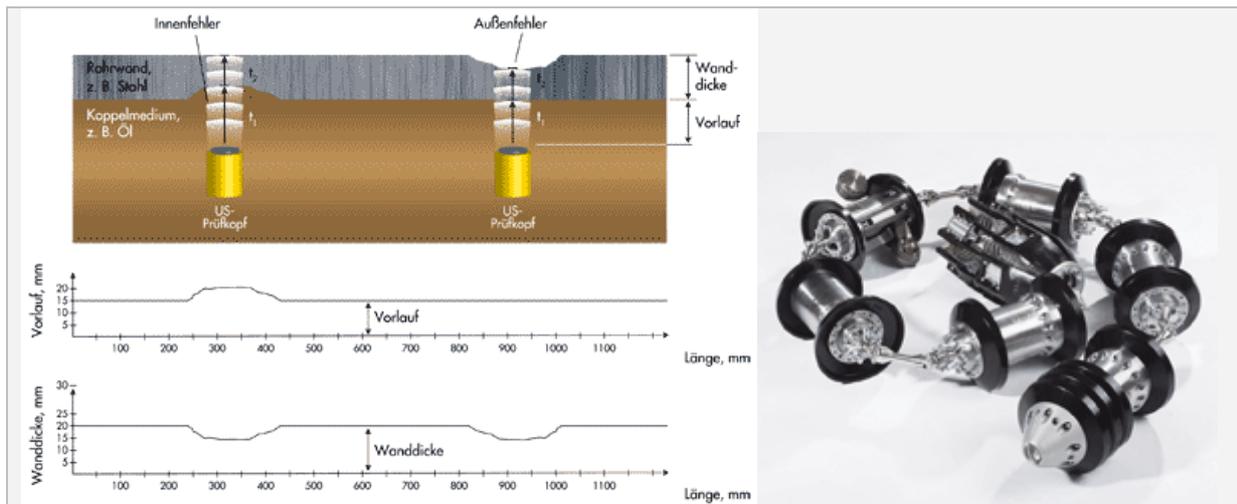


Abb. 32: Prinzip der Ultraschallmessung zur Wanddickenbestimmung (li) [76];
 Beispiel für Ultraschallmolch LINEEXPLORER der Fa. NDT Systems & Services zur
 Wanddickenprüfung oder Rissprüfung (re) [76]

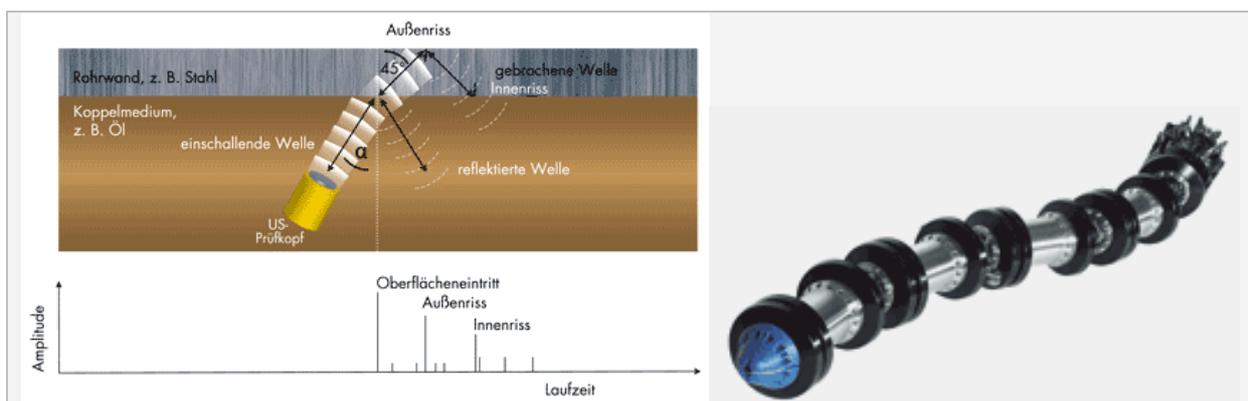


Abb. 33: Prinzip der Ultraschallmessung zur Rissprüfung (li) [76];
 Beispiel für Ultraschallmolch LINEEXPLORER UC der Fa. NDT Systems & Services zur
 Rissprüfung (re) [76]

4.1.3.2 Magnetstreulfluss

Beim Magnetstreulflussverfahren wird mit Hilfe von Elektro- oder Permanentmagneten ein starkes Magnetfeld in die zu prüfende Rohrwand induziert. Dementsprechend ist dieses Verfahren nur bei ferromagnetischen Werkstoffen anwendbar. Die Magnete müssen so auf die Rohrwand abgestimmt sein, dass eine magnetische Sättigung der Rohrwand erreicht wird. Im ungestörten Material wird ein gleichmäßiger magnetischer Zustand hervorgerufen, sodass ein Magnetfeld mit parallel zur Rohrwandoberfläche verlaufenden Feldlinien entsteht (Abb. 34). In Fehlstellen, z.B. durch Risse und Korrosion, nimmt die magnetische Leitfähigkeit (Permeabilität) im Vergleich zum intakten Material ab. Durch den höheren magnetischen Widerstand an der Störstelle wird das induzierte Magnetfeld abgelenkt. Während ein Teil der Feldlinien weiterhin durch die Störstelle verläuft, umgeht ein Teil der Feldlinien die Störstelle über den Restquerschnitt und ein Teil tritt in der Umgebung der Störstelle aus der Rohrwand aus (vgl. Abb. 34). Letzteres wird als Magnetstreulfluss bezeichnet und wird mit Sensoren an der Rohrwand gemessen. Als Sensoren kommen sogenannte Hall-Sensoren zum Ein-

satz, mit Hilfe derer die Magnetfeldstärke direkt gemessen wird. Ebenfalls werden Spulensensoren verwendet, die Messsignale liefern, die proportional zur Änderung der magnetischen Flussdichte sind. Zur Unterscheidung zwischen innen und außen liegenden Fehlern wird meist ein zusätzlicher Wirbelstromsensor eingesetzt, der nur Innenkorrosion aufnimmt. [69,71,78,79,80,81]

Ein nachweisbarer Streufluss kann sich nur dann ausbilden, wenn die Störstelle in einem Winkel zwischen 45° und 90° zu den Feldlinien verläuft, da die Feldlinien den Fehler andernfalls störungsfrei umfließen und kein Streufluss auftritt [78]. Vor diesem Hintergrund sind die Magneten bei den Molchen je nach Zielstellung der Untersuchung unterschiedlich angeordnet. Abb. 34 zeigt einen Molch, der das Rohr in Längsrichtung magnetisiert und vorrangig zur Detektion von Korrosion und Wandstärkenänderungen eingesetzt wird. Darüber hinaus ist in Abb. 34 ein Molch zur Detektion von Fehlern in Längsrichtung (wie Längsrisse und Furchenkorrosion) dargestellt, bei dem das Rohr in Umfangsrichtung magnetisiert wird.

Mittels Magnetstreufluss werden Fehlstellen indirekt ermittelt und es lassen sich nur qualitative Aussagen treffen, d.h. es wird eine prozentuale Restwandstärke bezogen auf die Ausgangs- bzw. auf die kalibrierte Wandstärke ermittelt [80,82]. Um Fehlstellen detektieren zu können, müssen sprunghafte Änderungen in der Leitfähigkeit der Rohrwand vorliegen.

Messungen mittels Magnetstreufluss können nur an magnetisierbaren Leitungsmaterialien durchgeführt werden. Demnach kommt das Verfahren nur bei Abwasserdruckleitungen aus Stahl oder Guss in Frage, wobei Gussrohre nach Einschätzung der Anbieter grundsätzlich prüfbar sein könnten [72,82].

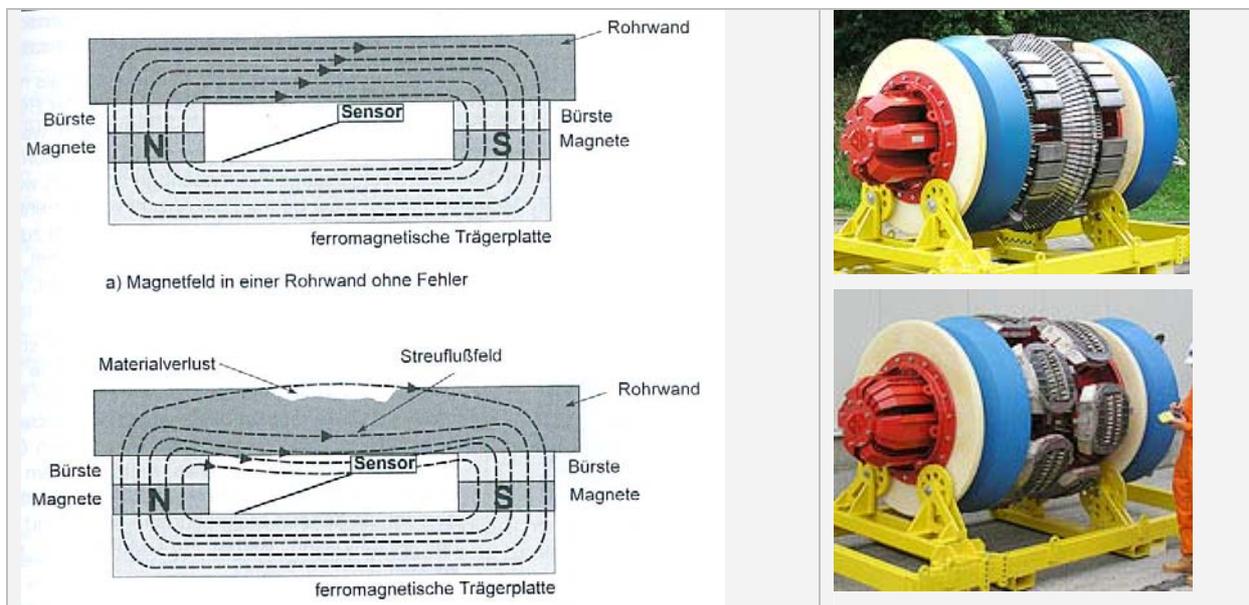


Abb. 34: Prinzip der Magnetstreufluss-Messung (li) [69];
Beispiele für Magnetstreufluss-Molche „Corrosion Detection Tool“ zur Detektion von Korrosion (rechts oben) und „HiRes Axial Flaw Detection Tool“ zur Detektion von Fehlstellen in Längsrichtung (rechts unten) der Fa. ROSEN Swiss AG [83]

4.1.3.3 Wirbelstrom

Die Wirbelstromprüfung basiert auf folgendem Prinzip: Eine mit Wechselstrom gespeiste Spule erzeugt ein magnetisches Wechselfeld (Primärfeld), das wiederum ringförmig von einem elektrischen Wechselfeld umgeben ist. Wenn ein leitfähiger Prüfkörper in den Wirkungsbereich dieses elektrischen Wechselfeldes gebracht wird, führt es zu ringförmigen Wirbelströmen im Prüfkörper. Diese erzeugen ebenfalls ein magnetisches Wechselfeld (Sekundärfeld), das sich mit dem Primärfeld der Spule überlagert. Da das Sekundärfeld dem ursprünglichen Spulenfeld entgegen gerichtet ist, erhöht sich der Wechselstromwiderstand (Impedanz) der Spule. Das resultierende Magnetfeld und somit auch die Impedanz der Spule sind unter anderem von den elektrischen und magnetischen Eigenschaften sowie den Abmessungen des Prüfkörpers und dem Abstand zwischen Spule und Prüfkörper abhängig. Fehlstellen im Prüfkörper führen somit zu Impedanzänderungen der Spule, die über Spannungsänderungen an der Spule erfasst und ausgewertet werden können. [85,84,78]

Statt mit Hilfe der stromgespeisten Spule Spannungsänderungen aufzunehmen, kann auch eine zweite Spule als Empfängerspule eingesetzt werden. In diesem Fall induziert das durch die mit Erregerstrom gespeiste Spule (Sendespule) hervorgerufene elektromagnetische Wechselfeld in die Empfängerspule eine Spannung. Ebenfalls kann als Empfänger auch ein Magnetfeldsensor eingesetzt werden, der die Magnetfeldstärke in eine elektrische Spannung umsetzt. [81]

Wirbelstromprüfungen werden bei elektrisch leitenden und/oder ferromagnetischen Materialien angewendet und können zur Detektion von Wandstärkenänderungen, Korrosion und Fehlstellen eingesetzt werden (qualitative Messung). Wie bei der Magnetstreufeldmessung werden Fehlstellen erfasst, bei denen sprunghafte Änderungen in der Leitfähigkeit der Rohrwand bestehen. Darüber hinaus wird Wirbelstrom für Deformationsmessungen eingesetzt (vgl. Abb. 36). Bei Abwasserdruckleitungen kommt Wirbelstrom grundsätzlich für Stahlleitungen in Frage. Gussleitungen müssten nach Einschätzung der Anbieter auch prüfbar sein [68,72,82]. Allerdings ist die Wirbelstromprüftechnik nach [71] nur zur Prüfung von Rohren mit geringer Wandstärke oder zur Oberflächenprüfung geeignet und müsste daher zur Bestimmung von Außenkorrosion und Wandstärkenverlusten mit anderen Techniken kombiniert werden.

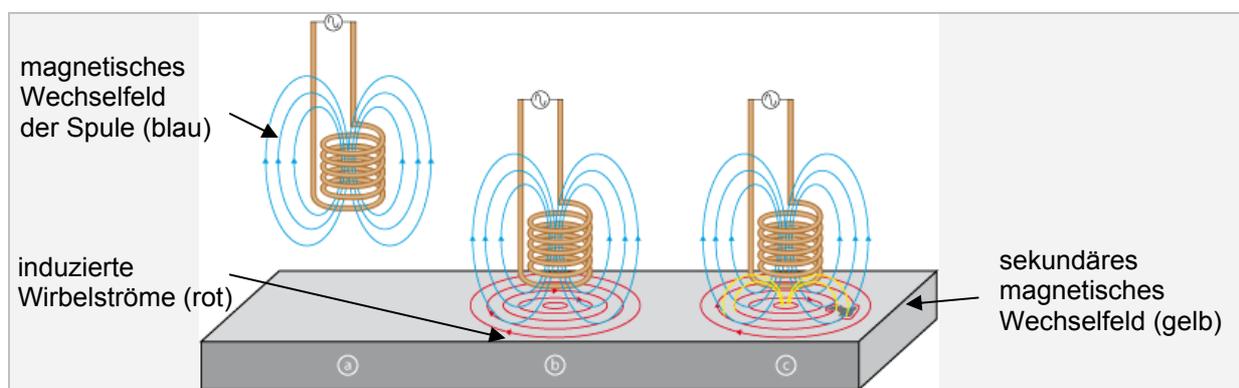


Abb. 35: Prinzip der Wirbelstromprüfung nach [85]

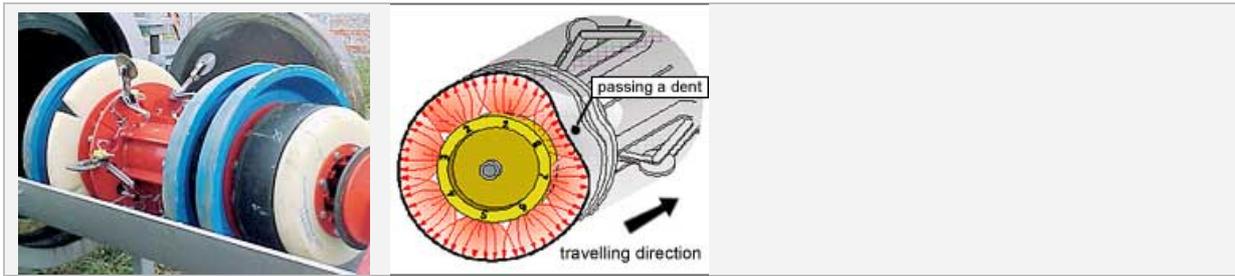


Abb. 36: Beispiel eines Wirbelstrom-Prüfmolches zur Bestimmung des Rohrquerschnitts:
 „RoGeo – Electronic Geometry Tool“ zur Messung von Deformationen der Fa. ROSEN Swiss AG [83]

4.1.3.4 Mechanische Geometriemessung

Molche zur Detektion von geometrischen Anomalien wie Beulen, Ovalitäten und Falten und zum Teil auch zur Vermessung von Bogenradien werden Caliper- bzw. Kalibermolche oder auch Beulensuchmolche genannt. Ihr Einsatz ist grundsätzlich materialunabhängig. Mit Hilfe von mechanischen Tastarmen, die an der Rohrwand anliegen, wird der Rohrquerschnitt abgetastet. Bei Änderungen des Innendurchmessers werden die Tastarme ausgelenkt, was entsprechend aufgezeichnet und ausgewertet wird. In Abb. 37 sind Beispiele für Molche zur mechanischen Geometriemessung dargestellt. [69]

Kalibermolche sind unabhängig vom Leitungsmaterial einsetzbar und kommen daher grundsätzlich auch zur Querschnittsvermessung von Abwasserdruckleitungen in Frage, soweit Einsetzen und Entnahme des Molches möglich sind und die Leitung für den Molch durchgängig ist (vgl. Einsatzvoraussetzungen Abschnitt 4.1.3).



Abb. 37: Beispiele von Molchen zur Geometriemessung:
 „Single Channel Caliper Pig“ zur Verfügung gestellt durch © Analytic Pipe GmbH, Lingen (li) [86];
 „RoGeo XT“ der Fa. ROSEN Swiss AG (re) [83]

4.1.3.5 Akustische Leckageortung

Mit akustischen Lecksuch-Molchen wird die Leitung auf typische Ausströmgeräusche untersucht, die das unter Druck austretende Medium verursacht. Mit Hilfe von Schallaufnehmern werden Schallwellen erfasst und anschließend mit spezieller Software ausgewertet, um Störgeräusche, die beispielsweise von Pumpen, Straßenverkehr und Schweißnähten verursacht werden, herauszufiltern. Die Zuordnung von Geräusch und Leitungsposition erfolgt mit Hilfe von Hodometern (Wegmesser). Üblicherweise sind Mindestdrücke und -leckageraten erforderlich, sodass das Ausströmgeräusch deutlich erfasst werden kann. Für den in Abb. 38 links dargestellten Molch ist beispielsweise ein Betriebsdruck in der Leitung von mindestens 3 bar und eine Leckagerate von 5 l/h notwendig. [71,73]

Der Einsatz von akustischen Lecksuch-Molchen ist prinzipiell materialunabhängig, soweit die Auswertungssoftware auf typische Ausströmgeräusche und Störgeräusche des Leitungsmaterials abgestimmt ist. Daher ist ein Einsatz in Abwasserdruckleitungen grundsätzlich denkbar, soweit die erforderlichen Mindestdrücke aufgebracht werden können und die Leitung für den Molch durchgängig ist.

Nach [69] besteht auch die Möglichkeit, Leckagen mit Hilfe von Druckdifferenzmessungen zu detektieren.

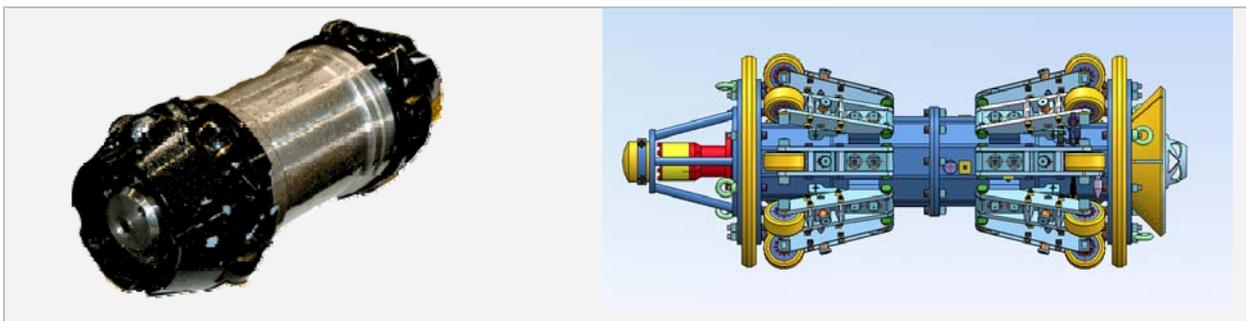


Abb. 38: Beispiele für akustische Lecksuchmolche:
„GLD 202 Leak Detector“ der Fa. GOTTSBERG Leak Detection (li) [87];
Skizze Lecksuchmolch der Fa. NDT Systems & Services (re) [88]

4.1.3.6 Geodätische Lagevermessung

Zur Bestimmung des Leitungsverlaufes werden sogenannte Inertial- oder geodätische Vermessungsmolche mit Beschleunigungssensoren, Gyroskopen bzw. Kreiselkompassen und Hodometern eingesetzt. Mit Hilfe der Messtechnik werden Translations- und Rotationsbewegungen des Molchs aufgenommen, d.h. die Ausrichtung bzw. Drehlage und die zurückgelegte Wegstrecke des Molches. Mit Hilfe der Daten wird die Lage der Leitung mit x, y und z-Koordinaten bestimmt, die sich anschließend in andere Koordinatensysteme transformieren lassen. [69,83]

Die Messtechnik bei den Inertial-Molchen ist grundsätzlich unabhängig vom Leitungsmaterial funktionsfähig, sodass sie auch bei allen Materialien der Abwasserdruckleitungen eingesetzt werden könnte. Allerdings muss die Leitung für den Molch durchgängig sein.

4.1.3.7 Optische Inspektion

Zur optischen Inspektion von Leitungen werden Molche angeboten, die mit Kamera- und Beleuchtungstechnik ausgestattet sind. Im Gegensatz zu den Fahrwagenkameras für die Kanalisation sind Stromversorgung und Datenspeicherung auf dem Molch installiert, sodass kein Kabel benötigt wird. Auf dem Markt sind unterschiedliche Systeme verfügbar. Abb. 39 zeigt beispielsweise einen Molch, der mit Gas, Luft und transparenten Flüssigkeiten vorgerieben werden kann. Ebenfalls sind auch Schaumstoffmolche (ähnlich einem Reinigungsmolch) mit rückseitigem Kameramodul erhältlich, die mit Wasser vorgetrieben werden [82].

Eine optische Inspektion ist grundsätzlich unabhängig vom Leitungsmaterial möglich, allerdings ist die Aussagekraft der Inspektion abhängig vom Material und den zu erwartenden Schäden. Da die Molche in Abwasserdruckleitungen sinnvoller Weise mit Wasser vorgetrieben würden, ist fraglich, inwieweit partikelfreies Wasser zum Vortrieb zur Verfügung gestellt werden kann.



Abb. 39: Beispiel für Kameramolche: „Optical Observation Device (OPD)“ der ROSEN Swiss AG [89];

4.1.4 Eingespülte oder gezogenen Techniken

4.1.4.1 Eingezogenes Gerät zur mechanischen Kaliber- und Verformungsmessung

Von der Firma OPTIMESS Engineering GmbH (Gera) wird das sogenannte „Deformations- und Kalibermessgerät DKM“ zur Durchmesserbestimmung von Rohren aller Art, beispielsweise im Vorfeld einer Sanierung oder im Nachgang als Abnahme, und zur Verformungsmessung biegeweicher Rohre angeboten. Die Messung basiert auf einer mechanischen Vier-Punkt-Abtastung der Rohrwand in Scheitel, Sohle und Kämpfern (vgl. Abb. 40). Das DKM wird in der Praxis meist mittels eines Spülschlauches durch die Leitung gezogen, indem der Schlauch von Schacht A nach Schacht B eingespült und das Messgerät vor dem Rückzug mit dem Schlauch verbunden wird. Alternativ wird das Messgerät auch mit Hilfe einer Kamera oder eine Seilwinde durch die Leitung transportiert. Die Messdaten werden entweder während der Inspektion über ein Kabel zum Datenlogger übertragen oder auf dem Gerät gespeichert. Wird das Gerät ohne Kabel eingesetzt, ist es nach Angaben des Herstellers ebenfalls denkbar, dieses an einen Molch gekoppelt durch die Leitung zu transportieren. [91,92]

Im Zusammenhang mit der Zustandserfassung bestehender Abwasserdruckleitungen könnte ein Einsatz der Technik z.B. für Deformationsmessungen biegeweicher Rohre und zur vorbereitenden Kalibermessung vor Sanierungen in Frage kommen. Zu beachten ist für die Zielstellung der Untersuchung, dass der Leitungsdurchmesser bei dieser Messtechnik in zwei Richtungen (zwischen Sohle und Scheitel sowie zwischen den Kämpfern) ermittelt wird. Deformationen durch Punktlasten oder das Maximum von Ovalisierungen werden abhängig von ihrer Position im Rohrquerschnitt nicht in jedem Fall erfasst (vgl. auch [90]).

Einsatzvoraussetzungen:

- Die Kalibermessung wird unabhängig vom **Rohrmaterial** und die Deformationsmessung bei biegeweichen Rohren eingesetzt [91,92].
- Das Gerät wird in zwei unterschiedlichen Ausführungen für **Leitungsdurchmesser** von DN 150 bis DN 1200 angeboten [91,92].
- Für die eigentliche Messung ist der **Füllungszustand** der Leitung unerheblich, jedoch ist das Gerät nur bis 0,5 bar wasserdicht. Wird das Gerät mit einer Seilwinde oder einem Spülschlauch durch die Leitung gezogen, kann dies auch im voll- oder teilgefüllten Zustand ablaufen. Bei Einsatz einer Fahrwagenkamera sollte die Leitung zuvor entleert werden. Eine **Außerbetriebnahme** der Leitung ist erforderlich, unabhängig davon, ob das Gerät mit Spülschlauch, Kamera oder Seilwinde transportiert wird.
- Das Messgerät hat eine Länge von 40 cm und kann vom Schacht aus in der Leitung an das Transportgerät (Kamera, Seilwinde, Spülschlauch) gekoppelt werden, sodass eine entsprechend große **Zugangsöffnung** benötigt wird.
- Die Leitung sollte frei von **Ablagerungen** sein, da diese die Messung verfälschen können. Entsprechend sollte die Leitung im Vorfeld gereinigt werden.
- Das Gerät ist laut Hersteller eingeschränkt bogengängig und kann nur langgezogene **Bögen** durchfahren. [91]

- Derzeit wird das Messgerät laut Hersteller mit 300-400 m Kabellänge oder ohne Kabel mit bis acht Stunden Datenaufzeichnung angeboten [91]. Welche **Reichweite** letztendlich in einer Abwasserdruckleitung erzielt werden kann, ist somit in erster Linie davon abhängig, wie weit Spülschlauch, Kamera etc. in die Leitung transportiert werden können und ob die Leitung Bögen enthält.

Kosten:

Die Kosten für den Einsatz des Deformations- und Kalibermessgerätes liegen abhängig von der Nennweite des Rohres und der zu inspizierenden Länge zwischen 1,80 €/m bis 3,00 €/m netto zuzüglich der Kosten für Kamera, Spülwagen etc. zum Transport des Gerätes [91].



Abb. 40: Messsonde im Rohr (li), Messsonde für DN 150-400 (mi) und für DN 450-800 (re) [92]

4.1.4.2 Ballartiges eingespültes Hydrophon zur Leckageortung

Der SmartBall®, ein patentiertes System der Pure Technologies Ltd. (Calgary, Kanada), ist ein mit dem Medium der Leitung transportierter Schaumstoffball (Durchmesser 180 mm), der im Inneren einen Aluminium-Kern (Durchmesser 65 mm) mit Hydrophon enthält. Ähnlich wie die unter Abschnitt 4.1.3.5 beschriebenen Molche zur akustischen Leckageortung werden mit dem SmartBall® Geräusche im Inneren der Leitung aufgezeichnet, um Leckagen und Luftpolster zu detektieren. Die Schaumstoffhülle dient zum Schutz der Technik und zur Erhöhung der Schleppspannung für den Transport des Balls mit dem Wasserstrom.

Zur Lokalisierung des Balls während der Inspektion und zur späteren Zuordnung von aufgenommenen Geräuschen zur Leitungsposition werden passive akustische Sensoren in regelmäßigen Abständen außen an der Leitung befestigt (z.B. an Armaturen, in Schächten etc.). Die Sensoren empfangen Signale, die der SmartBall® im Drei-Sekunden-Takt Sekunden aussendet.

Einsatzvoraussetzungen:

- Grundsätzlich ist das System unabhängig vom **Leitungsmaterial** einsetzbar, soweit die typischen, zu filternden Störgeräusche des Leitungsmaterials bekannt sind. Laut Hersteller können jegliche Arten von Druckleitung untersucht werden inklusive Beton, Guss, PVC und GFK [94].
- Der SmartBall® wurde nach Angaben des Anbieters [93] für **Durchmesser** von 600 mm bis 1.600 mm konzipiert, wobei zwischen DN 200 und DN 600 Inspektionen mit leichten Einschränkungen ebenfalls möglich seien.

- Für den **Einsatz** des Balls in die Leitung werden spezielle, temporäre Schleusen angeflanscht (z.B. an Entlüftung, Flansch DN 150). Die Entnahme des Balls kann entweder am offenen Ende der Leitung oder mit Hilfe einer speziellen Schleuse mit Auffangnetz umgesetzt werden, die beispielsweise an einer Entlüftung installiert wird (Flansch DN 150). [93]
- Die passiven **Sensoren** zur Lokalisierung des Balls werden üblicherweise in Abständen von maximal 1.100-1.300 m an Bauteilen mit direkter Verbindung zur Leitung montiert (z.B. Ventil, Entlüftung, Schieber, Leitung selbst). Dementsprechend sind Zugänge zur Leitung erforderlich. [93]
- Die maximale **Reichweite** des Balls ist von der Aufzeichnungsdauer und der Vortriebsgeschwindigkeit des Balls abhängig. Bei 0,5 m/s Fließgeschwindigkeit und 15 Stunden Aufzeichnungsdauer können rund 25 km an einem Stück inspiziert werden. [94]
- Über die gesamte Inspektionlänge muss ein **Mindestdruck** von 3-4 bar vorliegen, damit vorhandene Leckagen erfasst werden können [93]. Ist der Druck bei einer Abwasserdruckleitung nicht ausreichend, kann ggf. eine externe Pumpe angeschlossen werden. Bei offenem, drucklosen Leitungsende kann möglicherweise durch Teilschließen eines Schiebers der Druck erhöht werden.
- Für den Transport des Balls wird eine **Mindestfließgeschwindigkeit** von 0,15-0,5 m/s abhängig von den Steigungen im Leitungsverlauf gefordert. [82]
- Vor der Inspektion muss die **Durchgängigkeit** der Leitung sichergestellt werden, d.h. die Leitung sollte frei von einragenden Hindernissen (zum Beispiel Schieber), Ablagerungen und Querschnittsverengungen sein, die der Ball nicht passieren kann. Ggf. ist eine vorherige Reinigung der Leitung erforderlich.
- **Abzweigende** Leitungen müssen abgesperrt werden, damit der Ball nicht unbemerkt in einen Abzweig eingespült wird. [82]
- Zur einwandfreien Messung ist eine **Vollfüllung** der Leitung erforderlich. Sind Luftpolster enthalten, ist eine Leckagemessung nicht möglich. In diesem Fall werden Luftpolster detektiert. Der **Betrieb** der Leitung kann mit leichten Einschränkungen durch Einsetzen und Entnahme des SmartBall® aufrechterhalten werden. [93]
- Für den Transport des Balls muss ein ausreichendes **Wasservolumen** in der Pumpstation verfügbar sein (ggf. Zuleitung von Frischwasser zum Pumpwerk erforderlich).

Kosten:

Die Kosten für eine Leitungsinspektion mittels SmartBall® liegen bei 4 € pro Meter Leitung zuzüglich Mobilisation und Demontage. [93]



Abb. 41: Schaumstoffhülle (li) und Technik-Kern (re) des SmartBall®

4.1.4.3 Mit Schirm eingezogenes Hydrophon zur Leckageortung

Das patentierte „Sahara® Leak Locating System“ wurde vom Water Research Center (WRC), Swindon (U.K.) entwickelt, um Leckagen in Trinkwasser-Hauptleitungen zu detektieren und zu lokalisieren. Ähnlich wie beim SmartBall® (Abschnitt 4.1.4.2) und akustischen Lecksuchmolchen (Abschnitt 4.1.3.5) werden mittels eines Hydrophons typische Leckagegeräusche aufgezeichnet, die vom austretenden Wasser verursacht werden. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Systemen wird das Hydrophon beim Sahara® Leak Locating System in Trinkwasserleitungen mit Hilfe eines Schirms mit dem Abwasserstrom transportiert und ist über ein Kabel mit dem Inspektionsfahrzeug verbunden (vgl. Abb. 42). Das Kabel dient der Datenübertragung sowie Stromversorgung und wird zur Kontrolle der Position bzw. der eingespülten Länge des Hydrophons genutzt. Um die Position eines Lecks und/oder die Lage der Leitung orten zu können, ist ein Ortungssender integriert, der beim Abschreiten der Trasse mit einem Empfangsgerät geortet wird. Dieses ist ebenfalls in der Lage, GPS-Daten aufzuzeichnen. [95,97]

Das System kann nach Angaben des WRC grundsätzlich auch in Abwasserdruckleitungen eingesetzt werden. Allerdings wurde in Testeinsätzen festgestellt, dass Schmutzstoffe zur Abdichtung von Leckagen tendieren und somit eine Leckageortung erschweren bzw. verhindern. Aufgrund höherer Fließgeschwindigkeiten in Abwasserleitungen (mit > 1 m/s angegeben) wurde statt eines Schirms eine kleine Antriebseinheit zum Vortrieb des Gerätes genutzt. [96]

Einsatzvoraussetzungen:

- Das Sahara® Leak Locating System ist nach Angaben des Anbieters unabhängig vom **Leitungsmaterial** einsetzbar, explizit wird auch die Anwendbarkeit in Leitungen aus Guss, PVC, PE, GFK und Asbestzement genannt. [97]
- Das System ist laut Hersteller für **Leitungsdurchmesser** ab DN 100 einsetzbar, bewährt habe sich das System derzeit in Durchmessern von 100 mm bis 2.700 mm. [97]
- Für den Einsatz werden **Öffnungen** von mindestens 50 mm Größe benötigt. [97]
- Das Hydrophon wird mit dem Wasserstrom transportiert, dementsprechend ist die Verfügbarkeit eines ausreichenden **Wasservolumens** in der Pumpstation sicherzustellen (ggf. Zuleitung von Frischwasser zum Pumpwerk erforderlich).

- Zur einwandfreien Messung des Hydrophons ist eine **Vollfüllung** der Leitung erforderlich, andernfalls werden Luftpneinschlüsse detektiert. Die Untersuchung kann laut Anbieter während des **Leitungsbetriebs** erfolgen.
- In Trinkwasserleitungen sollte möglichst ein **Mindestdruck** von 1 bar vorliegen. Nach Erfahrungen des Anbieters ist eine Leckageortung in Abwasserdruckleitungen aufgrund häufig geringer Drücke und abdichtender Wirkung von Schmutzstoffen schwierig. [96]
- Die **Reichweite** des Systems ist abhängig von der Fließgeschwindigkeit. Bei 0,1 m/s werden nach Angaben des Anbieters 100 m erreicht, bei 0,5 m/s über 500 m. Bei hohen Fließgeschwindigkeiten über 1 m/s wurden bereits 2.000 m erreicht (maximale Kabellänge). Durch Bögen wird die Reichweite eingeschränkt. [97]
- Damit Leckagen detektiert werden können, sind **Mindestleckageraten** von 1 l/h erforderlich. [97]
- Die **Ortungstiefe** ist insbesondere abhängig vom Leitungsmaterial und der Wandstärke und beträgt maximal Ortungstiefe 5 m. [97]

Kosten:

Zu Kosten liegen keine Auskünfte vor. Außerhalb von U.K. und Irland liegen die Vermarktungsrechte bei der Fa. PPIC (Ontario, Canada).

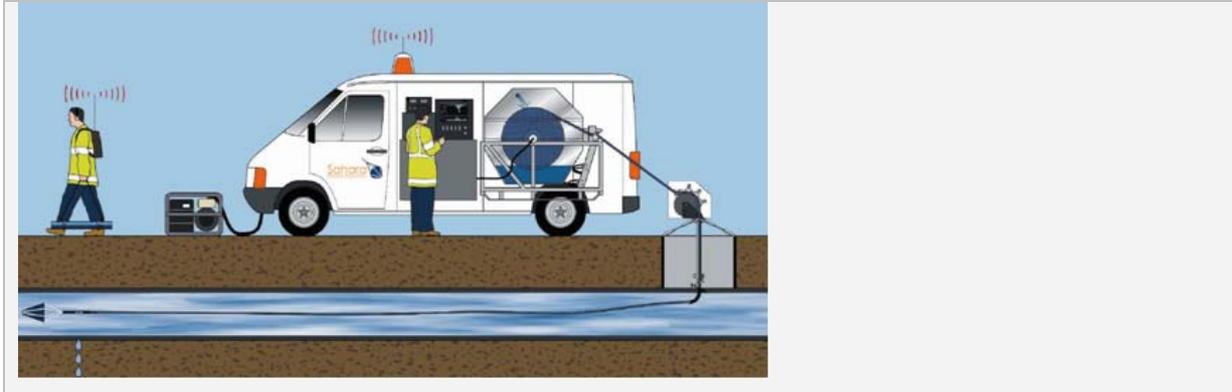


Abb. 42: Prinzipskizze des Sahara® Leak Locating System [97]

4.1.4.4 Eingezogenes Gerät mit Ringlaserkreiseln und Wegaufnehmer zur Lagevermessung

Ein System zur Bestimmung der x, y, z-Koordinaten von Leitungen ist der sogenannte DuctRunner™ des Herstellers Reduct NV, Schelle (Belgien). Das Gerät arbeitet mit einem Trägheitsnavigationssystem auf Basis von Ringlaserkreiseln in drei Achsen sowie einem Wegaufnehmer. Das Messsystem wird mit einer an den Leitungsdurchmesser angepassten Trägereinheit kombiniert (s. Abb. 43) und mit Hilfe eines Stahlseils durch die Leitung gezogen. Das Stahlseil wird zuvor in die Leitung eingespült, beispielsweise mit einem Schirm. [101]

Einsatzvoraussetzungen [101]:

- Das Gerät ist unabhängig vom **Leitungsmaterial** einsetzbar und für **Leitungsdurchmesser** von 40 mm bis 1.200 mm konzipiert.
- Im Vorfeld einer Inspektion sollte die **Durchgängigkeit** einer Leitung sichergestellt werden, d.h. es sollten keine Ablagerungen oder Hindernisse, beispielsweise durch einragende Schieber, vorliegen.
- **Abzweigende** Leitungen sind abhängig von ihrer Position im Querschnitt der Hauptleitung passierbar.
- **Bögen** können mit dem DuctRunner™ passiert werden, wenn diese einen Radius von mindestens 1,5-3 x Innendurchmesser aufweisen. Das System ist mit einem Ortungssender ausgestattet und könnte im Fall eines Steckenbleibens geortet werden.
- **Querschnittsreduzierungen** im Leitungsverlauf können nur in geringem Umfang überwunden werden. In Leitungen DN 1200 liegt die Toleranz laut Anbieter beispielsweise bei 40 mm.
- Die maximale **Reichweite** beträgt nach Angaben eines Anwenders 2.500 m [101]. Die tatsächlich erzielbare Reichweite ist in erster Linie von den in einer Leitung enthaltenen Bögen abhängig, die sich sowohl auf die Einziehbarkeit des Stahlseils als auch des DuctRunner™ auswirken können.

Kosten:

Die Kosten für einen Tageseinsatz des DuctRunner™ liegen bei ca. 4.000 €/d. [101]

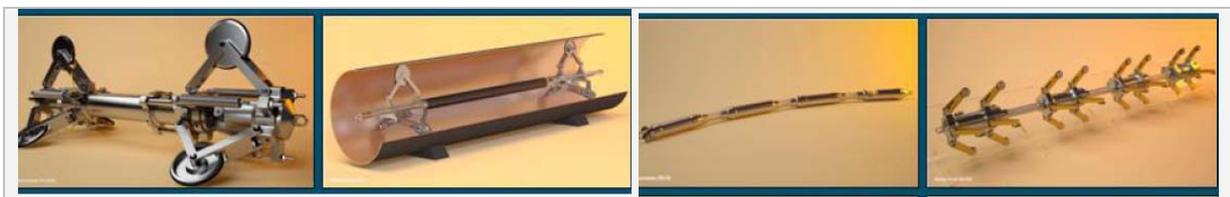


Abb. 43: DuctRunner™ [101]

4.2 Außen-Inspektion

Neben einer Inspektion aus dem Leitungsinnen heraus besteht die Möglichkeit, Leitungen von außen zu untersuchen. In den folgenden Abschnitten 4.2.1 und 4.2.2 werden Techniken, mit denen die frei gelegte Rohrwand untersucht wird, und Techniken, die an erdüberdeckten Leitungen eingesetzt werden, dargestellt.

4.2.1 Prüfung an freigelegter Rohrwand

Nach Freilegen von Leitungsabschnitten ist es möglich, die Leitung zerstörungsfrei von außen auf Fehlstellen und Restwandstärke zu untersuchen. Für diesen Zweck werden spezielle Techniken, z.B. mit Ultraschall und elektromagnetischen Verfahren angeboten, die in den Abschnitten 4.1.4.1 und 4.2.1.2 erläutert werden.

4.2.1.1 Elektromagnetische Prüftechnik

Zwei Beispiele für elektromagnetische Prüftechniken, mit denen ferromagnetische Leitungen von außen auf Schwächungen der Rohrwand untersucht werden können, sind SLOFEC™ (Saturation Low Frequency Eddy Current) der KontrollTechnik GmbH, Schwarmstedt und smartCAT der Advanced Engineering Solutions Ltd, Cramlington (UK). Da die Leitungen im Vorfeld der Untersuchung frei gelegt werden müssen, können diese Techniken nur zur stichpunktartigen Überprüfung des Rohrzustands eingesetzt werden. Zur Prüfung sollten vorzugsweise Stellen ausgewählt werden, an denen höhere Korrosionswahrscheinlichkeiten vorliegen, beispielsweise an Hochpunkten.

Das SLOFEC™ Scannergerät wurde nach Angaben des Herstellers zur Prüfung industrieller Anlagen, z.B. Leitungen, Tanks und Kessel, entwickelt und arbeitet mit Wirbelstromprüftechnik (s. Abschnitt 4.1.3.3) in Kombination mit einem Magnetfeld. Es wird eingesetzt, um Materialverluste, vor allem durch Korrosion, an der Materialober- und -unterseite bzw. an der äußeren und inneren Rohroberfläche zu bestimmen. Mit dem Gerät werden sprunghafte Änderungen der Wandstärke ab 20 % Wandschwächung detektiert, Flächenkorrosion oder langsam einlaufende Korrosion können entsprechend nicht erfasst werden. Als Ergebnis wird der prozentuale Anteil der noch vorhandenen Wandstärke bezogen auf die Ausgangsstärke ausgegeben. Im Regelfall wird das SLOFEC™-Gerät an einer Referenzprobe kalibriert (z.B. Rohrhalbschale mit definierten Fehlstellen gleichen Rohrwerkstoffs). In der Praxis werden teils zusätzlich Ultraschallgeräte eingesetzt, um absolute Wandstärken zur Kalibrierung des SLOFEC™ und an auffälligen Stellen zu messen. Zur Messung wird das in Abb. 45 dargestellte Gerät in Bahnen längs zur Rohrachse händisch über die Leitung gerollt. Die Prüftechnik SLOFEC™ wird ebenfalls in Kombination mit Inspektionsrobotern zur Inneninspektion von Rohren eingesetzt (vgl. Abschnitt 4.1.2). [82,98]

Beim smartCAT werden ferromagnetische Leitungen mittels Magnetstreufusstechniken (s. Abschnitt 4.1.3.2) untersucht. Für Leitungsdurchmesser von 75 mm bis 300 mm wird ein Gerät eingesetzt, das den gesamten Rohrumfang umschließt und zeitgleich den gesamten Rohrumfang scannt (Abb. 44 rechts). Bei größeren Durchmessern wird ein Gerät verwendet, das in Bahnen längs zur Rohrachse über die Leitung gerollt wird (Abb. 44 links). Mit dem Gerät können laut Anbieter Fehlstellen lokalisiert, Tiefe und Ausmaß dieser bestimmt und

Korrosionsraten ermittelt werden. Dabei wird zwischen inneren und äußeren Fehlstellen der Rohrwand unterschieden. [99]



Abb. 44: Beispiel Magnetstreulussmessung „smartCAT“ der Fa. Advanced Engineering Solutions Ltd [99]



Abb. 45: Beispiel „SLOFEC™“ (Wirbelstromprüftechnik in Kombination mit einem Magnetfeld) der Fa. KontrollTechnik GmbH

Einsatzvoraussetzungen (Beispiel SLOFEC™):

- Das Verfahren kann nur bei ferromagnetischen **Materialien** eingesetzt werden. Erfahrungen liegen laut Anbieter [82] auch für Gussleitungen vor.
- Das Gerät kann für Leitungen ab DN 50 eingesetzt werden [82].
- Die Leitung ist in den zu untersuchenden Teilabschnitten um den gesamten Umfang **freizulegen**. Im Idealfall wird laut Anbieter eine Rohrlänge einschließlich der Muffen, andernfalls mindestens 5 m Rohrlänge frei gelegt [82].
- Laut Anbieter kann das SLOFEC™ bei **Rohrwandstärken** bis zu 25 mm (für Stahl) und bei nichtleitfähigen **Beschichtungen** von bis zu 7 mm eingesetzt werden [82].
- Zur Kalibrierung des Gerätes sollten Material und ursprüngliche Wandstärke des Rohres bekannt sein. Im Idealfall liegt eine **Rohrprobe** gleichen Werkstoffs vor, an der das Gerät kalibriert werden kann.
- Die Messung kann während des **Leitungsbetriebs** erfolgen.

Kosten:

Kosten für den Einsatz des SLOFEC™ sind laut Anbieter von den Randbedingungen der Leitung und der Länge der zu untersuchenden Rohrabschnitte abhängig. Ein Tageseinsatz des Gerätes liegt bei ca. 2.000 €/d netto zuzüglich Anfahrt. Die inspizierbare Rohrlänge ist von den örtlichen Gegebenheiten abhängig. Im Rahmen eines Praxiseinsatzes wurde ein Rohrabschnitt von drei Meter Länge einer Gussrohrleitung DN 300 in ca. 4 Stunden untersucht. Der Hauptaufwand bei dieser Untersuchungsmethode fällt allerdings beim Freilegen und Verfüllen des Leitungsabschnitts sowie der Wiederherstellung der Oberfläche an.

4.2.1.2 Ultraschall

Neben Ultraschallprüfungen mittels Molch oder Roboter aus dem Inneren der Leitung heraus ist es ebenfalls möglich, Ultraschallmessungen auf der Rohraußenseite anzuwenden. Zu unterscheiden sind zwei Arten der Prüfung: Zum einen gibt es Techniken, mit denen ein Teilabschnitt der Rohrwand direkt und quantitativ auf Restwandstärken und Fehlstellen untersucht wird (Messprinzip vgl. Abschnitt 4.1.3.1). Zum anderen sind Techniken verfügbar, mit denen über einen Prüfkopfring Ultraschallwellen in die Rohrleitung eingeleitet werden, die sich in Längsrichtung ausbreiten und an Stellen mit Materialänderung wie Korrosion und Schweißnähten, reflektiert werden. Mit Hilfe des aufgenommenen Ultraschall-Impuls-Echos werden Position und Ausmaß von Korrosion qualitativ ermittelt bzw. Positionen von Schweißnähten etc. bestimmt. Üblicherweise wurden die Ultraschalltechniken für den industriellen Bereich zur Untersuchung von Leitungen, Tanks etc. entwickelt und sind somit auf den Werkstoff Stahl abgestimmt.

Ein Beispiel für eine Technik zur direkten Wandstärken- und Korrosions- bzw. Fehlstellenmessung sind die Geräte „DSM GO“ und „DSM 2“ der Firma GE Inspection Technologies GmbH (Hürth). Mit dem Handmessgerät können punktuelle Messungen u.a. an Stahl-, Guss und PE-Rohren durchgeführt werden (vgl. Abb. 46). Bei PVC-Rohren ist das Gerät nach Angaben des Herstellers nicht einsetzbar. Für Messungen mittels dieser Techniken muss die Leitung frei liegen. Korrosionsschutzbeschichtungen müssen ggf. entfernt werden. Die Kosten für das Messgerät liegen bei ca. 8.000 € netto, Messungen als Dienstleistungen werden am Markt üblicherweise zwischen 50 €/h bis 90 €/h angeboten. [100]

Der Wavemaker™ der Applus RTD Group, Rotterdam (NL) ist ein Beispiel für eine Technik mit Prüfkopfring zur Detektion von Erosion, großflächiger Korrosion sowie Rissen und zum Auffinden von z.B. Flanschen, Schweißnähten, Bögen und Stützen.

Einsatzvoraussetzungen (Beispiel Wavemaker™):

- Das Gerät ist laut Anbieter sowohl für **Stahl-** als auch für **Gussleitungen** einsetzbar [101].
- Die Prüfringe werden dem **Außendurchmesser** des Rohres angepasst und sind für Rohre DN 25 bis DN 1000 einsetzbar.
- Die Leitung muss zur Installation des Prüfkopfrings über eine Länge von mindestens 50 cm – 100 cm **frei zugänglich** sein und ggf. freigelegt werden.
- Die **Reichweite** der Messung ist vom Ausmaß der Reflexionen abhängig, die z.B. vom Rohrmaterial, Stärke der Korrosion, Rohrummantelung und Abständen von Flanschen abhängig sind. Je größer die Reflexionen sind, desto geringer ist die Reichweite. Nach Herstellerangaben können als Maximum bis zu 25-50 m erzielt werden. Für Bitumen-beschichtete Gussleitungen wird die Reichweite auf 1-5 m geschätzt. [82,101]
- Detektiert werden Risse und flächige Materialabträge, die einen **Materialverlust** von mehr als 5 % aufweisen [101].

- Da die axiale Auflösung des Prüfsystems 100 mm beträgt, werden Fehlstellen mit geringerem **Abstand** als zusammenhängende Fehlstelle erfasst bzw. kann an T-Stücken und Abgängen Korrosion nicht zugeordnet werden [101].
- Da Rohrbiegungen das Ultraschallsignal verzerren, sollte pro Messabschnitt nur ein **Rohrbogen** enthalten sein, der darüber hinaus nicht in der Nähe des Prüfkopfringes liegt. Im Abstand von 0,5 m hinter einem Bogen ist keine Datenauswertung möglich. Ebenfalls darf der Abschnitt nur bis zu sechs Schweißnähte enthalten bzw. kann bei Flanschen bis zum ersten Flansch geprüft werden [101].
- Die Messung kann während des **Leitungsbetriebs** erfolgen.

Kosten:

Die Kosten für einen Tageseinsatz des Wavemaker™ liegen bei ca. 2.000 € netto zuzüglich Anfahrt [101].



Abb. 46: „DMS 2“ Ultraschall-Wanddicken-Messgerät der GE Inspection Technologies GmbH (li) [102], Wavemaker™ der Applus RTD Group (re) [101]

4.2.2 Prüfung erdüberdeckter Rohre

4.2.2.1 Akustische Leckageortung

Bei Wasserversorgungsleitungen sind zur **Ortung von Leckagen** unter anderem akustische Lecksuchgeräte üblich, mit denen durch das austretenden Wasser angeregte Schwingungen, die sich im Rohrmaterial und im Bodenkörper ausbreiten, detektiert werden. Beispielsweise bietet die Hermann Sewerin GmbH (Gütersloh) ein System für Wasserversorgungsleitungen an. Bei der „Elektroakustischen Wasserlecksuche“ werden Armaturen der Leitung mit einem sogenannten „Teststab“ mit Hilfe eines Mikrophons nach auffälligen Geräuschen abgehört. In einem zweiten Schritt wird die Leitungstrasse mit Hilfe eines Bodenmikrophons abgehört, um Leckagen zu orten. Für die Beurteilung der Geräusche spielt das menschliche Ohr eine wichtige Rolle, um Lautstärke und Klang zu vergleichen und zu beurteilen. Da Anwendbarkeit und Genauigkeit des Messergebnisses von zahlreichen Faktoren abhängig sind, wie z.B. Umweltgeräusche (Wind, Regen, Straßenverkehr), Verlegetiefe, Art der Oberfläche und des Bodens sowie Gehör und Erfahrung des Anwenders, wird diese Technik auch in Kombination mit Korrelatoren angeboten. Zur Korrelation wird je ein Mikrophon an zwei Armaturen des Rohres befestigt (z.B. an Schieber, Hydrant, Ventil). Abhängig von der Distanz der beiden Kontaktstellen zur Leckage ergeben sich unterschiedliche Laufzeiten des Schalls zum Mikrophon. Unter Berücksichtigung von Material, Nennweite und Länge der Messstrecke wird so nach Herstellerangaben die Position des Lecks bestimmt. Erfahrungen mit der Leckageortung an Abwasserdruckleitungen liegen bislang nicht vor. Problematisch sind nach Einschätzung des Anbieters die Störgeräusche, die von der Pumpe erzeugt werden. Möglicherweise können Teststab und Bodenmikrophon eingesetzt werden, wenn ein erfahrener Anwender zwischen Pumpengeräuschen und Leckgeräuschen unterscheiden könne. Die Mikrofone mit der Gerätetechnik zu Korrelation seien allerdings nicht anwendbar. [103,104]

Einsatzvoraussetzungen [104]:

- Der Teststab (Abhören von Armaturen auf Leckagegeräusche) ist nur bei **Leitungsmaterialien** wie Stahl und Guss einsetzbar, die Schall gut weiterleiten. Hierfür sind **Armaturen** abhängig von der Wanddicke des Rohres in Abständen von maximal 200-400 m notwendig. Bei PE- und PVC-Leitungen kann der Teststab nicht angewendet werden.
- Das Bodenmikrophon ist nach Angaben des Anbieters unabhängig vom **Leitungsmaterial** einsetzbar.
- Der erforderliche **Mindestdruck** liegt abhängig von der Leckagegröße und dem Leitungsmaterial bei 1-2 bar (Stahl) bis 10 bar (Kunststoff). Bei Abwasserdruckleitungen ist nach Angaben des Anbieters davon auszugehen, dass undichte Stellen durch Ablagerungen zugesetzt werden können. Entsprechend vergrößert sich die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Leckageortung durch höhere Drücke. Kleine Leckagen können nach Einschätzung des Anbieters bei Abwasserdruckleitungen schwierig geortet werden.
- Es ist eine **Vollfüllung** der Leitung erforderlich.

- Die Leckageortung findet während des **Leitungsbetriebs** statt.
- Das Bodenmikrophon wird an Trinkwasserleitungen bei einer üblichen **Tiefenlage** von ca. 1,50 m eingesetzt. Die maximale Tiefenlage für eine Leckageortung liegt nach Einschätzung des Anbieters bei zwei Meter.

Kosten:

Die Kosten für eine elektroakustische Wasserlecksuche der Firma Sewerin liegen bei ca. 270 € netto für die ersten zwei Stunden Untersuchung zuzüglich Anfahrt. Für jede weitere Stunde werden 76 € angesetzt. Nach Einschätzung des Anbieters kann sich eine Leckageortung bei Abwasserdruckleitungen sehr aufwendig gestalten, wenn bei Kunststoffleitungen bzw. fehlenden Armaturen bei Gussleitungen nur das Bodenmikrophon eingesetzt werden kann. [104]



Abb. 47: Systemkoffer der Fa. Sewerin zur elektroakustischen Leckageortung [103]

4.2.2.2 Leckageortung mit Tracergas und gelöstem Helium

Eine Methode, um Leckagen in erdverlegten Versorgungsleitungen aufzuspüren, ist es, die Leitung mit einem **Tracergas** zu füllen und dieses unter Druck zu setzen. Lässt sich das Gas an der Erdoberfläche mit Spürgeräten nachweisen, deutet dies auf eine Leckage hin. Im Vorfeld einer Untersuchung ist zunächst der Leitungsbetrieb zu unterbrechen und die Leitung bzw. ein Teilabschnitt zu entleeren. Als Tracergase werden beispielsweise Formiergas (Gemisch aus Stickstoff und Wasserstoff), Stickstoff und Helium eingesetzt. [105]

Um eine Außerbetriebnahme und Entleerung einer Leitung zu umgehen, wurde vom Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (Oberhausen) speziell für Fernwärmeleitungen ein Lecksuchverfahren mit **gelöstem Helium** entwickelt. Das Helium wird dem Prozesswasser in geringen Mengen in gelöster Form zugegeben. So wird nach Angaben des Anbieters das Wasser der Leitung „markiert“ und kann von Niederschlagswasser und Bodenfeuchte unterschieden werden. Das Helium wird an der Erdoberfläche von der Luft aufgenommen und erhöht somit nach Herstellerangaben den natürlichen Heliumgehalt der Luft (2-5 ppm). In Radien von ca. 100 m um die Leckagestelle könne der erhöhte Heliumgehalt ab 7 ppm mit Spürgeräten aufgenommen werden, wobei die Windrichtung bei der

Leckortung zu beachten sei. Das Gas sei ungiftig, nicht korrosiv, nicht feuergefährlich und umweltneutral und ist nach Angaben des Anbieters leicht zu handhaben. Ein Einsatz in Abwasserdruckleitungen ist nach Angaben des Anbieters möglich. [105,106]

Einsatzvoraussetzungen [106]:

- Die **Dosieranlage** zur Zugabe des gelösten Heliums kann beispielsweise in der Pumpstation oder im Verlauf der Leitung angeschlossen werden. Ebenfalls ist es denkbar, das gelöste Helium dem Pumpensumpf zuzugeben.
- Das Verfahren ist prinzipiell unabhängig von der **Leitungslänge** und **Nennweite** einsetzbar. Wichtig für die Untersuchung ist, dass im Wasser eine Helium-Sättigung erreicht wird. Nach Anbieterangaben ist es sowohl möglich, das Helium in der Pumpstation zuzudosieren und so lange Wasser durch die Leitung zu pumpen, bis das Helium am Ende der Druckleitung nachweisbar ist. Die Leitung könne also in Betrieb bleiben. Bei Leitungen mit großem Leitungsvolumen werden i.d.R. Teilabschnitte eingerichtet. Leitungen von 4-5 km würden im Regelfall an einem Tag geprüft, bei längeren Leitungen werden Teilabschnitte eingerichtet oder es müssen parallel mehrere Leckagesuchgeräte entlang der Leitung eingesetzt werden.
- Für die Befüllung einer Leitung mit Wasser und gelöstem Helium sollte ein **Mindestdruck** von 1 bar erreicht werden.
- Das Verfahren ist nach Anbieterangaben bei **Temperaturen** nahe dem Gefrierpunkt bis 160 ° einsetzbar.
- Ausgehend von 1 bar Betriebsdruck können nach Angaben des Anbieters Leckagen in einer **Tiefe** von 2-3 m geortet werden.

Kosten:

Die Kosten für die Leckageortung sind abhängig vom Leitungsvolumen und der Leitungslänge. Für das Befüllen von 1 km Leitung fallen Kosten in der Höhe von ca. 1.300 € an, für die anschließende Leckagesuche und Auswertung 4.000 € bis 5.000 €. [106]

4.2.2.3 Thermografie zur Leckage- und Leitungsortung

Thermografiekameras werden in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt, um Temperaturunterschiede von Oberflächen in Gebäuden, von Bauteilen oder im Gelände zu detektieren, um beispielsweise Rückschlüsse auf Wärmeverluste Gebäuden, Materialeigenschaften oder Leckagen in Leitungen zu ziehen. Je nach Anwendung werden die Kameras von Hand geführt oder in Verbindung mit Fluggeräten eingesetzt. Auch im Zusammenhang mit der Ortung von Leckagen und Leitungsverläufen werden Thermografiekameras eingesetzt, indem die Leitungstrassen beispielsweise überflogen werden. Üblicherweise werden die Dienstleistungen für Versorgungsleitungen angeboten [107].

Einsatzvoraussetzungen:

Nach Einschätzungen von Anbietern scheint es möglich, dass Thermografie auch im Zusammenhang mit Abwasserdruckleitungen eingesetzt werden kann [107,108]. Ein Einsatz zur Ortung von Leckagen wird mit Einschränkungen als wahrscheinlich möglich angesehen, eine Leitungsortung dagegen als schwierig [107].

Voraussetzung für einen Inspektionserfolg ist zum einen, dass sich Temperaturunterschiede, die im Zusammenhang mit der Leitung im Boden entstehen, bis an die Geländeroberfläche fortpflanzen. Zum anderen müssen diese Temperaturunterschiede gegenüber durch andere Einflussfaktoren bedingte Temperaturunterschiede, wie z.B. durch unterschiedliche Sonneneinstrahlung oder Vegetationen, abgegrenzt werden können. Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, ist es daher wichtig, möglichst viele Randbedingungen über das Material der Leitung, den umgebenden Boden, die Vegetation und die Leitungstrasse im Vorfeld zu kennen. Ist die Leitungstrasse nicht bekannt, ist es daher schwierig, detektierte Temperaturunterschiede der gesuchten Leitung zuzuordnen [107,108]. Durch Austritt von Wasser aus undichten, insbesondere mit Überdruck betriebenen Leitungen entstehen nach Angaben eines Anbieters [107] durch Verdunstung kältere Zonen an der Geländeroberfläche. Voraussetzung für eine Detektion von Leckagen ist nach [107], dass die Leitungen nicht tiefer als 2 m unterhalb der Geländeoberfläche liegen, außerhalb bebauter Gebiete verlaufen und die Trasse bekannt ist (möglichst auf +/- 1 m) genau. Darüber hinaus eignen sich laut Anbieter weniger wärmeleitfähige Leitungen wie PE, PVC und Asbestzement besser als metallische Leitungen. Eine Befliegung wird üblicherweise unter Sonneneinstrahlung vorgenommen, sodass möglichst hohe Temperaturunterschiede an der Oberfläche vorliegen. Sie findet während des Leitungsbetriebs statt. Vorbereitenden Maßnahmen oder Einschränkungen des Betriebs sind nicht erforderlich. [107]

Kosten:

Bei einer Befliegung einer Leitungstrasse ist nach [107] mit Kosten von ca. 500 €/h – 1.500 €/h netto für einen Helikopter zuzüglich der Kosten für Personal und Technik mit ca. 2.000 € bis 3.000 € pro Tageseinsatz zu rechnen. Für die Auswertung der Daten würde ca. das 1,5-2-fache der Überfliegszeit hinzukommen. Die Summe der entstehenden Kosten variere stark von den Randbedingungen eines Einsatzes und können beispielsweise für einen Tag Befliegung von 100 km Leitung bei 10.000 € beginnen. Da eine Befliegung ohne Einschränkung des Leitungsbetriebs möglich ist, fallen keine zusätzlichen betrieblichen Kosten an.

Für das Abschreiten einer Trasse mit einer Handkamera fallen deutlich geringere Kosten an. Hier liegen die Tagessätze bei ca. 1.500 € netto zuzüglich der Anfahrtkosten an [108].

4.2.2.4 Georadar zur Leitungsortung und Detektion von Lagerungsdefekten

Das Georadar, auch Bodenradar genannt, stellt in der Praxis ein gängiges Verfahren zur Bodenuntersuchung dar, um beispielsweise Hohlräume, Schichtgrenzen und die Lage von Leitungen zu erkunden. Mit einem Bodenradar werden Störungen bzw. Unstetigkeiten in den oberen Schichten des Erdbodens durch die Aufzeichnung von Reflexionen elektromagnetischer Wellen erfasst. Mit Hilfe von Breitband-Antennen werden sehr kurze, hochfrequente Impulse von wenigen Picosekunden bis zu einigen Nanosekunden Länge von der Oberfläche in den Untergrund eingeleitet. Abhängig vom Untergrund und der Zielstellung der Untersuchung werden Antennen mit Frequenzen zwischen 10 MHz und 4 GHz verwendet [110]. Je höher die Frequenz ist, desto höher ist die Auflösung der Messergebnisse und desto geringer die Eindringtiefe der elektromagnetischen Wellen. Die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen im Untergrund ist abhängig von der Bodenart, dem Wassergehalt, der Lagerungsdichte, dem Salzgehalt sowie den im Boden befindlichen Strukturen, die

zu Reflexion, Streuung, Beugung („Ablenkung“) und Transmission („Durchlassen“) der eingestrahlten Welle führen. Die an Schichtgrenzen oder Objekten wie z.B. Leitungen, Rohren und Fundamenten entstehenden Reflexionen und Streuungen werden von den Radarantennen erfasst, indem Laufzeit sowie Phase und Amplitude der reflektierten Wellen aufgezeichnet werden. [109,110]

Reflexion und Streuungen elektromagnetischer Wellen entstehen, wenn im Untergrund stärkere Kontraste in den dielektrischen Materialeigenschaften auftreten. Die dielektrische Leitfähigkeit (auch Permittivität, Dielektrizitätskonstante) gibt die Durchlässigkeit eines Materials für elektrische Felder an. [111,112]

Im Rahmen einer Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen können Radarantennen grundsätzlich zur Leitungsortung und zur Untersuchung der Bettung auf Lagerungsdefekte eingesetzt werden. Das Auffinden von Leckagen einer Leitung ist nach Einschätzung von Anbietern nur eingeschränkt möglich (s. Einsatzvoraussetzungen).

Auf dem Markt sind zahlreiche Anbieter zu finden, die Untersuchungen des Bodens mittels Georadar anbieten. Die Techniken reichen von einzelnen Radarantennen (vgl. Abb. 48), mit denen einzelne Schnitte durch den Boden aufgenommen werden, bis hin zu mehreren kombinierten Radarantennen mit spezieller Auswertungssoftware, mit der sich die Daten der einzelnen Radarantennen und der unterschiedlichen Messpositionen verschneiden lassen.

Ein Beispiel ist das „Detectino“ Messsystem der Detectino GmbH, Hildesheim (vgl. Abb. 48). Es besteht nach Herstellerangaben sensorseitig aus einem Georadararray, einem Elektromagnetiksensor und einer Verortung. Das Georadararray setzt sich aus fünf Antennen zusammen, die jeweils mit zwei Sende- und zwei Empfangsantennen mit 600 MHz und 200 MHz ausgestattet sind. Mit diesem System wird über eine Breite von ca. 1 m in einem Messspurabstand zwischen den einzelnen Radargrammen von < 10 cm gemessen. Zusätzlich werden mit Hilfe eines elektromagnetischen Sensors Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens in zwei Tiefenbereichen bestimmt. Die gespeicherten Messdaten werden mit Hilfe von neuronalen Netzen ausgewertet. Voraussetzung dafür ist, dass eine präzise Verortung jedes einzelnen Messpunktes gewährleistet ist. Derzeit erfolgt die Verortung mit Hilfe von GPS- und Glonass-Signalen und soll künftig durch eine Totalstation erweitert werden, um Schwierigkeiten mit dem Empfang von GPS- und Glonass-Signalen, beispielsweise durch Abschattung, zu überwinden. Mit der Software wird nach Herstellerangaben nach linienartigen Strukturen im Untergrund gesucht, um bei der Interpretation von gemessenen Reflexionen Hohlräume besser von Leitungen unterscheiden zu können. [116]

Einsatzvoraussetzungen:

Da Eindringtiefe und Reflexion elektromagnetischer Wellen im Untergrund und somit auch die Messergebnisse durch vielfältige Faktoren beeinflusst werden, lassen sich die Einsatzvoraussetzungen nicht pauschalisiert zusammenfassen. Beispielsweise spielen Bodenart, Wassergehalt und Salzgehalt des Grundwassers eine wesentliche Rolle. In trockenem Sand kann beispielsweise eine hohe Eindringtiefe erreicht werden, während tonige Böden sehr absorptiv wirken. Messungen im Grundwasser sind grundsätzlich möglich, jedoch wird eine geringere Eindringtiefe erzielt. Stark salzhaltiges Grundwasser wirkt allerdings abschirmend auf die Radarwelle und verhindert eine Messung. Sinkt der Grundwasserstand, lassen sich abgetrocknete salzhaltige Böden wieder untersuchen. Neben der Bodenart und dem Was-

sergehalt hat ebenfalls das Leitungsmaterial bei der Ortung einen Einfluss auf die entstehenden Reflexionen. Metallische Leitungen erzeugen gegenüber Kunststoffen deutlich höhere Reflexionen und somit Kontraste im Radargramm. [113,114,115]

Eine Leckageortung mittels Bodenradar ist nach Einschätzung von Anbietern [55,113,116] nur stark eingeschränkt möglich. Demnach können lediglich Hinweise auf mögliche Leckagen gefunden werden, wenn der Boden um die Schadstelle einen deutlich höheren Wassergehalt im Vergleich zur umgebenden Leitungszone bzw. einen Hohlraum aufweist.

Eine Grundvoraussetzung für den Einsatz eines Bodenradars ist, dass der zu untersuchende Abschnitt mit der Radarantenne befahren werden kann. Bei bekannter Leitungstrasse und der Suche nach Lagerungsdefekten der Bettung wird die Radarantenne i.d.R. entlang der Trasse und bei der Leitungsortung quer zur Trasse geführt.

Kosten:

Die Kosten für einen Tageseinsatz einer Radarantenne wurden beispielsweise von der DMT GmbH, Hamburg mit ca. 2.500 €/d bis 3.000 €/d beziffert. An einem Tag können nach Auskunft des Anbieters bis zu 3 km Leitung auf Lagerungsdefekte untersucht werden. [117]

Die Kosten für Untersuchungen mittels des Bodenradars „Detectino“ liegen bei ca. 12€/m² vermessener Fläche. Diese Preise werden abhängig von der Größe der vermessenen Flächen angepasst. [114]



Abb. 48: Beispiele einer einzelnen Radarantenne der DMT GmbH (li) und Bodenradar „Detectino“ mit fünf kombinierten Radarantennen sowie weiterer Messtechnik (re)

4.2.2.5 Begehung der Leitungstrasse

Eine einfache Inspektionsmethode mit eingeschränkter Aussagekraft ist es, eine Leitungstrasse zu begehen und diese auf optische Auffälligkeiten zu prüfen. Absenkungen der Oberfläche oder auffällig genässte Bereiche können auf Schäden der Leitung hindeuten. Allerdings ist der Umkehrschluss, bei unauffälliger Oberfläche ist die Leitung schadenfrei, nicht möglich. Werden Auffälligkeiten an der Oberfläche sichtbar, ist davon auszugehen, dass es sich hier um einen größeren und/oder schon länger bestehenden Schaden handelt.

Diese Methode wird bei Abwasserdruckleitungen nach Auskunft von Netzbetreibern [118] bereits vereinzelt angewendet, insbesondere um bei betrieblichen Störungen der Leitung nach möglichen Ursachen zu suchen. Ebenfalls werden auf diese Weise auch zufällig Schäden an Druckleitungen entdeckt, wenn Störungen in befestigten Flächen oder am Wegesrand bemerkt werden.

Die Methode ist grundsätzlich unabhängig vom Leitungsmaterial anwendbar. Ob und inwieweit Schäden an Leitungen bemerkt werden, hängt von vielen Faktoren wie Größe der Schadstelle, Bodenaufbau, Tiefenlänge und Betriebsdruck ab.



Abb. 49: Schaden an der Geländeoberfläche durch schadhafte Abwasserdruckleitung (li, mi) und Aufgrabung [39]

4.2.2.6 Permanente akustische / optische Bruchüberwachung

Es werden unterschiedliche Verfahren eingesetzt, um Rohre nach ihrer Verlegung permanent auf die Entstehung von Brüchen zu überwachen. Bei Spannbetonrohren besteht beispielsweise die Möglichkeit, die Rohre bei der Fertigung mit vorgespanntem Stahlkabel zu umwickeln, das im Falle eines Bruchs typische Geräusche erzeugt, welche mit Hilfe von akustischen Sensoren erfasst werden. Alternativ werden nach [95] auch Sensoren zur Messung von Beschleunigungen bzw. Vibrationen eingesetzt, die beim Bruch des Kabels entstehen. [95, 119]

Ein weiteres Verfahren zur Bruchüberwachung arbeitet mit faseroptischen Sensoren und Glasfaserkabeln, die mit dem Rohr verlegt werden. Mit Hilfe der Sensoren werden Lichtbündel in die Glasfaserkabel eingeleitet und Reflexionen aufgenommen, die sich bei Kabelbrüchen ändern. [95, 119]

Da die vorgenannten Verfahren bereits beim Bau einer Leitung installiert werden und bislang bei Abwasserdruckleitungen unüblich sind, wird an dieser Stelle nicht näher auf Einsatzvoraussetzungen und Kosten eingegangen.

4.3 Wasserdruckprüfung

Dichtheitsprüfungen gehören zu den Standardprüfungen im Rahmen einer Bauabnahme von Freispiegel- und Abwasserdruckleitungen. Bei Freispiegelleitungen sind Prüfungen nach DIN EN 1610 [120] üblich. Für Abwasserdruckleitungen verweist DIN EN 1610 auf die DIN EN 805 „Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden“ [121] bzw. in der Ausgabe 1997 noch auf prEN 805. Gleiches gilt für Düker in DIN EN 1610, Abschnitt 13.3.1. Ebenso wird in der DIN 1671 „Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“ [5] im Zusammenhang mit Prüfungen vor Inbetriebnahme einer Leitung auf DIN EN 805 verwiesen.

Das in der DIN EN 805 beschriebene Prüfverfahren ist im DVGW Arbeitsblatt W 400-2 „Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWW), Teil 2: Bau und Prüfung“ [122] weitergehend beschrieben. Es enthält ergänzende Informationen zum Prüfverfahren sowie Anforderungen zu Messgeräten, spezifiziert Prüfverfahren abhängig von Rohrwerkstoffen und enthält Berechnungshilfen sowie Tabellen zur Beurteilung der Prüfergebnisse. Nachfolgend wird das grundsätzliche Vorgehen der Prüfung nach DIN EN 805, die üblicherweise an nicht überschütteten Leitungen durchgeführt wird, beschrieben:

Prüfabschnitte und Prüfdruck:

- Die Leitungen werden im Ganzen oder, falls notwendig, auch in Teilabschnitten geprüft. Die Prüfabschnitte sind dabei so festzulegen, dass am tiefsten Punkt jedes Abschnitts der geforderte Systemprüfdruck (STP: system test pressure) und am höchsten Punkt mindestens der höchste Systembetriebsdruck (MDP: maximum design pressure) erreicht wird. Außerdem ist darauf zu achten, dass die erforderliche Wassermenge zur Befüllung der Leitung bereitgestellt und ohne Schwierigkeiten wieder abgelassen werden kann.
- Die Leitung wird unter geöffneten Luftventilen, möglichst vom Tiefpunkt aus, langsam mit Wasser befüllt und dabei möglichst gut entlüftet. In der Regel wird Trinkwasser verwendet. Die anschließende Prüfung findet bei geschlossenen Belüftungsvorrichtungen und geöffneten Armaturen statt.
- Der Systemprüfdruck STP wird ausgehend vom höchsten Systembetriebsdruck (MDP) bestimmt. Der höchste Systembetriebsdruck entspricht dem Betriebsdruck einschließlich berechneter oder geschätzter Druckstöße.

Für Systembetriebsdrücke einschließlich *berechneter* Druckstöße (MDP_c) gilt:

$$\mathbf{STP = MDP_c + 1 \text{ bar}}$$

Für Systembetriebsdrücke einschließlich *geschätzter* Druckstöße (MDP_a) gilt:

$$\mathbf{STP = MDP_a \cdot 1,5 \quad \text{bzw.} \quad \mathbf{STP = MDP_a + 5 \text{ bar}}$$

(es gilt der niedrigere Wert, der in MDP_a enthaltene Druckstoß muss ≥ 2 bar sein)

- Am tiefsten Punkt des Prüfabschnitts sind Messgeräte anzuschließen, um den Prüfdruck zu kontrollieren. Können die Messgeräte nicht am tiefsten Punkt angeschlossen werden, errechnet sich der Prüfdruck des Messpunktes aus: Systemprüfdruck (für den Tiefpunkt

des Prüfabschnitts berechnet) abzüglich Druckdifferenz aus Höhenunterschied zwischen Tiefpunkt und Messpunkt.

- In speziellen Fällen, insbesondere bei kurzen Rohrleitungslängen und bei Anschlussleitungen < DN 80, kann auch der Betriebsdruck als Systemprüfdruck festgelegt werden.

Vorgehen bei der Druckprüfung:

- Druckprüfungen dürfen in bis zu drei Schritten ausgeführt werden: Vorprüfung, Druckabfallprüfung und Hauptdruckprüfung. Das Vorgehen ist vom Planer zu bestimmen (ergänzende Hinweise zu Prüfschritten abhängig vom Rohrwerkstoff sind in DVGW Arbeitsblatt W 400-2 enthalten).
- Die Vorprüfung dient zur Stabilisierung des Prüfabschnitts nach anfänglichen Setzungen, zur Sättigung wasseraufnehmender Rohrwerkstoffe und um Volumenzunahmen flexibler Rohre vor der Hauptprüfung vorwegzunehmen. Der Druck während der Vorprüfung sollte mindestens dem Betriebsdruck entsprechen und den Systemprüfdruck nicht überschreiten. Die Dauer der Prüfung ist abhängig von Rohrwerkstoff und Auskleidung und ist vom Planer festzulegen. Ergänzende Hinweise zur empfohlenen Dauer einer Vorprüfung abhängig von Rohrwerkstoff und Auskleidung finden sich in DVGW Arbeitsblatt W 400-2.
- Mit der Druckabfallprüfung wird die Leitung auf restliche Lufteinschlüsse überprüft, da Lufteinschlüsse scheinbare Undichtigkeiten anzeigen sowie kleine Undichtigkeiten überdecken können und die Genauigkeit des Prüfverfahrens vermindern. Bei dieser Prüfung wird der Leitung eine Wassermenge ΔV entnommen und der entstehende Druckabfall gemessen (nach DVGW Arbeitsblatt W 400-2: mind. 0,5 bar). Anhand des gemessenen Druckabfalls kann die zugehörige Wassermenge errechnet werden, die bei einer luftfreien Leitung hätte entnommen werden müssen, um den entstandenen Druckabfall zu erzeugen. Ist die entnommene Wassermenge größer als die errechnete Wassermenge, enthält die Leitung Luft. Da Lufteinschlüsse nicht vollständig vermieden werden können, wird die errechnete Wassermenge mit einem Faktor f für einen erlaubten Luftanteil beaufschlagt. Entsprechend wird eine maximal zulässige Wassermenge ΔV_{\max} errechnet, die zur Erzeugung des Druckabfalls Δp entnommen werden darf, damit die Leitung als ausreichend luftfrei gilt:

$$\Delta V_{\max} = 1,5 \cdot V \cdot \Delta p \cdot (1/E_w + D/(e \cdot E_R))$$

ΔV_{\max} : maximal zulässiges Volumen der Wasserentnahme [l]

V : Volumen des Prüfabschnitts [l]

Δp : gemessene Druckabsenkung [kPa]

E_w : Kompressionsmodul für Wasser [kPa] = $2,027 \times 10^6$ kPa

D : Innendurchmesser des Rohres [m]

e : Wanddicke des Rohres [m]

E_R : Elastizitätsmodul der Rohrwand in Umfangsrichtung [kPa]

1,5 zulässiger Faktor für den erlaubten Luftanteil vor der Hauptdruckprüfung [-]

- Für die Hauptdruckprüfung kann das „Wasserverlustverfahren“ oder das „Druckverlustverfahren“ angewendet werden. Für viskoelastische Rohrwerkstoffe kann ein spezielles Verfahren angewendet (s.u. Kontraktionsverfahren).

Hauptprüfung mit dem Druckverlustverfahren:

- Beim Druckverlustverfahren wird zunächst der Druck gleichmäßig auf den Systemprüfdruck (STP) erhöht. Während der Prüfzeit von mindestens einer Stunde wird der Druckverlust Δp am Tiefpunkt (bzw. alternative Messstelle) gemessen. Während der Prüfung muss der Druckverlust eine abnehmende Tendenz zeigen und darf am Ende der ersten Stunde folgende Werte nicht überschreiten:

20 kPa (0,2 bar) „für Rohre wie duktile Gussrohre mit oder ohne Zementmörtelauskleidung, Stahlrohre mit oder ohne Zementmörtelauskleidung, Blechmantelrohre, Kunststoffrohre“,

40 kPa (0,4 bar) „für Rohre wie Faserzementrohre und nicht kreisförmige Betonrohre. Für Faserzementrohre kann der zulässige Druckverlust von 40 kPa auf 60 kPa erhöht werden, wenn der Planer überzeugt ist, dass übermäßige Absorptionsbedingungen vorliegen“.

Das DVGW Arbeitsblatt W 400-2 gibt den zulässigen Druckabfall detailliert abhängig vom Rohrwerkstoff und dem höchsten Systembetriebsdruck (MDP) vor. Hier liegt der zulässige Druckabfall bei Guss-, Stahl- und Kunststoffleitungen zwischen 0,1 bar und 0,2 bar.

- Wenn Rohre mit viskoelastischem Verhalten, wie PE-Rohre, in einer angemessenen Prüfzeit die Prüfkriterien nicht erfüllen, sind diese erneut mit dem Kontraktionsverfahren zu prüfen. Dies umfasst eine Vorprüfung mit entsprechend langen Ruhephasen, eine „integrierte Druckabfallprüfung“ und die Hauptprüfung, die direkt an die Druckabfallprüfung anschließt. Durch die Druckabfallprüfung mit schneller Absenkung des Drucks um 10 % bis 50 % vom Systemprüfdruck STP ist zunächst sicherzustellen, dass die Leitung ausreichend luftfrei ist (s.o.). Die Druckabsenkung führt zu einer Kontraktion der Rohrleitung, die wiederum zu einem Druckanstieg in der Rohrleitung führt, der über einen Zeitraum von 30 min während der Hauptprüfung aufgezeichnet wird. Zeigt die Drucklinie eine fallende Tendenz, deutet dies auf Undichtigkeiten des Prüfabschnitts hin. Bei steigender oder gleichbleibender Tendenz gilt die Leitung als dicht. Im Zweifelsfall ist die Prüfdauer auf 90 min zu erhöhen, wobei der Druckabfall vom Höchstwert innerhalb der Kontraktionsphase ≤ 25 kPa sein muss.
- Das DVGW Arbeitsblatt W 400-2 beschreibt ergänzend ein beschleunigtes Verfahren nach der Druckverlustmethode für Leitungen aus duktilem Guss und Stahl bis DN 600 mit Zementmörtelauskleidung.

Hauptprüfung mit dem Wasserverlustverfahren:

- Beim Wasserverlustverfahren kann entweder die nachgepumpte oder die abgelassene Wassermenge bestimmt werden.
- Bei Messung der abgelassenen Wassermenge wird zunächst der Druck gleichmäßig auf den Systemprüfdruck (STP) erhöht. Dieser ist für mindestens eine Stunde durch Nachpumpen von Wasser aufrecht zu halten. Bei der anschließenden Prüfdauer von wiederum mindestens einer Stunde ist jegliche Wasserzufuhr zum Prüfabschnitt zu unterbinden. Nach der Prüfdauer wird der Druck am Messpunkt bestimmt und der Systemprüfdruck durch Nachpumpen von Wasser wieder hergestellt. Im Anschluss wird so viel Wasser abgelassen, bis der zuvor gemessene Druck zum Ende der Prüfdauer wieder erreicht ist. Dabei ist die Menge des abgelassenen Wassers zu bestimmen.
- Bei Messung der nachgepumpten Wassermenge wird zunächst der Druck gleichmäßig auf den Systemprüfdruck (STP) erhöht. Dieser ist für mindestens eine Stunde durch Nachpumpen von Wasser aufrecht zu halten. Dabei wird die Menge des nachgepumpten Wassers bestimmt.
- Die zulässige Wasserverlustmenge, die durch Nachpumpen oder Ablassen bestimmt wird, darf nach einer Stunde Prüfzeit folgenden Wert nicht überschreiten:

$$\Delta V_{\max} = 1,2 \cdot V \cdot \Delta p \cdot (1/E_w + D/(e \cdot E_R))$$

ΔV_{\max} : zulässiger Wasserverlust [l]

V: Volumen des Prüfabschnitts [l]

Δp : zulässiger Druckverlust entsprechend Druckverlustverfahren [kPa]

E_w : Kompressionsmodul für Wasser [kPa] = $2,027 \times 10^6$ kPa

D: Innendurchmesser des Rohres [m]

e: Wanddicke des Rohres [m]

E_R : Elastizitätsmodul der Rohrwand in Umfangsrichtung [kPa]

1,2: zulässiger Faktor (z.B. für Luftanteil) für die Hauptdruckprüfung [-]

Abschließende Prüfung des Rohrleitungssystems:

- Ist eine Rohrleitungsstrecke für die Druckprüfung in mehrere Prüfabschnitte unterteilt worden und diese wurden als dicht bewertet, ist die gesamte Rohrleitungsstrecke nochmals für zwei Stunden mit dem Betriebsdruck zu prüfen (soweit vom Planer vorgeschrieben).

Entleeren:

- Nach Beendigung der Prüfung ist der Prüfabschnitt langsam zu entspannen und unter geöffneten Belüftungsvorrichtungen zu entleeren.

Auch wenn DIN EN 1610 für die Prüfung von Abwasserdruckleitungen auf DIN EN 805 verweist, bleibt festzustellen, dass diese Norm grundsätzlich für Trinkwasserleitungen erstellt wurde. Es ist daher stets zu hinterfragen, inwieweit die jeweiligen Detailregelungen tatsächlich auf die Situation im Abwasserbereich übertragen werden können. Zum einen können die in DIN EN 805 vorausgesetzten baulichen Randbedingungen häufig nicht eingehalten werden, z.B. hinsichtlich Zugänglichkeit, Entlüftung und Absperrmöglichkeiten während der Prüfung. Zum anderen liegen für die Dichtheitsprüfung an Abwasserdruckleitungen keinerlei

Prüfkriterien bzw. Grenzwerte zur Bewertung des Prüfergebnisses vor, da die im Abwasserbereich relevanten Gefährdungspotenziale durch EN 805 nicht berücksichtigt werden. Ebenso ist zu klären, inwieweit der Kompressionsmodul von Trinkwasser auch für Prüfungen an Abwasserdruckleitungen angewendet werden kann, wenn das Wasservolumen nicht vollständig ausgetauscht werden kann bzw. Schmutzstoffe in den Leitungen verbleiben. Darüber hinaus stellt sich die Frage, inwieweit die für eine Neubauabnahme geforderten Prüfdrücke auch für Dichtheitsprüfungen im Rahmen des Leitungsbetriebs angemessen sind. So werden im ATV-M 143-6 [123] für die Prüfung von Freispiegelleitungen im Bestand geringere Prüfdrücke angesetzt, als für die Neubauabnahme nach DWA-A 139 [124].

4.4 Prüfungen an Werkstoffproben

Neben zerstörungsfreien Inspektionen an Leitungen können auch Werkstoffprüfungen an Probestücken durchgeführt werden. Diese Probestücke werden der Rohrwand entnommen, um ausgewählte Materialeigenschaften beispielhaft zu bestimmen.

Die Hauptbeanspruchung bei Leitungen unter Innendruck entsteht im Regelfall durch Zugkräfte in Rohrumfangsrichtung. Da Probekörper für Zugversuche aufgrund der Rohrkrümmung nicht in Rohrumfangsrichtung entnehmbar sind, werden Zugstäbe in Rohrlängsrichtung gefräst. Unter der Annahme homogener Materialeigenschaften lassen sich aus Zugversuchen in Rohrlängsrichtung so erste Anhaltwerte für Zugfestigkeiten in Umfangsrichtung ableiten. Entsprechend sind Zugversuche an Stahl-, Guss-, PE- und PVC-Rohrproben möglich.

Das IWW Rheinisch Westfälische Institut für Wasser, Biebesheim bietet darüber hinaus für metallische Rohrwerkstoffe Prognosen zur technischen Restnutzungsdauer an. Als Grundlage für die Prognosen dienen zum einen materialtechnische Untersuchungen, in denen beispielsweise die Art und das Ausmaß von Korrosion und sonstigen Schäden, das mikroskopische Metallgefüge, Zugfestigkeiten und Härten von Rohrproben bestimmt werden. Wurde eine Rohrprobe in Zusammenhang mit einem echten Schadensereignis gewonnen, wird zusätzlich die statische Resttragfähigkeit der Rohrprobe ermittelt. Zum anderen werden für die Auswertungen Daten der Schadensstatistiken aus Wasserversorgungsnetzen herangezogen. Die Kosten für eine derartige Untersuchung werden mit ca. 1.000 € - 1.500 € je Probekörper für Rohre DN 80 bis DN 400 beziffert. [34,125]

Probekörper aus Asbestzementleitungen können zunächst optisch auf Auffälligkeiten wie Blasenbildung oder Quellen der Rohrwand untersucht werden (vgl. Abschnitt 3.1.1.3). Zusätzlich kann das Probestück mit Hilfe eines Messers auf deutliche Festigkeitsverluste untersucht werden. Darüber hinaus bietet es sich an, das Probestück mit Hilfe von pH-Indikatoren auf Änderungen des pH-Werts zu untersuchen. Wird die Probe beispielsweise mit Phenolphthalein bestrichen, färbt sich der Probekörper bei pH-Werten größer als 8,2 rot. Bei pH-Werten $\leq 8,2$ bleibt die Probe grau. Letzteres spricht dafür, dass Calciumhydroxid aus den Zementanteilen ausgewaschen bzw. ausgelaugt wurde und die Festigkeit des Asbestzements abgenommen hat.

Werkstoffprüfungen an Rohrproben können grundsätzlich für stichpunktartige Untersuchungen herangezogen werden. Allerdings ist zu hinterfragen, inwieweit repräsentative bzw. geeignete Rohrstücke vorliegen, die einen Rückschluss auf Zustand und Standsicherheit der gesamten Leitung zulassen. Prädestiniert für eine Probennahme sind Leitungsabschnitte, in denen erhöhte Korrosion oder Verschleiß vermutet wird. Beispielsweise bieten sich bei Asbestzement- und Gussleitungen Hochpunkte an, bei denen mögliche Lufteinschlüsse verstärkt zu Korrosion führen können. In jedem Fall sollten bei Reparaturen an Druckleitungen die ausgetauschten Rohrsegmente für eine spätere Begutachtung oder Prüfung aufbewahrt werden.

Hinsichtlich der Kosten für Materialprüfungen ist davon auszugehen, dass diese im Vergleich zu den Kosten für das Freilegen und Erneuern des Rohrabschnitts sowie das erneute Verfüllen und die Wiederherstellung der Oberfläche gering sind.

5 Techniken zur Wasserhaltung

Nach DIN 4045 [126] ist der Begriff Vorflut als „Möglichkeit des Wassers und Abwassers, mit natürlichem Gefälle oder durch künstliche Hebung abzufließen“ definiert. Bei einer Inspektion oder Sanierung von Kanälen und Leitungen kann der Abwasseranfall in den meisten Fällen nicht eingeschränkt werden, sodass der laufende Kanalbetrieb gewährleistet werden muss. Der Aufrechterhaltung der Abwasservorflut kommt somit eine besondere Bedeutung zu. Sie beeinflusst die Maßnahme technisch und wirtschaftlich. Zur Vorflutsicherung bieten sich in Abhängigkeit der jeweiligen örtlichen Bedingungen folgende Möglichkeiten an:

- **Absperren:**
zeitweise Unterbrechung der Vorflut durch begrenzten Rückstau im Kanal oberhalb des Inspektions- oder Schadensbehebungsbereiches und spätere Ableitung [127],
- **Durchleiten:**
Aufrechterhaltung der Vorflut durch Maßnahmen innerhalb der zu inspizierenden oder zu sanierenden Kanalhaltungen [127],
- **Überleiten:**
Aufrechterhaltung der Vorflut durch Maßnahmen außerhalb des zu inspizierenden oder des zu sanierenden Kanals [127].

Absperren

Das Absperren einer Leitung oder Kanals zur Vorflutsicherung findet überwiegend bei der Reinigung und Inspektion von Kanalhaltungen Anwendung. Absperrungen sind nur zeitlich begrenzt möglich. Dabei wird das Abwasser mit Hilfe eines Absperrorgans zurückgestaut, die Vorflut zeitweise unterbrochen und dadurch der folgende Kanalabschnitt abwasserfrei gehalten. Voraussetzung hierfür ist ein geringer Abwasserzufluss und ausreichende Rückstaumöglichkeiten.



Abb. 50: Beispiele einer Absperrblase (li) und Beispiele zu Rohrverschlüssen (mi, re)

Als Absperrerelemente kommen Absperrblasen (s. Abb. 50), sogenannte Rohrverschlüsse oder Absperrscheiben (s. Abb. 50) oder Sandsäcke zum Einsatz. Die Absperrgeräte müssen mittels eines Verbaus (s. Abb. 51) gesichert werden. Der Abwasserrückstau ist kontinuierlich zu kontrollieren, um Schäden zu vermeiden. Die Absperrzeiten können durch Einsatz eines Saugfahrzeuges verlängert werden, indem einem in Fließrichtung vor der Absperrung lie-

genden Schacht Wasser entnommen und in einen Schacht unterhalb der Absperrung eingeleitet wird.



Abb. 51: Verbau von Absperrvorrichtungen [128]

Durchleiten

Bei dieser Art der Vorflutsicherung wird das anfallende Abwasser durch eine innerhalb des Kanals provisorisch verlegte Rohrleitung oder einen Schlauch gefasst und bei geringen Abflussmengen im natürlichen Gefälle unter Verzicht von Pumpen abgeleitet. Eine Variante dieser Technik zeigt Abb. 55.

Da diese Art der Vorflutsicherung nur in größeren Nennweiten und bei Leitungsgefälle möglich ist und den Arbeit- bzw. Inspektionsraum der Leitung einschränkt, ist sie bei Abwasserdruckleitungen und Dükern im Regelfall nicht einsetzbar.

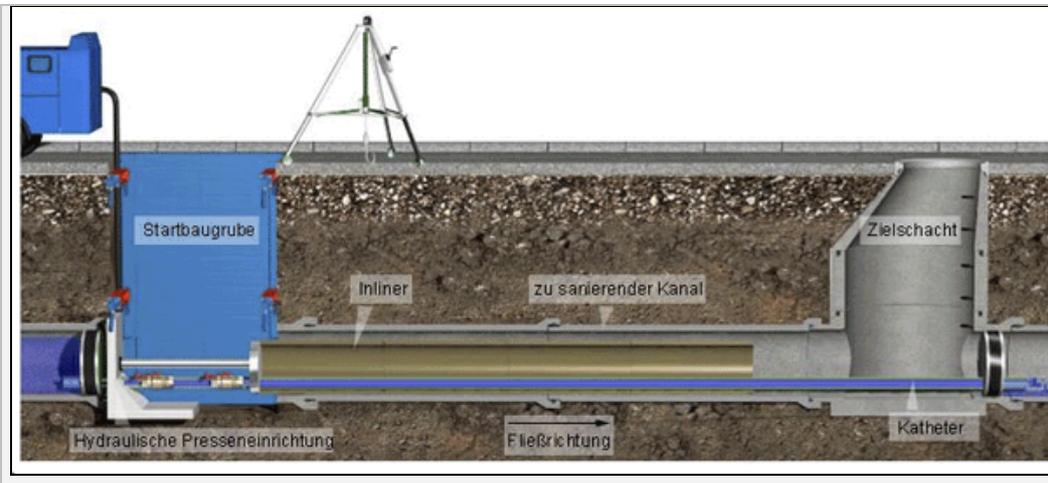


Abb. 52: Aufrechterhaltung der Vorflut mit der Kathetermethode [129]

Überleiten

Zur Aufrechterhaltung der Vorflut wird der Betrieb der betroffenen Kanalleitung eingestellt und das anfallende Abwasser durch eine oberirdisch geschaffene Rohrleitung in den nächsten Schacht geleitet (vgl. Abb. 53).

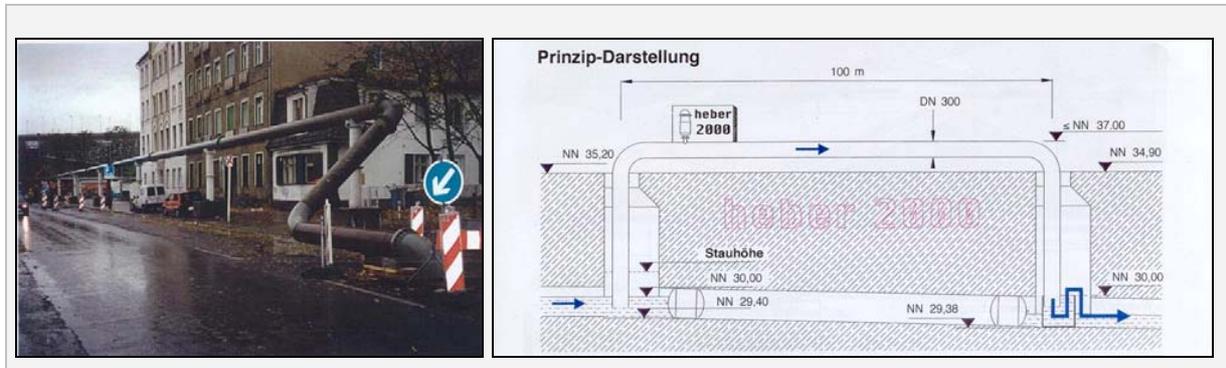


Abb. 53: Vorflutsicherung durch Überleiten [130] und Prinzip-Darstellung der Arbeitsweise eines Hebers [131]

Der Transport des Abwassers kann mittels Pumpen oder sogenannten Hebern erzielt werden, die zum Umfüllen von Flüssigkeiten eingesetzt werden. Die Funktionsweise eines Hebers beruht, wie die des Dükers, 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. Anfangs muss das Abwasser mittels einer Vakuumanlage angesaugt werden. Der Einsatz ist durch den atmosphärischen Druck auf geringe Überleitungshöhen begrenzt (< 10 m). [132]

Für eine Inspektion und Zustandserfassung von Druckleitungen und Dükern kommen grundsätzlich nur die Varianten des Überleitens oder des Absperrrens in Frage. Da insbesondere bei Abwasserdruckleitungen häufig große Distanzen zum Umleiten des Wassers zurückgelegt werden müssen, werden darüber hinaus auch Saugfahrzeuge eingesetzt, die das Abwasser an der Pumpstation aufnehmen und zur Kläranlage bzw. zu einem nahe gelegenen Schacht der Freispiegelkanalisation befördern. Teilweise werden an Pumpstationen von Druckleitungen größere Stauvolumina eingerichtet, sodass hier bei geringem Abwasseranfall die Möglichkeit besteht, das Wasser über eine längere Zeit einzustauen.

Bezüglich des Entleerens von Dükern als vorbereitende Maßnahme einer Inspektion wird an dieser Stelle auf die Ejektortechnik verwiesen. Mit dieser Technik lassen sich Düker bei entsprechenden baulichen Randbedingungen im Vergleich zum Einsatz von Saugwagen oder Pumpen schnell entleeren. Nähere Informationen finden sich in [132].

6 Praxiseinsätze

Ziel der Praxiseinsätze war es, die grundsätzliche Einsetzbarkeit und Handhabbarkeit ausgewählter Techniken zur Zustandserfassung beispielhaft zu ermitteln, um so erste Hinweise zur Inspizierbarkeit von Druckleitungen und zum damit verbundenen Aufwand abzuleiten und schließlich die Anwendbarkeit der in Kapitel 4 zusammengestellten Techniken abschätzen zu können. Die Quantifizierung der Messgenauigkeit einzelner Techniken oder der direkte Vergleich untereinander waren nicht Gegenstand der Untersuchung.

Für die Praxiseinsätze wurden von den beteiligten Netzbetreibern unterschiedliche Teststrecken vorgeschlagen und verfügbare Randbedingungen zusammengetragen. Diese wurden verschiedenen Technikanbietern vorgestellt, um die Einsetzbarkeit ihrer Techniken abschätzen zu können. Auf dieser Basis wurden dann einzelne Techniken und Leitungen für Praxiseinsätze ausgewählt. Tab. 7 gibt einen Überblick zu den Teststrecken, eingesetzten Techniken und der jeweiligen Zielstellung der Untersuchung. Es wurden sowohl übliche Fahrwagenkameras zur optischen Inspektion, ein Kanalradar als Zusatzmodul für Fahrwagenkameras sowie speziell auf Druckleitungen angepasste optische Kameras eingesetzt. Darüber hinaus wurden auch Techniken zur Prüfung der Rohrwand und zur Leckageortung verwendet, die ursprünglich für Versorgungsleitungen konzipiert worden waren. Ebenfalls wurden Dichtheitsprüfungen an zwei Leitungen begleitet. Einzelheiten zu den Praxiseinsätzen können den Abschnitten 6.1 bis 6.8 entnommen werden.

Tab. 7: Übersicht der begleiteten Praxiseinsätze

Verfahren	Druckleitung			Untersuchungszweck
	Material	Innendurchmesser [mm]	Länge [m]	
Dichtheitsprüfung	PVC	DN 200	440	Dichtheitsprüfung
Dichtheitsprüfung	PE-HD	DI 75	315	Dichtheitsprüfung
Axialkamera mit Saugschirm	PE-HD	DI 100	510	Optische Inspektion
Axialkamera mit Saugschirm	PE-HD	DI 50	990	Optische Inspektion
Fahrwagenkamera	PE-HD	DI 355	2.500	Optische Inspektion
Fahrwagenkamera	Guss	DN 300	800	Optische Inspektion
Fahrwagenkamera	Guss	DN 300	800	Optische Inspektion
Dreh-/Schwenkkopf-Kamera mit Führungsschlitten	Stahl	DN 350	130	Optische Inspektion
Dreh-/Schwenkkopf-Kamera mit Führungsschlitten	AZ	DN 150	325	Optische Inspektion
Dreh-/Schwenkkopf-Kamera mit Führungsschlitten	PVC	DN 125	2.000	Optische Inspektion
Innenradar	AZ	DN 500	200 (Teilstück)	Bestimmung von Restwandstärken und Lagerungsdefekten
Innenradar	Guss	DN 500	6 (Teststück)	Bestimmung der Restdicke der Zementmörtelauskleidung
Georadar	AZ	DN 300	3.000	Lageortung
Georadar	AZ	DN 300	3.000	Lageortung
Wirbelstromscannen (außen)	Guss	DN 300	7.500	Detektion von Korrosion und Wandstärkenänderungen
Wirbelstromscannen (innen)	Stahl	DN 700	300	Detektion von Korrosion und Wandstärkenänderungen
Akustische Leckageortung	Stahlbeton/Stahl	DN 700-1400	100.000	Untersuchung auf Leckagen und Luftpolster

6.1 Dichtheitsprüfung

6.1.1 Testleitung PVC DN 200

Eine vor rund 14 Jahren stillgelegte PVC-Leitung DN 200 (Baujahr 1970) der Technischen Werke Emmerich soll für Wartungsarbeiten an einer parallel verlegten Druckleitung oder mögliche betrieblicher Störungen dieser wieder in Betrieb genommen werden. Im Vorfeld wurde daher die Dichtheit der rund 440 m langen Leitung mittels einer Wasserdruckprüfung untersucht.

Da das genaue Höhenprofil der Druckleitung unbekannt ist, können auch die Druckverhältnisse in der Leitung während der Prüfung nur abgeschätzt werden. Nach Einschätzung des Betreibers verläuft die Leitung entsprechend des flachen Geländes ohne nennenswerte Steigungen und Gefällestrecken, Hoch- und Tiefpunkte sind wahrscheinlich enthalten. Überschlägig liegt das Druckleitungsende rund 1 m über dem Anfangspunkt der Leitung und stellt zugleich den höchsten Punkt der Leitung dar. Der tiefste Punkt im Leitungsverlauf liegt ca. 1,5 m unterhalb des Druckleitungsendes. Um die verfügbare Prüftechnik (Wassersäule, vgl. Freispiegelbereich) ohne weiteren Aufwand einsetzen zu können, wurde der Prüfdruck mit 0,5 bar deutlich geringer als der Betriebsdruck von 2,5 bar gewählt.

Drei Tage vor der eigentlichen Prüfung wurde die Leitung mittels Hochdruckspüldüse gereinigt und mit Wasser befüllt. Die Wasserfüllung wurde über das Wochenende beibehalten. Im Vorfeld wurde die Leitung am offenen Ende im Übergabeschacht zur Freispiegelkanalisation mit einer Durchgangsblase abgesperrt (Abb. 56), eine zweite Durchgangsblase wurde über ein Kopfloch nahe der Pumpstation in die geöffnete Leitung gesetzt (Abb. 54 und Abb. 55). Die Leitung wurde vom Übergabeschacht aus über einen Hydranten befüllt und über die Blase nahe des Pumpwerks entlüftet. Restliche Luft einschüsse in der Leitung sind aufgrund der Befüllrichtung sowie der möglicherweise enthaltenen Hochpunkte ohne Entlüftungsventile nicht auszuschließen.

Am Prüftag wurde der Prüfdruck von fünf Meter Wassersäule über dem Rohrscheitel am Übergabeschacht mit Hilfe eines durchsichtigen Schlauches aufgebracht (Abb. 55) und dieser über 45 min aufrecht erhalten. Der Wasserspiegel im Prüfschlauch blieb während der Prüfung konstant. Bei dem vom Betreiber grob abgeschätzten Höhenprofil lag der Prüfdruck zwischen 0,5 bar und 0,7 bar.

Der Zeitaufwand für die Prüfung inklusive vorbereitender Reinigung, Setzen der Absperrblasen und Befüllung der Leitung betrug rund 1,5 Tage.

Fazit:

Die Dichtheitsprüfung konnte bei dieser Leitung mit vertretbarem Aufwand unter Verwendung herkömmlicher Prüftechnik umgesetzt werden, allerdings wurde mit nur geringem Prüfdruck von 0,5 bar geprüft. Hinweise zur Dichtheit der Leitung lassen sich so aber bereits gewinnen. Das Befüllen und Entlüften vieler Druckleitungen wird sich schwieriger umsetzen lassen, als im Freispiegelkanal. Insbesondere Faktoren wie fehlende Zugangsmöglichkeiten oder Armaturen zum Absperrern der Leitung, große Längen und Höhendifferenzen, Hoch- und Tiefpunkte, unbekannte Längsprofile und fehlende Entlüftungsventile können den Vorgang erschweren.



Abb. 54: Kopfloch am Pumpwerk (li) und geöffnete Leitung mit Absperrblase (re)



Abb. 55: Absperrblase am Pumpwerk (li) und Übergabeschacht am Druckleitungsende mit Prüfschlauch (re)



Abb. 56: Übergabeschacht zur Freispiegelkanalisation (li) und Absperrblase (re)

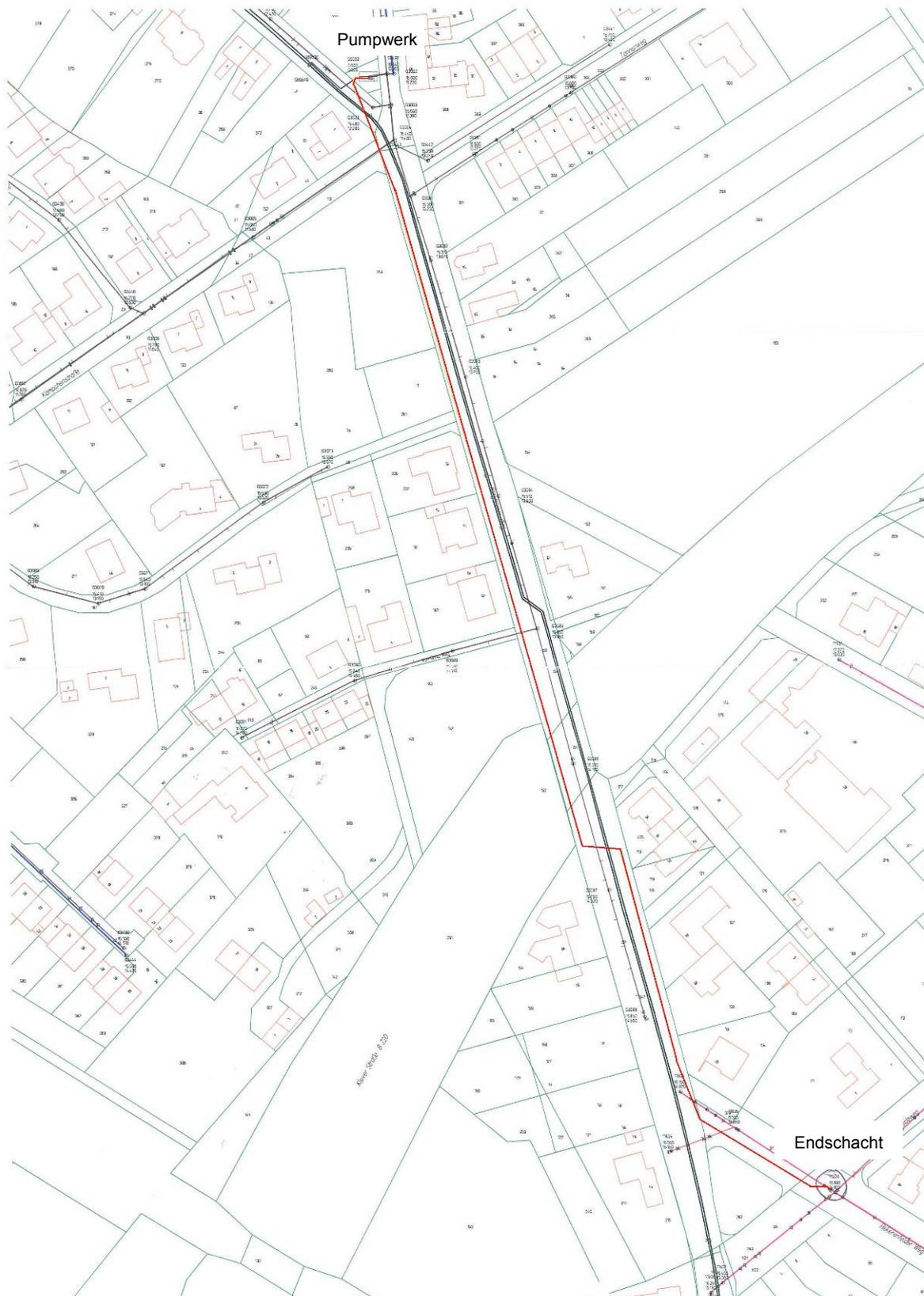


Abb. 57: Lageplan Druckleitung PVC DN 200, Länge 440 m, Emmerich am Rhein

6.1.2 Testleitung PE-HD DI 75

Die geprüfte, rund 315 m lange Druckleitung der Entwässerung Stadt Witten (ESW) mit einem Innendurchmesser von rund 75 mm (DA 90 mm, DI 73,6 mm) fördert das Abwasser einer Siedlung in einen höher gelegenen Freispiegelkanal. Die Leitung überwindet einen Höhenunterschied von rund 29 m und verläuft laut Planangaben von der Pumpstation aus ständig steigend.

Zur Vorbereitung der Dichtheitsprüfung wurde die Leitung zunächst mit Frischwasser durchspült, indem der Pumpstation Frischwasser zugeleitet wurde. Anschließend wurden die Pumpen außer Betrieb genommen und das Leitungsende im Übergabeschacht zur Freispiegelkanalisation (Hochpunkt) mit einer Absperrblase abgedichtet (Abb. 58). Für diesen Zweck wurde eine Absperrblase mit zwei Durchgängen (Prüfblase) verwendet, die zur Entlüftung und Befüllung der Leitung dienen. Der Prüfdruck wurde über eine Wassersäule mit Hilfe eines durchsichtigen Schlauches und Prüfbehälters (Abb. 58) aufgebracht. Aufgrund des steigenden Verlaufs der Druckleitung war diese Leitung nach Abstellen des Pumpbetriebs nahezu vollständig mit Wasser befüllt, sodass vor der Prüfung nur noch wenig Wasser über den Prüfbehälter nachgefüllt werden musste.

Die Druckhöhe während der Prüfung betrug 0,33 bar über dem Rohrscheitel des Druckleitungsendes und 3,25 bar über dem Rohrscheitel an der Pumpstation. Während der Prüfzeit von 30 min wurden rund 85 ml Wasser nachgefüllt.

Der Aufwand für die Dichtheitsprüfung betrug insgesamt zwei Stunden.

Fazit:

Bei dieser Druckleitung in Witten ließ sich die Dichtheitsprüfung schnell und leicht umsetzen und stellte somit eine kostengünstige Methode dar, um Hinweise zur Dichtheit der Leitung zu gewinnen. Dies ist jedoch nicht grundsätzlich auf alle Druckleitungen übertragbar, da bei dieser Leitung günstige Prüfbedingungen vorlagen. Da die Leitung vom Pumpwerk aus durchgehend mit deutlicher Steigung verläuft, konnte die Leitung leicht befüllt und entlüftet werden.

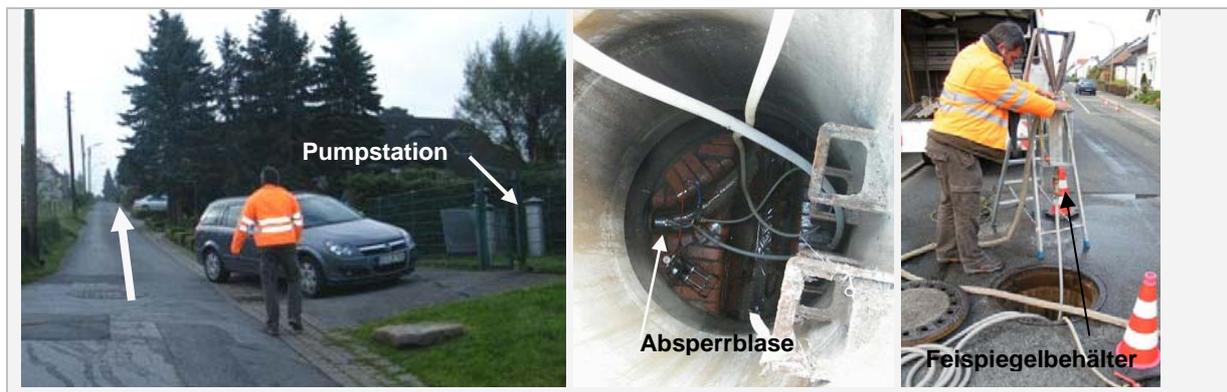


Abb. 58: Skizzierter Verlauf der Druckleitung (li), abgesperrtes Druckleitungsende (mi), Freispiegelbehälter am Druckleitungsende (re)

6.2 Axialkamera mit Saugschirm

Die sogenannte „Schleppkamera“ wurde von der Fa. Karl Reiner GmbH (Wertingen) gezielt für die Inspektion von Abwasserdruckleitungen konzipiert und in Zusammenarbeit mit der Fa. Gullyver – Gesellschaft für mobile Inspektionssysteme mbH (Bremen) als Sonderanfertigung konstruiert. Die Schleppkamera ist eine Axialkamera, die bei Unterdruck mit Hilfe eines Saugschirmes in die Leitung eingesogen wird. Nähere Informationen können Abschnitt 4.1.1.2. entnommen werden. Testeinsätze wurden an zwei Druckleitungen begleitet, siehe Abschnitt 6.2.1 und 6.2.2.

6.2.1 Testleitung PE-HD DI 100

Erstes Testobjekt für die Schleppkamera war eine Druckleitung PE-HD der Stadt Hemer mit einem Innendurchmesser von ca. 100 mm (DA 125 mm, DI 102,2 mm) und einer Gesamtlänge von rund 510 m. Die Leitung fördert das Abwasser eines Wohngebietes zu einem Übergabepunkt in die Freispiegelkanalisation und wurde 1996 erbaut. Laut Längsschnitt (vgl. Abb. 63) verläuft sie vom Pumpwerk bis zum Übergabepunkt ständig steigend (Steigung von 1 % bis 50 %) und überwindet rund 12 m Höhendifferenz. Da die Pumpen statt der geplanten 8 l/s nur 3-4 l/s fördern, sollte die Inspektion Hinweise zur Ursache der verringerten Fördermenge liefern. Zusätzlich sollten einzelne Punkte der Leitung geortet werden.

Im Vorfeld der Inspektion wurde die Leitung mit Frischwasser durchspült, indem dem Pumpwerk Frischwasser zugeleitet wurde. Unmittelbar vor der Inspektion wurde die Leitung außer Betrieb genommen und Richtung Pumpwerk entleert. Das anfallende Wasser wurde mit Saugfahrzeugen abtransportiert.

Für die Inspektion wurde zunächst ein Saugfahrzeug im Pumpenschacht an die Leitung angeschlossen (Abb. 59), um Restwasser aus der Leitung zu saugen und den erforderlichen Unterdruck zum Einziehen der Schleppkamera aufzubringen. Die Schleppkamera wurde über das offene Druckleitungsende eingesetzt (Abb. 60), um die Kamera mit dem Leitungsfälle einziehen zu können. Zu Beginn der Inspektion wurde ein Unterdruck von 0,3 bar aufgebracht, der mit zunehmender Reichweite der Kamera bis 0,5 bar erhöht wurde.

Die Leitung konnte auf einer Länge von rund 505 m fast vollständig inspiziert werden, rund 5 m vor dem Pumpwerk war ein Einziehen der Kamera nicht mehr möglich. Da der Saugschirm die Sicht nach vorne versperrte, wurde eine Schiebekamera vom Pumpwerk aus in die Leitung eingesetzt, die Kiesablagerungen unmittelbar vom dem Pumpwerk zeigte. Nach Entfernung dieser wurde der Saugschirm der Kamera gesichtet. Die Leitung wies mit Ausnahme der Kiesablagerungen keine Auffälligkeiten auf. Die befahrene Strecke enthielt zwei aufeinanderfolgende Bögen mit ca. 30° Richtungsänderung sowie weitere leichte, langgezogene Bögen. Dem Orten einzelner Punkte zufolge entspricht der Verlauf der Leitung in etwa den Planangaben. Nach der Entfernung der Kiesablagerungen sind die Förderströme der Pumpe nur geringfügig gestiegen auf maximal 4-5 l/s gestiegen.

Der Zeitaufwand für die Inspektion betrug einen Tag zuzüglich der vorbereitenden Spülung der Leitung.

Fazit:

Der Testeinsatz zeigte, dass die Schleppkamera eine geeignete Technik darstellen kann, eine Druckleitung über mehrere hundert Meter zu befahren. Hinsichtlich der Vortriebstechnik bringt der Saugschirm Vorteile mit sich, da dieser flexibel in seiner Form ist und daher grundsätzlich Bögen passieren kann. Einschränkungen in der Befahrbarkeit von Bögen entstehen durch Reibungskräfte, die mit steigender Anzahl und Krümmung der Bögen sowie der Einfahrlänge zunehmen. In der Testleitung DN 100 konnte eine Reichweite von rund 500 m erzielt werden. Höhere Reichweiten bei geraden Leitungsverläufen ohne Hindernisse scheinen durchaus möglich, allerdings können Bögen die Reichweite auch deutlich einschränken. Neben den genannten Vorteilen ist der Saugschirm auch mit einem Nachteil verbunden: Lässt sich die Kamera nicht weiter einziehen, versperrt der Schirm den Blick auf das mögliche Hindernis.



Abb. 59: Saugfahrzeug an der Pumpstation (li)

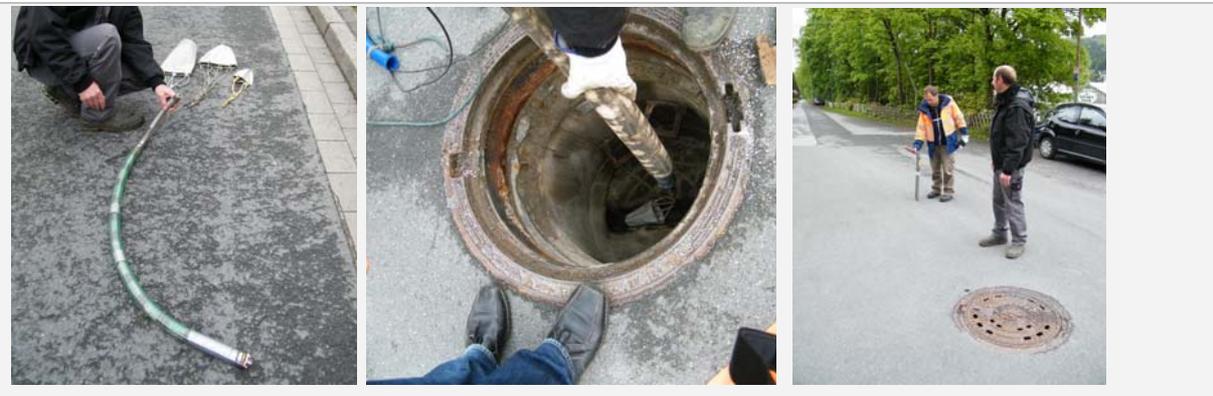


Abb. 60: „Schleppkamera“ mit unterschiedlichen Saugschirmen (li), Einsatz in den Endschacht (mi), Leitungsortung (re)

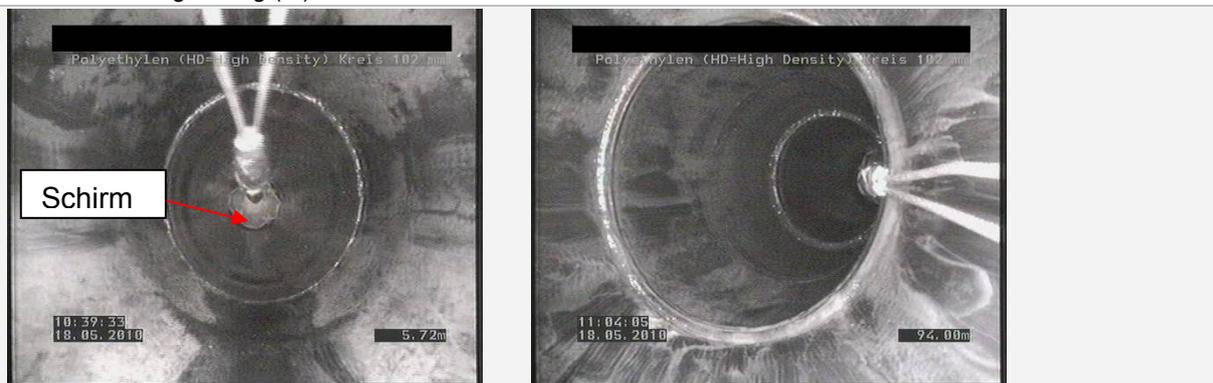
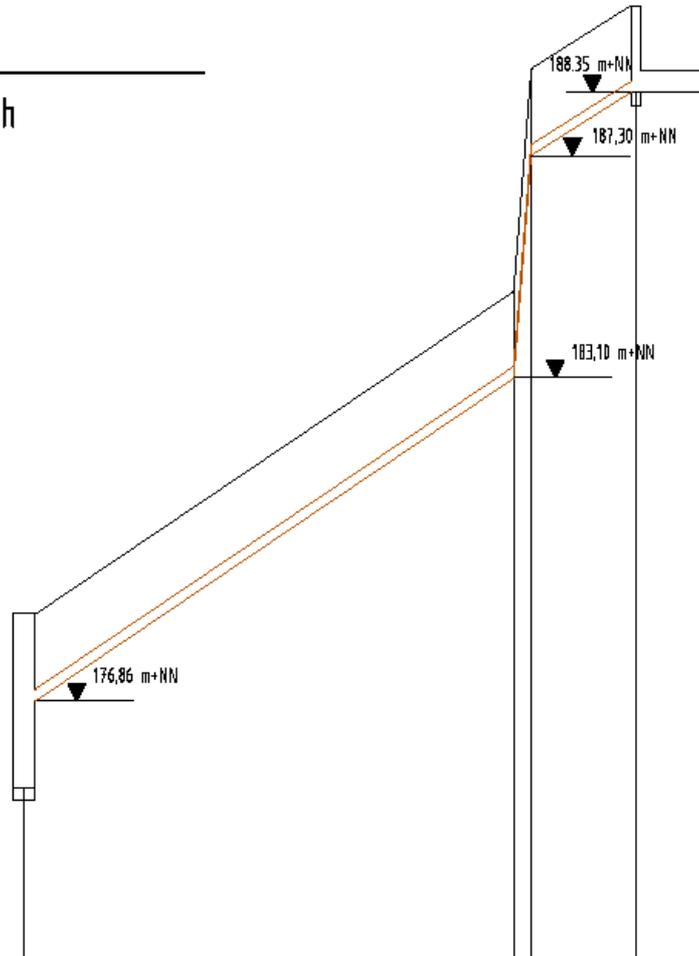


Abb. 61: Beispiele Inspektionsbilder im geraden Leitungsstück (li) und vor Bogen (re)



Abb. 62: Lageplan Druckleitung PE-HD, Innendurchmesser rund 100 mm, Länge 510 m, Hemer

Druckleitung PW
Längsschnitt, schematisch



Schacht-Nr.	PW	54560		
Deckelhöhe [m ü. NN]	177.82	184.17	188.48	189.73
Sohlhöhe [m ü. NN]	174.96	ca. 183.10	ca. 187.30	188.35
Schachttiefe [m]	2.86			1.38
Leitungslänge/Stat. [m]	0	420	428	98
Material, DN [mm]	Polyethylen DN 125, di=102.2			
Straßenbezeichnung				

Abb. 63: Längsschnitt Druckleitung PE-HD, Innendurchmesser rund 100 mm, Länge 510 m, Hemer

6.2.2 Testleitung PE-HD DI 50

Für einen zweiten Testeinsatz der Schleppkamera wurde eine PE-HD-Druckleitung mit einem Innendurchmesser von rund 50 mm (DA 63 mm, DI 51,4 mm) ausgewählt. Die Leitung mit einer Länge von 990 m entwässert eine abgelegene Ortschaft in Hemer mit wenigen Anschlussnehmern. Die Leitung verläuft von der Pumpstation aus ständig steigend bis zum Übergabepunkt zur Freispiegelkanalisation (Abb. 66) und enthält laut Planunterlagen rund 20 Richtungsänderungen zwischen 10° und 80° (Abb. 68).

Zur Vorbereitung der Inspektion wurde die Leitung mit Frischwasser durchspült, indem der Pumpstation Frischwasser zugeleitet wurde. Unmittelbar vor der Inspektion wurde die Leitung außer Betrieb genommen und Richtung Pumpwerk entleert. Das anfallende Wasser wurde mit Saugfahrzeugen abtransportiert. Anschließend wurde ein Saugfahrzeug an die Pumpstation angeschlossen, um Restwasser aus Unterbögen der Leitung abzusaugen.

Im Gegensatz zum Vorgehen bei der Druckleitung DN 100 (s. Abschnitt 6.2.1) wurde diese Leitung von zwei Seiten aus inspiziert, da die maximale Reichweite der Kamera laut Anbieter bei dieser Nennweite 500 m beträgt.

Zunächst wurde die Kamera über eine geöffnete Verbindung in der Pumpstation (Abb. 64) eingesetzt (in Fließrichtung, gegen Gefälle) und das Saugfahrzeug am Druckleitungsende im Übergabeschacht zur Freispiegelkanalisation angeschlossen. Dazu wurde vor Ort eine Übergangskonstruktion aus Gewebband und Saugrohr hergestellt (vgl. Abb. 66). Die Reichweite der Kamera wurde durch mehrfache Richtungsänderungen eingeschränkt und lag bei 110 m. Zum Vortrieb der Kamera wurde in diesem Fall ein Unterdruck zwischen 0,35 und 0,6 bar aufgebracht.

Bei der Inspektion gegen Fließrichtung mit Gefälle der Leitung und Anschluss des Saugfahrzeugs an der Pumpstation (s. Abb. 65) konnte eine Reichweite von rund 315 m erzielt werden. Die Inspektion musste an dieser Stelle abgebrochen werden, da aufgrund einer überhitzten Vakuumpumpe des Saugfahrzeugs nur noch 0,4 bar Unterdruck erzeugt werden konnten. Da die Leitung bis zu dem Punkt nur wenige langgezogene Bögen enthielt, ließ sich die Kamera im Vergleich zu den vorherigen Inspektionen mit wenig Kraftaufwand zurückziehen. Daher scheint bei weiterem geradlinigen Verlauf der Leitung eine Reichweite von bis zu 500 m durchaus realistisch zu sein, wenn ein höherer Unterdruck erzeugt werden kann. Die Vortriebgeschwindigkeit der Kamera lag bei ca. 5 m/min.

Der Inspektion zu Folge enthielt die Leitung keine optischen Auffälligkeiten (vgl. Abb. 67). Die Inspektion zeigte, dass die Rohrverbindungen durch Heizwendelschweißen hergestellt worden waren. Laut Angaben des Herstellers können spiegelgeschweißte Rohre bei kleinen Nennweiten von DN 50 aufgrund von Schweißnähten nur begrenzt befahren werden.

Der Zeitaufwand für die Inspektion inklusive der Baustelleneinrichtung betrug einen Arbeitstag. Zusätzlicher Aufwand entstand durch die vorbereitende Spülung der Leitung.

Fazit:

Der Einsatz zeigte, dass die Schleppkamera auch in kleinen Rohrdurchmessern von 50 mm anwendbar ist und auch hier eine Reichweite von mehreren hundert Metern erzielt werden kann.



Abb. 64: Schleppekamera mit Saugschirm (li), Beispiele Saugschirm (mi) und Einsetzen der Kamera in Leitungsöffnung an Pumpstation (re)



Abb. 65: Anschluss Saugfahrzeug am Pumpwerk (li) und Saugfahrzeug (re)



Abb. 66: In Gerinne einragende Druckleitung (li) und Behelf für Anschluss des Saugfahrzeugs (re)

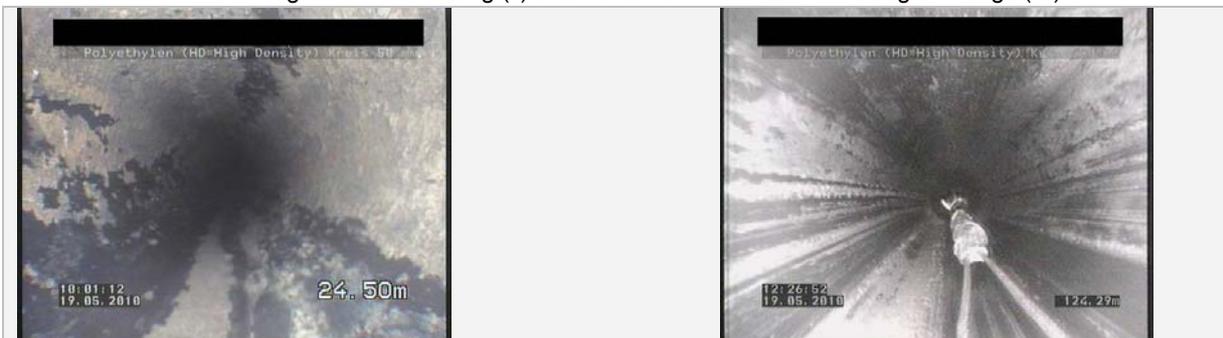


Abb. 67: Beispielbilder aus TV-Inspektion

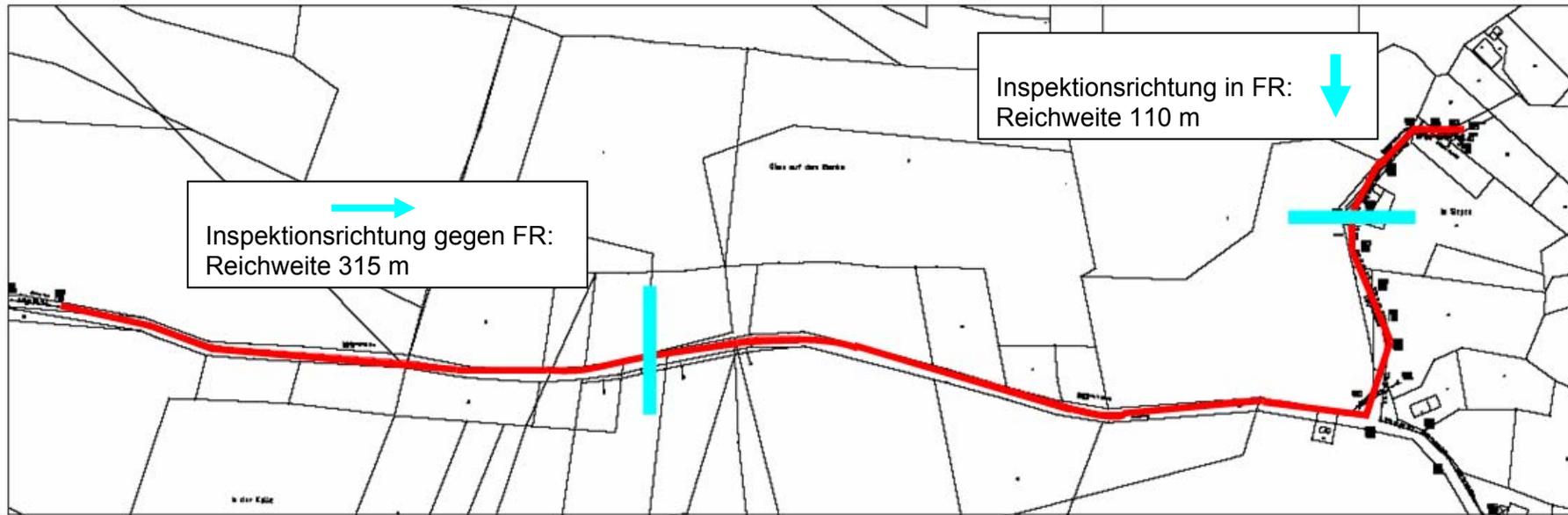
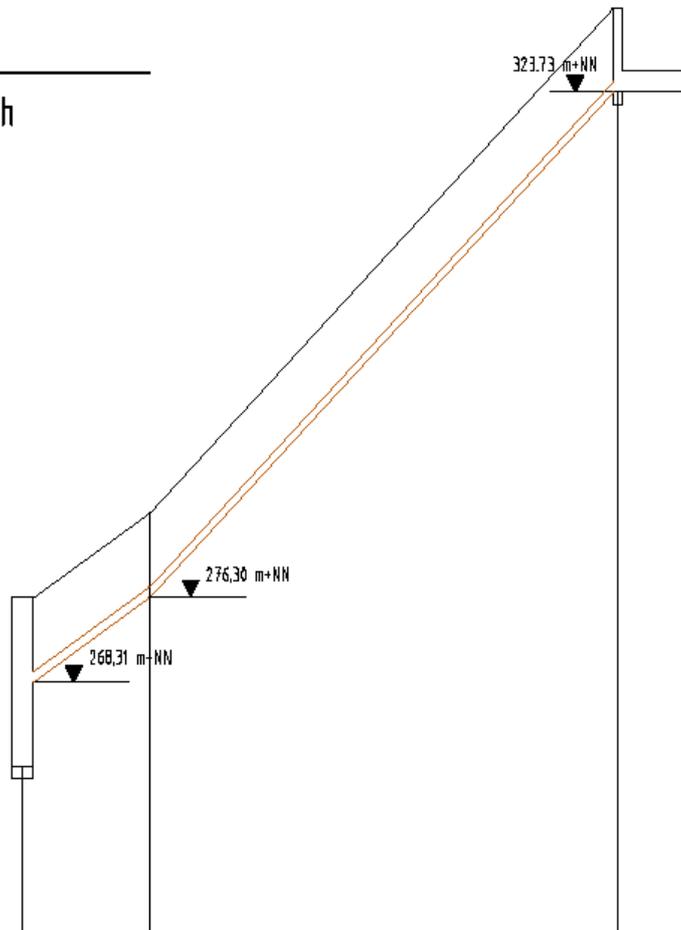


Abb. 68: Lageplan Abwasserdruckleitung PE-HD, Innendurchmesser rund 50 mm, Länge 990 m, Hemer

Druckleitung PW
Längsschnitt, schematisch



Schacht-Nr.	PW		20182
Deckelhöhe [m ü. NN]	269.35	277.33	325.16
Sohlhöhe [m ü. NN]	266.37	276.30	323.73
Schachttiefe [m]	2.98		1.43
Leitungslänge/Stat. [m]	207	207	782
Material, DN [mm]	Polyethylen DN 63, di=51.4		
Straßenbezeichnung			

Abb. 69: Höhenplan Abwasserdruckleitung PE-HD, Innendurchmesser rund 50 mm, Länge 990 m, Hemer

6.3 Fahrwagenkamera

Da die optische Inspektion mit Fahrwagenkameras in Freispiegelnetzen die übliche Methode zur Zustandserfassung darstellt und somit der Kanalsektor mit diesen Techniken vertraut ist, wurden auch Fahrwagenkameras in Druckleitungen eingesetzt, um Hinweise zu Einsatzmöglichkeiten und –grenzen zu erhalten.

Exemplarisch wurden im Rahmen des Projektes drei unterschiedliche Kamerasysteme eingesetzt. Aufgrund der offensichtlich vorliegenden Erfahrungen mit der Inspektion von Druckleitungen (s. Abschnitt 6.2) wurde die Fa. Karl Reiner GmbH beauftragt, ihre Kamerasysteme einzusetzen, in diesem Fall Systeme der Hersteller Gullyver – Gesellschaft für mobile Inspektionssysteme mbH (Bremen) und iPEK Spezial TV GmbH (Hirschegg, Österreich). Des Weiteren wurde ein Kamerasystem der Fa. IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG (Kiel) eingesetzt.

An dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass diese Systeme nicht die komplette Bandbreite der am Markt verfügbaren Techniken widerspiegeln und viele weitere Systeme, auch anderer Hersteller, verfügbar sind.

6.3.1 Testleitung PE-HD DI 355

Die rund 2,5 km lange PE-HD-Druckleitung mit einem Innendurchmesser von rund 355 mm (DA 400 mm, DI 354,6 mm) des Amtes für Stadtentwässerung Hemer entwässert ein Industriegebiet sowie Wohngebiet und leitet das Abwasser zur Kläranlage in Hemer. Betriebliche Störungen der Leitung mit eingeschränkter oder fehlender Entwässerung des Industriegebietes hätten schwerwiegende Folgen.

An der im Jahr 1983 gebauten Leitung sind bereits zwei Schadensfälle aufgetreten. Im Jahr 2010 wurde eine Schadstelle zufällig bei Tiefbauarbeiten aufgrund von Verfärbungen und Feuchtigkeit des Bettungsmaterials vor einem Widerlager entdeckt. Zwischen zwei Segmentbögen innerhalb eines Widerlagers war die Schweißnaht gerissen. Einige Jahre zuvor wurde ein Abriss eines Ausbaustücks in einem Wartungsschacht bemerkt, als aus dem Schachtdeckel Wasser an die Geländeroberfläche drang. Vor diesem Hintergrund sollen mit der Inspektion die Schweißnähte der Leitung auf optisch sichtbare Schäden untersucht werden.

Die exakte Lage der Leitung ist nur an wenigen Stellen, wie z.B. an Schiebern und Be-/Entlüftungsventilen, bekannt und wurde im Lageplan nur abgeschätzt (vgl. Abb. 75). Ein Längsschnitt zur Leitung (Abb. 76) wurde anhand bekannter Punkte (vier Schieber, zwei Be-/Entlüftungsventile) erstellt. Dem Längsschnitt zufolge ist die Leitung durchgehend mit einer Steigung zwischen 2 ‰ und 12 ‰ verlegt worden. Eine Ausnahme bilden zwei ca. 30 m Teilabschnitte zur Straßen- bzw. Flussunterführung mit Gefälle zwischen 0,6 ‰ und 1,6 ‰. Der Höhenunterschied zwischen Druckleitungsanfang und Übergabeschacht zur Kläranlage beträgt rund 22 m.

Als Inspektionsziel wurde eine stichpunktartige Aufnahme der letzten rund 500 m vor dem Druckleitungsende mit Leitungsortung (s. Abb. 72) angesetzt. Aufgrund des angeschlossenen Industriegebietes und großen Abwasserfördermengen sowie aufgrund fehlender Zu-

gangsmöglichkeiten im Verlauf der Leitung ist eine vollständige Inspektion mit einer Fahrwagenkamera derzeit nicht umsetzbar.

Im Vorfeld der Inspektion wurde das Pumpwerk außer Betrieb genommen und das zu inspizierende Teilstück rückwärts über das Pumpwerk in ein Überlaufbecken entleert. Anschließend wurde die Fahrwagenkamera⁹ (Abb. 70) über das offene Ende der Druckleitung eingesetzt. Der Fahrwagen ist laut Hersteller ab einem Nenndurchmesser von 250 mm einsetzbar, seine Abmessungen betragen L/B/H = 750/165/145 mm, die Kabellänge auf dem Inspektionsfahrzeug betrug rund 800 m.

Inspektion und Ortung der Leitung ergaben einen deutlich vom Lageplan abweichenden Verlauf (Abb. 75). Die Leitung enthält auf den ersten 330 m zehn Richtungswechsel zwischen 15° und 90°. Davon sind zwei als langgezogene Bögen verlegt worden, die restlichen acht Richtungsänderungen zwischen ca. 30° und 90° sind über Gehrungsschnittbögen aus bis zu fünf spiegelgeschweißten Rohrsegmenten umgesetzt worden (vgl. Abb. 72). Die Bögen beschränkten die Reichweite der Kamera und führten nach einer Einfahrlänge von ca. 330 m zu einem Abbruch der Inspektion. In diesem Bereich folgten zwei segmentgeschweißte Bögen in gegenläufige Richtungen aufeinander und die Leitung war aufgrund eines Unterbogens zur Hälfte mit Wasser gefüllt (Abb. 72). Wegen der Bögen und der eingeschränkten Sicht bestand die Gefahr des Umkippen des Fahrwagens und somit des Steckenbleibens der Kamera.

Als Auffälligkeiten zeigten sich zum einen Verformungen des Rohres an einigen Stellen (vgl. Abb. 74). Zum anderen wurden in einem Teilbereich in der Rohrsohle geringe Mengen fließendes Wasser beobachtet, dessen Herkunft jedoch nicht geklärt werden konnte. Die Schweißverbindungen (alle 5 m) zeigten keine optisch erkennbaren Schäden. Darüber hinaus befanden sich rund 20 m vor Leitungsende Sandablagerungen (Abb. 71) in der Leitung, die die Inspektion behinderten und durch Spülungen entfernt werden mussten. Ein in der Druckleitung liegender Stein (Abb. 73) konnte mit der Kamera überwunden werden. Des Weiteren wurden an einer Rohrverbindung faserige Bestandteile (Abb. 73) gesichtet. Ob es sich hierbei um Wurzeleinwuchs oder Ablagerungen handelt, konnte nicht geklärt werden.

Die Dauer der Inspektionsarbeiten mit vorbereitender Entleerung der Leitung betrug rund einen Tag.

Fazit:

Der Testeinsatz zeigte, dass die Befahrung einer Druckleitung mit einer Kamera grundsätzlich möglich ist, allerdings kann ein hoher Aufwand für die Außerbetriebnahme und Entleerung der Leitung entstehen. Einsatzgrenzen können vor allem bei eingeschränkter Entleerbarkeit der Leitung sowie fehlenden Schächten und Zugangsmöglichkeiten bestehen. Die Reichweite einer Kamera kann durch Bögen deutlich eingeschränkt werden. Vermutlich können Deformationen und defekte Verbindungen als die zu erwartenden Hauptschadensarten in PE-Leitungen häufig erkannt werden. Um die Aussagekraft einer optischen Innen-

⁹ Fahrwagen der Fa. Gullyver - Gesellschaft für mobile Inspektionssysteme mbH, Bremen

Inspektion zu erhöhen, wäre eine explosionsgeschützte Deformationsmessung sinnvoll, die zur Projektlaufzeit noch nicht verfügbar war.



Abb. 70: Übergabeschacht Druckleitungsende (li); Fahrwagenkamera (re)



Abb. 71: Ortung der Kamera (li); Sandablagerungen in der Druckleitung (re)



Abb. 72: Beispiele einer Bogenausführung (li) und Bogenstück bei Abbruch der Inspektion (re)



Abb. 73: Ablagerungen oder Wurzeleinwuchs an der Verbindung (li) und Stein in der Leitung (re)

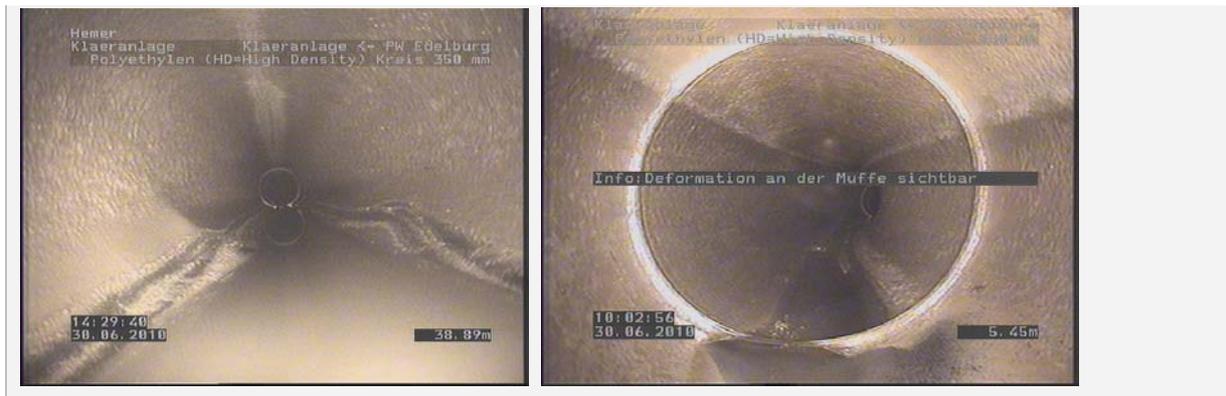


Abb. 74: Deformation durch Punktlast (li) und Ovalisierung (re)

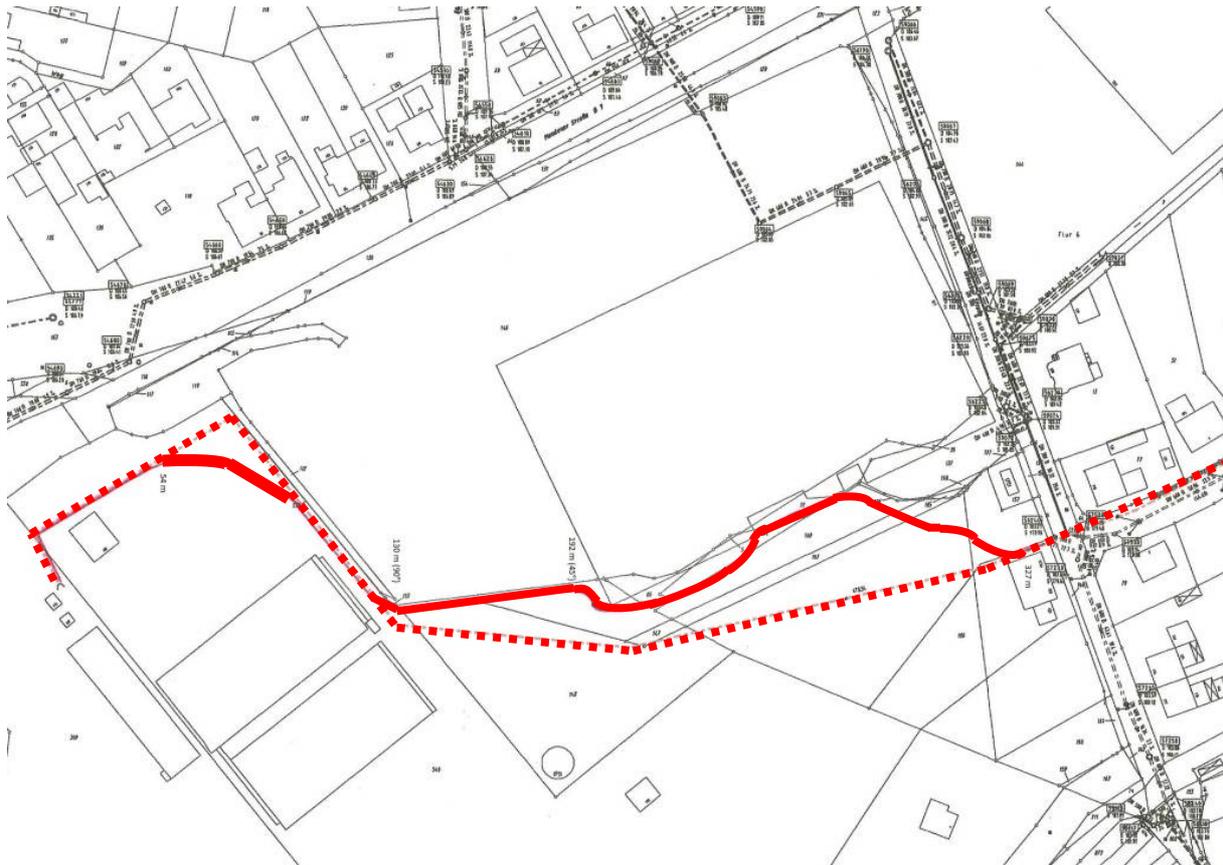
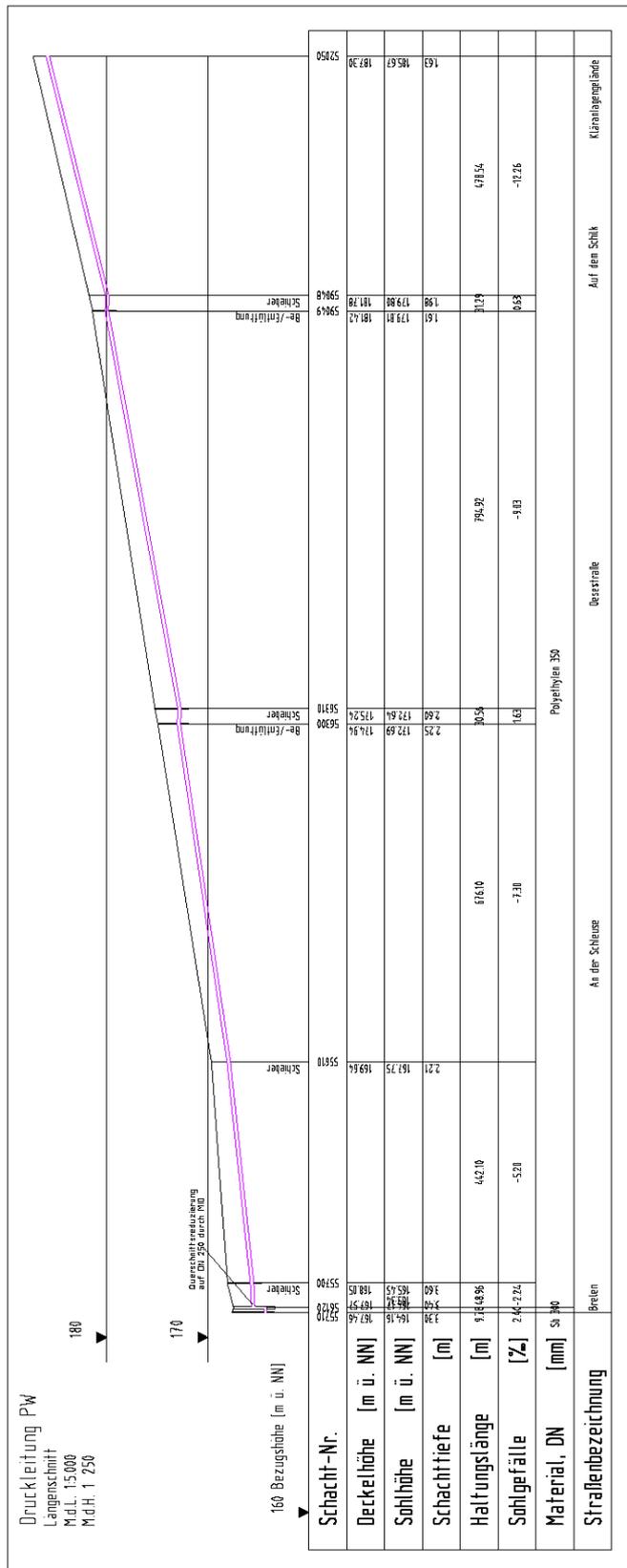


Abb. 75: Lageplanausschnitt mit Verlauf der Druckckleitung laut Lageplan (gestrichelte Linie) und grob skizzierten Verlauf entsprechend der Inspektionsdaten (durchgezogene Linie)



6.3.2 Testleitung Guss DN 300

Besonderheit der rund 40 Jahre alten und 800 m langen Graugussleitung DN 300 der Gemeinde Holzwickede ist, dass die Leitung mit vier Zwischenschächten und Reinigungsöffnungen ausgestattet wurde (Abb. 78 und Abb. 81), sodass alle 100 m bis 210 m Zugangsmöglichkeiten zur Leitung bestehen.

Die Leitung führt Abwasser eines Ortsteils und eines Industriegebietes, in dem u.a. ein fleischverarbeitender Betrieb ansässig ist, sodass Fettablagerungen in der Leitung wahrscheinlich sind. Da die Leitung während ihrer Betriebszeit nicht gereinigt oder befahren wurde, sollten bei der Inspektion neben der Reichweite der Kamera der Verschmutzungsgrad und der optische Zustand der Leitung erfasst werden. Die Leitung verläuft vom Pumpwerk aus steigend zum Endpunkt. Laut Lageplan (Abb. 81) enthält die Leitung fünf Richtungsänderungen zwischen 10° und 45° , wobei die genaue Ausführung der Bögen nicht bekannt ist.

Die Leitung wurde außer Betrieb genommen und rückwärts Richtung Pumpwerk entleert. Die Außerbetriebnahme der Leitung war in diesem Fall ohne Wasserhaltung möglich, da das anfallende Abwasser zu einem anderen Pumpwerk umgeleitet und das bei Hochdruckspülungen der Leitung anfallende Wasser in einem Staubecken aufgefangen werden konnte. Für den ersten Inspektionsversuch wurde ein Fahrwagen¹⁰ ab DN 250 mit den Abmessungen L/B/H = 750/165/145 mm in das offene Ende der Druckleitung im Übergabeschacht zur Freispiegelkanalisation eingesetzt (Abb. 77). Nach rund 30 m musste die Befahrung abgebrochen werden, da zwei aufeinander folgende 45° -Bögen (vgl. Abb. 79 und Abb. 81), die an dieser Position nicht im Plan verzeichnet waren, nicht durchfahren werden konnten. Für weitere Inspektionsversuche wurde eine kleinere Kamera¹¹, einsetzbar ab DN 100 (L/B/H=300/90/75 mm verwendet. Mit dieser konnten die 45° -Bögen überwunden werden, jedoch musste die Inspektion nach 60 m erneut abgebrochen werden, da hier Wasser anstand.

Die Inspektion mit der kleinen Kamera wurde am Revisionschacht Nr. 1 (Abb. 78) über einen Spülstutzen fortgesetzt (Größe der Öffnung ca. 18 cm). Im Vorfeld waren aufwendige Vorarbeiten notwendig, da sich zum einen die verrosteten Schrauben des Spülstutzens nur mit hohem Aufwand öffnen ließen und zum anderen Hochdruckspülungen aufgrund starker Fettablagerungen erforderlich waren. Wie sich bei der Inspektion herausstellte, waren die Fettablagerungen nicht vollständig entfernt worden, sodass diese die Befahrung behinderten und die Kamera nur ca. 35 m bzw. 25 m vom Schacht aus eingefahren werden konnte. Die Reichweite des Spülschlauches betrug 145 m in Fließrichtung (Steigung) und 240 m gegen die Fließrichtung (Gefälle).

Vom Revisionschacht Nr. 2 aus konnte die Kamera in beide Richtung über die gesamte Kabellänge eingefahren werden (Kabellänge hier 85 m). Hier waren nach der HD-Spülung nur noch geringfügige Fettablagerungen vorhanden. Bei längerem Kabel hätte die Reichweite noch erhöht werden können.

¹⁰ Fahrwagenkamera der Fa. Gullyver - Gesellschaft für mobile Inspektionssysteme mbH, Bremen

¹¹ Fahrwagenkamera der Fa. iPEK Spezial TV GmbH, Hirscheegg (Österreich)

Die rund 40 Jahre alte Gussleitung zeigte auf den inspizierten rund 300 Metern neben den Fettablagerungen nur eine Axialverschiebung mit Muffenspalt als Auffälligkeit (Abb. 79 und Abb. 80). Eine Innenbeschichtung der Leitung war nicht erkennbar. Das Baujahr der Leitung lässt eine Bitumen-/Teerbeschichtung vermuten.

Der Aufwand für die Inspektion einschließlich des Öffnens zweier Revisionsöffnungen sowie Teilspülungen der Leitung betrug einen Tag.

Fazit:

Der Testeinsatz zeigte, dass die Inspektion einer Druckleitung zwar grundsätzlich möglich ist, aber gegenüber dem Freispiegelkanal mit deutlich höherem Aufwand verbunden ist (Außerbetriebnahme, Entleerung, Reinigung). Eine Reinigung ist bei dieser Leitung mittels Hochdruckspüldüse möglich, da Zwischenschächte vorhanden sind. Dies wird bei den meisten Druckleitungen jedoch aufgrund fehlender Zugänglichkeiten nicht umsetzbar sein, so dass auf andere Methoden zurückgegriffen werden muss (z.B. Molchen oder Impuls-Spülung, vgl. [133]). Hinsichtlich der Kamertechnik zeigte sich ein Zielkonflikt zwischen Reichweite und Größe der Kamera. Es sind kleine, bogengängige Kameras erforderlich, die über die kleinen Revisionsöffnungen eingesetzt werden können und gleichzeitig eine entsprechende Zugkraft für eine hohe Reichweite zulassen. Beim Werkstoff Guss bestehen Einschränkungen in der Aussagekraft der Inspektion zum Zustand des Rohrwerkstoffs. Außenkorrosion und Graphitierung (s. Abschnitt 3.1.1.1) werden nicht erkannt.



Abb. 77: Ende der Druckleitung im Übergabeschacht (li), Einbringen des großen Fahrwagens (re)



Abb. 78: Revisionsöffnung (li) mit eingesetzter Kamera (mi), kleiner Fahrwagen (re)



Abb. 79: Bogen (li) und Axialverschiebung mit Muffenspalt (re)



Abb. 80: Fettablagerungen vor HD-Spülung (li), Fettablagerungen nach erstem Spüldurchgang (re)

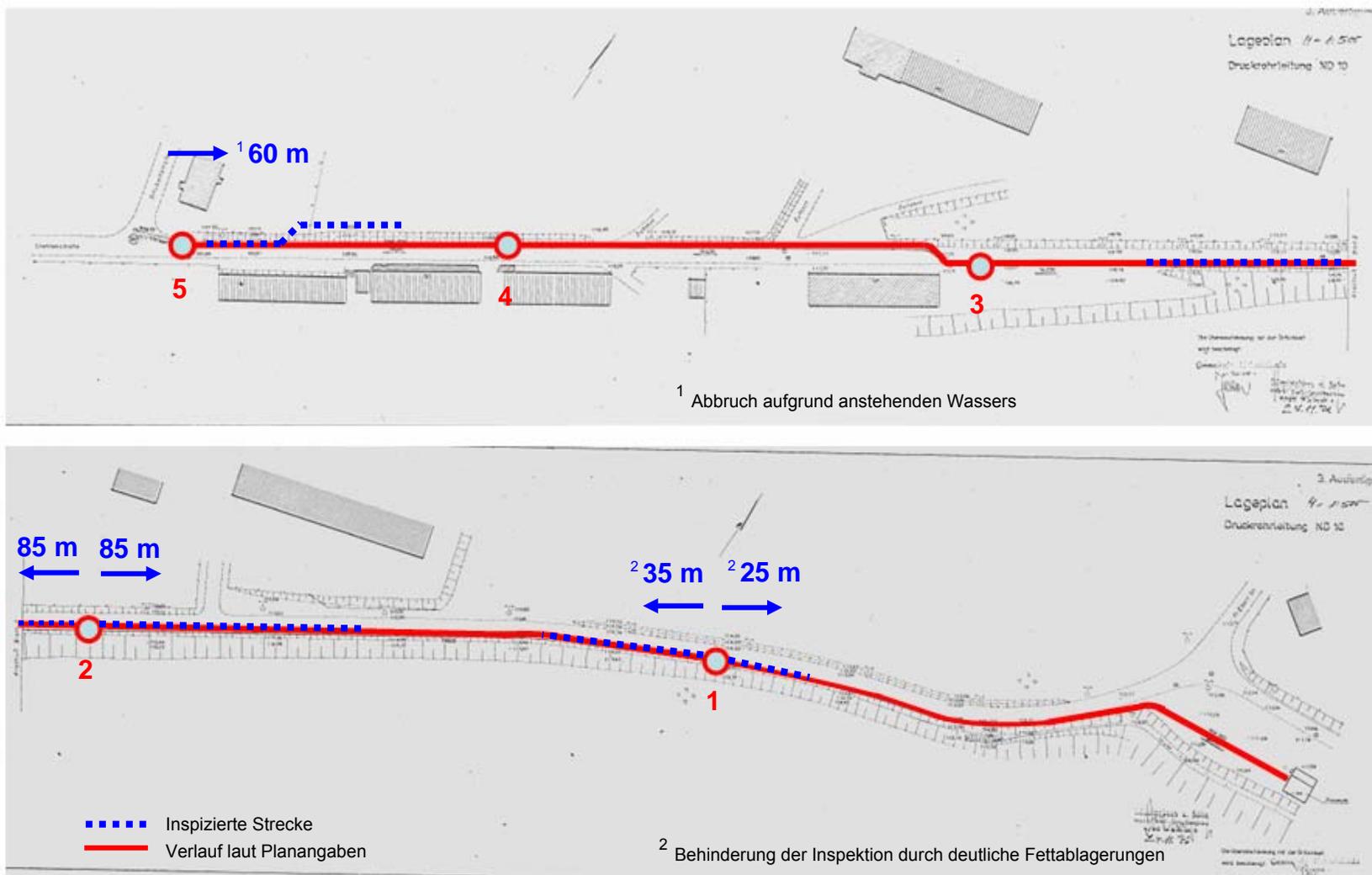


Abb. 81: Lageplan Druckleitung Guss DN 300, Länge rund 800 m, Holzwickede

6.3.3 Testleitung Guss DN 300 (zweiter Einsatz)

Da die Graugussleitung DN 300 in Holzwickede (vgl. Abschnitt 6.3.2) ideale Testbedingungen bietet, weil mehrere Zugangsöffnungen zur Leitung bestehen und die Leitung außer Betrieb genommen werden kann, wurde ein weiteres Kamerasystem eingesetzt, um Anhaltswerte für die Befahrbarkeit von Druckleitungen zu erhalten. Für diesen Inspektionsversuch wurde ebenfalls eine kleine Fahrwagenkamera¹² ab DN 100 (Länge 385 mm), hier mit einer Kabellänge von 500 m eingesetzt.

Die Leitung wurde im Vorfeld der Inspektion außer Betrieb genommen und entleert, sämtliche Revisionsöffnungen wurden geöffnet und die Leitung vollständig gespült. Die Kamera wurde über das offene Ende der Druckleitung sowie die Revisionsöffnungen Nr. 4 und Nr. 3 (Abb. 83) eingesetzt.

In der gespülten Leitung mit leichten Fettrückständen konnten bei geradem Leitungsverlauf Reichweiten zwischen 90 m und 110 m erzielt werden (vgl. Abb. 83). Laut Angaben des Herstellers könne diese durch größere und schwerere Räder noch erhöht werden, jedoch schränke dies die Bogengängigkeit ein und das Einsetzen der Kamera über die kleinen Revisionsöffnungen würde erschwert. Eine weitere Möglichkeit, die Reichweite zu erhöhen, bestünde darin, die Kamera mit einem leichteren Kabel zu kombinieren.

Die zwei aufeinander folgenden 45°-Bogen rund 30 m vor dem Ende der Druckleitung (Schacht Nr. 5, Abb. 83) konnten mit dem Kamerasystem nicht durchfahren werden. Zwei aufeinander folgende ca. 10°- und 30°-Bögen unmittelbar an der Inspektionsöffnung Nr. 3 konnten passiert werden.

Bis auf den bereits bei der ersten Inspektion gesichteten Muffenspalt mit Versatz wies die Leitung auf den inspizierten Strecken keine Auffälligkeiten auf. Allerdings wurden zusätzliche Bögen erfasst, die nicht im Plan verzeichnet sind (s. Abb. 83).

Der Zeitaufwand für Hochdruckspülungen der gesamten Strecke betrug etwas fünf Stunden, für die Inspektion der rund 350 m über drei Einsatzöffnungen wurden rund zwei Stunden benötigt.

Fazit:

Wie auch beim ersten Inspektionseinsatz bestätigte sich, dass für die optische Inspektion einer Druckleitung mit eingeschränkten Reichweiten gegenüber der Freispiegelkanalisation zu rechnen ist. Die häufig in den Leitungen vorhandenen Bögen können, insbesondere bei kleinen Leitungsdimensionen, unüberwindbare Hindernisse darstellen. Ist mit Bögen zu rechnen, müssen kleine Kamerafahrwagen eingesetzt werden, deren Reichweite begrenzt ist. Auch bei Optimierung der Kamerasysteme (leichtes Kabel, schwere und griffige Räder, Zusatzgewichte) scheinen Reichweiten bei geraden Leitungsverläufen über 200-250 m unrealistisch zu sein.

¹² Fahrwagenkamera der Fa. IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG, Kiel



Abb. 82: Eingesetzte Fahrwagenkamera (li) und durch Revisionsöffnung eingesetzte Kamera (re)

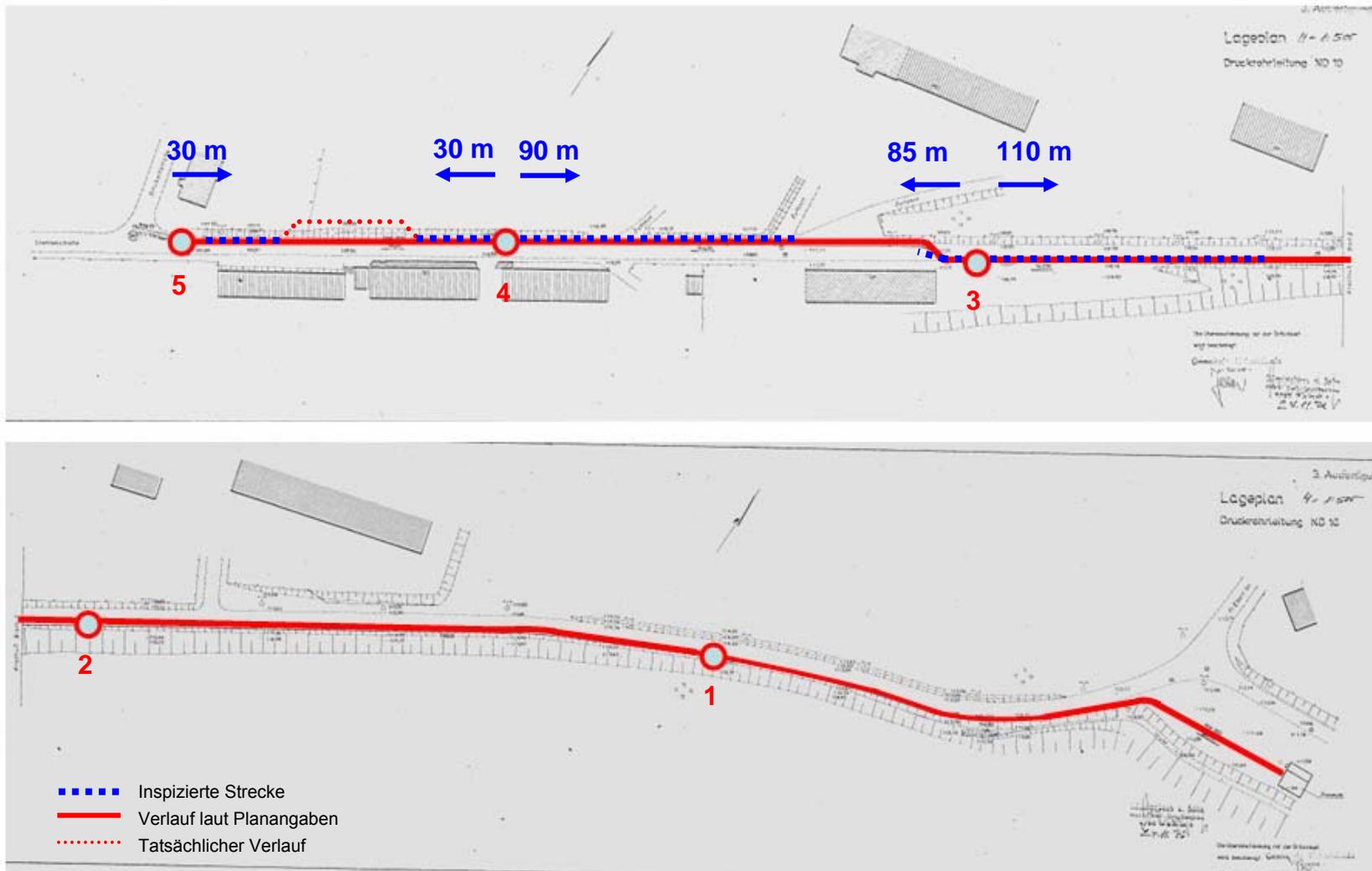


Abb. 83: Lageplan Druckleitung Guss DN 300, Länge rund 800 m

6.4 Eingspülte Dreh-Schwenkkopfkamera

Seitens des Kameraherstellers JT-elektronik GmbH (Lindau) wurde zur Druckleitungsinspektion die Idee verfolgt, eine Kamera in Kombination mit einem Spülschlauch in die Leitung einzuspülen. Dazu wurde die Dreh-Schwenkkopfkamera „Lindauer Schere“ mit verschiedenen Spülschläuchen unterschiedlicher Stärken kombiniert. Diese wurden abhängig vom Durchmesser der zu untersuchenden Leitung in Abstimmung mit der Fa. Müntefering GmbH (Herne) gewählt. Die Lindauer Schere, ursprünglich als abbiegefähiges System für die Grundstücksentwässerung konzipiert, wurde vom Hersteller gewählt, da diese mit dem System ASYS kombiniert werden kann. Dieses dient der Lageerfassung von Leitungen mit Hilfe von Sensoren (u.a. Kreiselkompass und Neigungssensoren) in Kombination mit einer Auswertungssoftware. Das System wurde an drei verschiedenen Druckleitungen, abhängig vom Durchmesser in Kombination mit einem Führungsschlitten, eingesetzt (s. Abschnitt 6.4.1 bis 6.4.3).

6.4.1 Düker Stahl DN 350

Als erste Testleitung für die eingspülte Dreh-/Schwenkkopfkamera wurde ein kurzer Stahldüker DN 350 mit einer Länge von rund 130 m gewählt, der unterhalb der Ruhr im Gebiet der ESW Entwässerung Stadt Witten liegt. Der Düker verläuft laut Längsschnitt (Abb. 86) mit Gefälle um 20 % bis zum rund 6 m tiefer gelegenen Tiefpunkt und mit Steigungen zwischen 2% - 30% zum Oberhaupt. Ein parallel verlegter Düker DN 600 mündet in den selben Schacht am Oberhaupt (vgl. Abb. 85). Bislang wurde der Düker nicht inspiziert, jedoch wird er halbjährlich gespült. Dabei wurden u.a. Schotter bzw. Steine ausgespült.

Zur Entleerung sollte der Düker am Zulauf zum Schachtbauwerk des Oberhauptes abgesperrt, mittels Spüldüse gereinigt und anschließend mit Hilfe von Saugschlauch und Saugfahrzeug leer gepumpt werden. Da der parallel verlegte Düker DN 600 in das Schachtbauwerk am Oberhaupt mündet, musste dieser zeitgleich abgesperrt werden. Weil es nicht gelang, den Saugschlauch bis zum Tiefpunkt vorzuschieben und zudem die Einstauzeit der Düker aufgrund unerwarteter schwerer Regenfälle in der Vornacht verkürzt war, konnte der Düker nicht vollständig entleert werden.

Um dennoch Hinweise zur Handhabbarkeit der Kamera zu erhalten, wurde diese auch bei teils gefülltem Düker eingesetzt. Die Dreh-/Schwenkkopfkamera wurde mit Führungsschlitten (Abb. 85) und Spülschlauch kombiniert und über das Schachtbauwerk des Oberhauptes in die Leitung eingebracht. Die Kamera konnte ohne Schwierigkeiten bis zum Oberhaupt vorgefahren werden, optische Sicht bestand dabei nur auf den ersten 15 Metern. Der Verlauf des Dükers wurde während der Inspektion über das ASYS-System aufgezeichnet.

Der Zeitaufwand für Spülen, Entleeren und Inspektion belief sich auf fünf Stunden, wobei der größte Anteil auf die Entleerungsarbeiten entfiel.

Fazit:

Wie sich zeigte, ist eine Entleerung von Dükern und auch Druckleitungen, die Tiefpunkte oder Unterbögen enthalten, mit hohem Aufwand verbunden und kann zu Schwierigkeiten führen. Für eine optische Inspektion ist sie jedoch Voraussetzung. Die Kopplung einer Kame-

ra mit Spülschlauch kann eine Variante des Vortriebs darstellen. Die Kombination mit spezieller Messtechnik und einer Software zur Lageerfassung kann bei unbekanntem Verlauf von Vorteil sein.

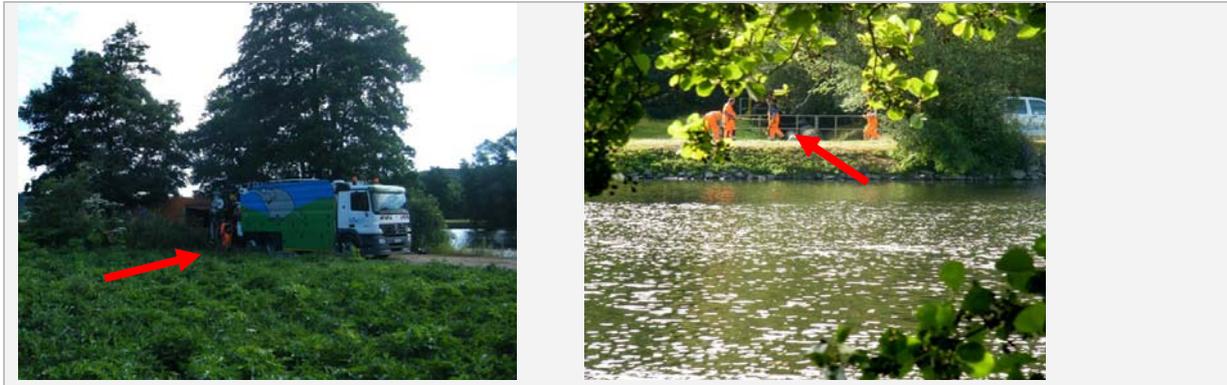


Abb. 84: Lage des Unterhauptes (li) und Lage des Oberhauptes (re) an der Ruhr



Abb. 85: Dreh-/Schwenkkopfkamera mit Führungsschlitten (li) und Einsatz der Kamera in das Dükerende am Unterhaupt (re)

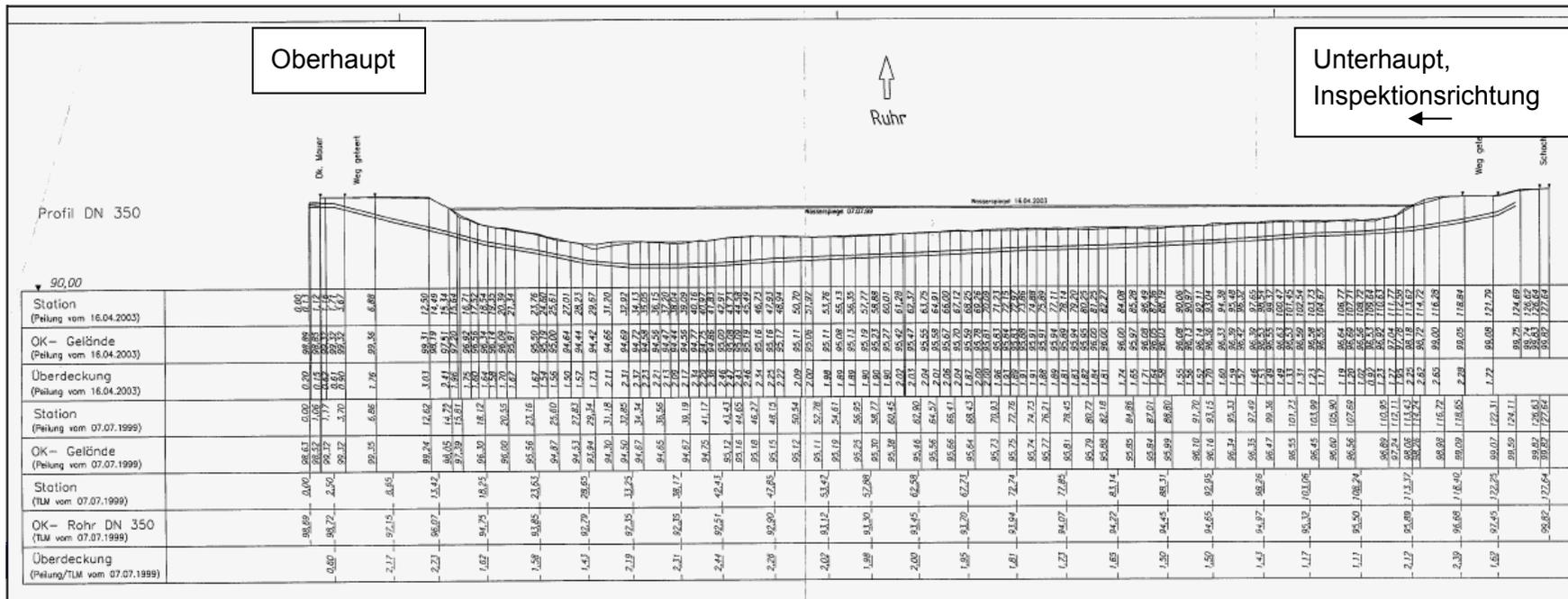


Abb. 86: Längsschnitt Düker Stahl DN 300, Länge 130 m, Witten

6.4.2 Testleitung Asbestzement DN 150

Zweite Teststrecke für die eingespülte Lindauer Schere war eine rund 325 m lange Asbestzementleitung, Baujahr 1973, mit einem Innendurchmesser von 150 mm. Ein rund 70 m langes Teilstück der Leitung der Gemeinde Möhnesee wurde bereits durch GFK-Rohre ersetzt.

Zugangsmöglichkeiten zur Leitung bestehen im Pumpwerk (durch Öffnen von Verbindungen, s. Abb. 87) und am offenen Ende der Druckleitung im Endschacht (Abb. 89) sowie über eine Revisionsöffnung am Hochpunkt der Leitung nach ca. 1/3 der Strecke (Abb. 88). Laut Lageplan wurde die Leitung mit ca. 0,4 % und 4 % steigend bis zum Hochpunkt verlegt und verläuft danach mit Gefälle von ca. 4 % und 0,8 % bis zum Übergabeschacht.

Im ersten Arbeitsschritt wurde eine Rückstauklappe in der Pumpstation entfernt, um den Leitungsabschnitt bis zum Hochpunkt in Richtung Pumpstation zu entleeren. Das Wasser wurde von einem Saugfahrzeug aufgenommen (vgl. Abb. 87). Für die anschließende Inspektion wurde eine Flanschverbindung in der Pumpstation geöffnet (s. Abb. 87). Bei einem ersten Inspektionsversuch wurde die Lindauer Schere mit einem 1“-Schlauch kombiniert, der sich als zu unflexibel erwies, sodass ein unmittelbar am Pumpwerk anstehender 90°-Bogen nicht überwunden werden konnte. Für einen zweiten Versuch wurde daher ein ¾“-Schlauch eingesetzt, mit dem die Kamera rund 110 m bis zum vollständigen Abrollen des Kamerakabels eingespült werden konnte. Durch Restwasser mit Fettbestandteilen, das sich in Unterbögen der Leitung befand, wurde die Bildqualität beim Vortrieb der Kamera deutlich beeinträchtigt. Die Bildqualität war beim Rückzug der Kamera deutlich besser, da durch den Spülvortrieb der Kamera nun saubereres Wasser in den Unterbögen stand. Der Verlauf der Leitung wurde während der Inspektion mittels ASYS aufgezeichnet.

Um weitere Teile der Leitung erfassen zu können, wurde die Kamera zusätzlich über die Revisionsöffnung am Hochpunkt und über das offene Ende der Leitung eingesetzt (vgl. Abb. 88 und Abb. 89). Die Kamera konnte von beiden Punkten aus bis zum Abrollen des Kamerakabels eingefahren werden, sodass die Leitung fast vollständig befahren wurde, allerdings wurde die Inspektion durch Wasser in offensichtlichen Unterbögen der Leitung beeinträchtigt. Die Lageerfassung bei diesen zwei weiteren Befahrungen funktionierte aufgrund eines Softwareproblems nicht.

In den inspizierbaren Bereichen wies die Leitung folgende Auffälligkeiten auf: Unterbögen, Versätze und verfestigte Ablagerungen an Rohrverbindungen sowie Blasenbildungen des Asbestzements bzw. der Beschichtung an der Rohroberfläche.

Insgesamt dauerte die Maßnahme rund einen Arbeitstag (ca. sieben Stunden).

Fazit:

Auch bei dieser Leitung zeigte sich, dass bei einer optischen Innen-Inspektion – unabhängig von der Inspektionstechnik – bei vielen Druckleitungen mit erhöhtem Aufwand für die Entleerung zu rechnen ist. Bei längeren Leitungsstücken mit Unterbögen oder planmäßigen Tiefpunkten muss das Wasser zunächst aufwendig entfernt werden. Je nach Höhendifferenz, Leitungslänge und entsprechenden Anschlussmöglichkeiten kann dies evt. durch ein Saugfahrzeug bzw. einer Vakuumpumpe umgesetzt werden. Für die eingespülte Kamera zeigte

sich, dass die Dicke und Flexibilität des Schlauches für die Bogengängigkeit entscheidend sind und ein Zielkonflikt zwischen Bogengängigkeit und Spülkraft entstehen kann.



Abb. 87: Entleeren der Leitung: Saugschlauch in Pumpenkessel (li), Lindauer Schere mit 3/4"-Spülschlauch (mi), Einsetzen der Kamera über geöffnete Flanschverbindung (re)



Abb. 88: Revisionsöffnung am Hochpunkt (li und mi), Inspektionsfahrzeug an Revisionsöffnung (re)



Abb. 89: Inspektionsfahrzeug am Endschacht (li), Führungsrolle im Schacht (mi), Blick Richtung Hochpunkt auf der Brücke (re)

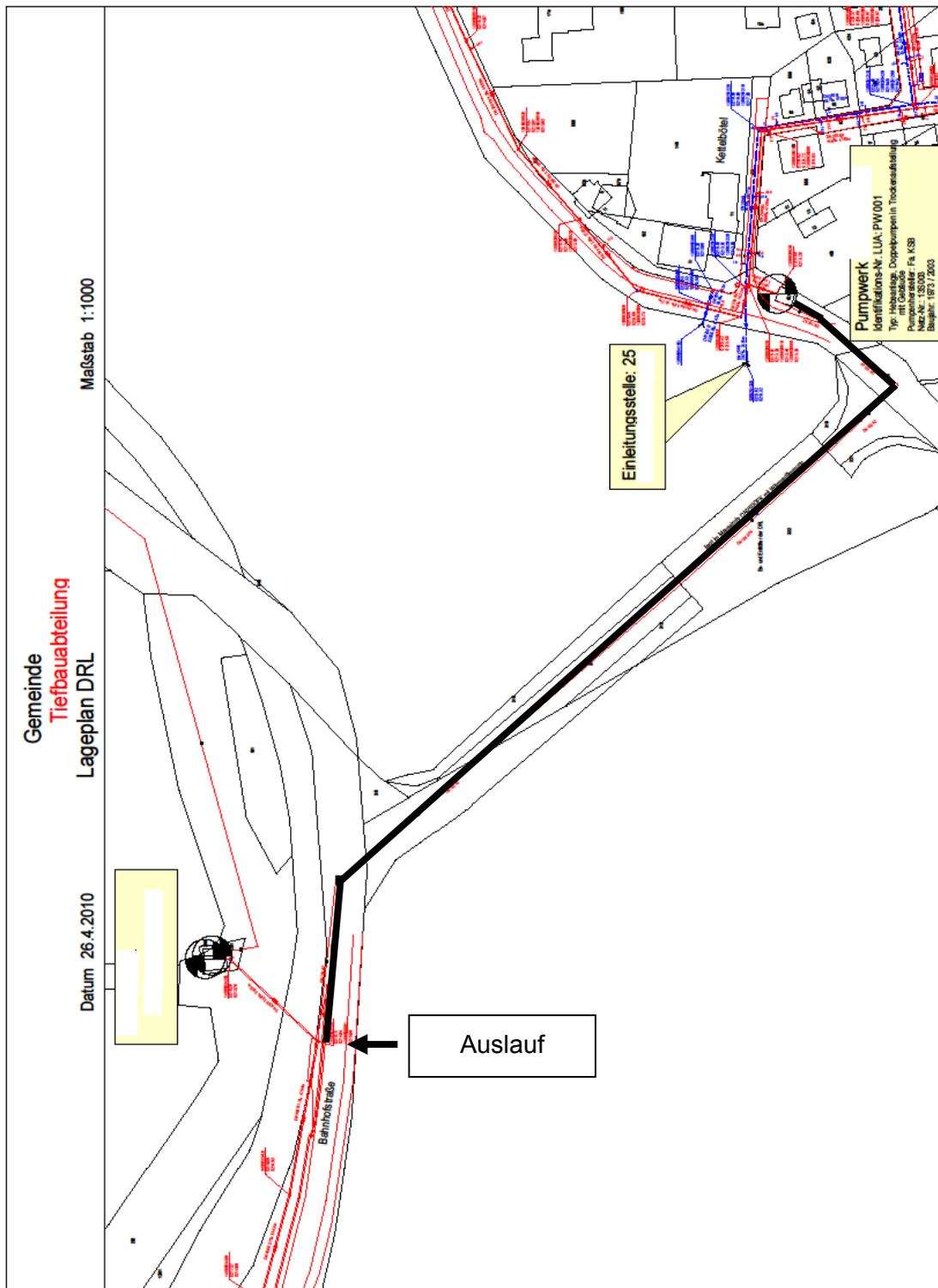


Abb. 90: Lageplan Druckleitung Asbestzement DN 150, Länge ca. 325 m, Gemeinde Möhnesee

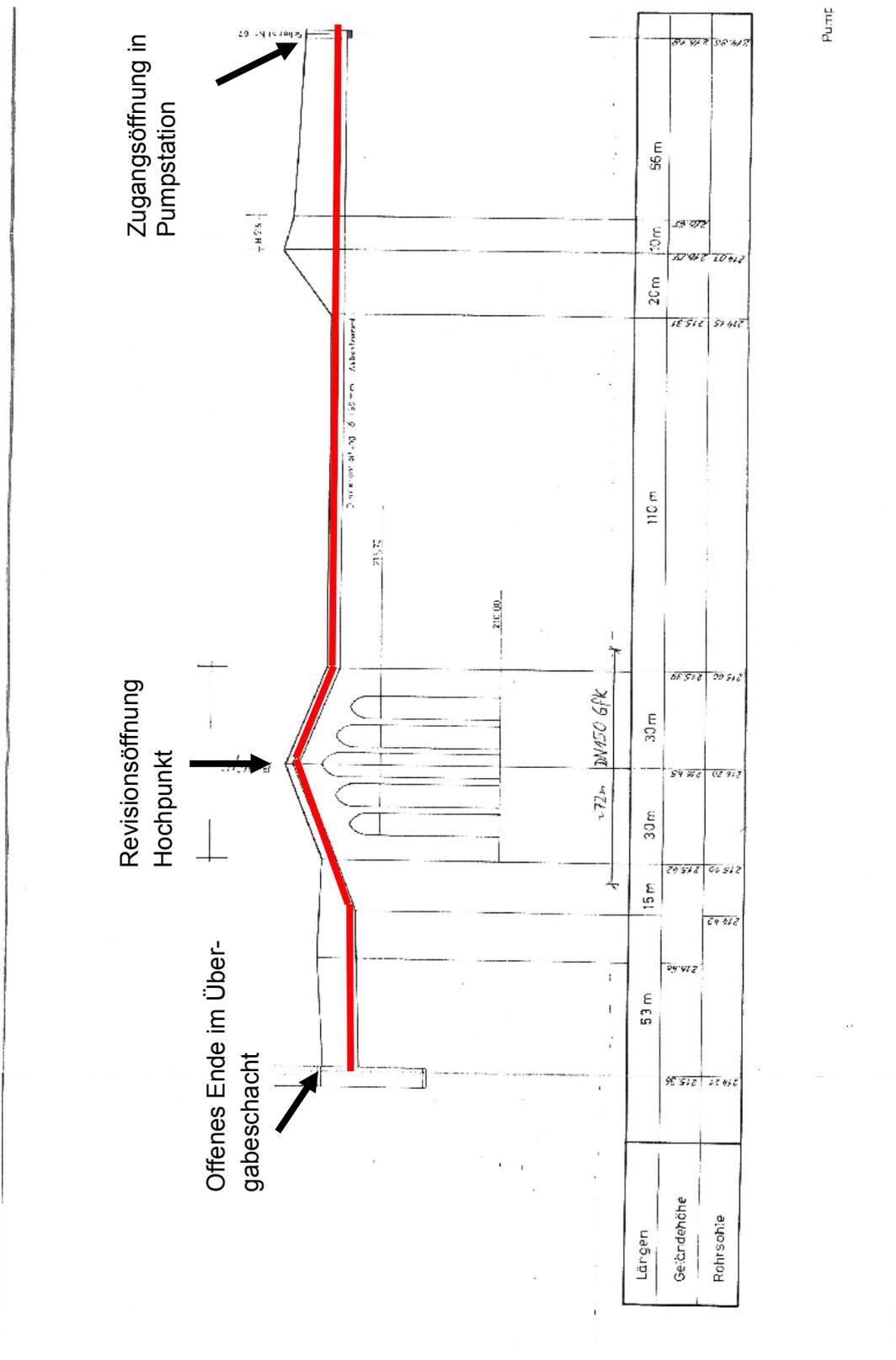


Abb. 91: Längsschnitt Druckleitung Asbestzement DN 150, Länge ca. 325 m, Gemeinde Möhnesee

6.4.3 Testleitung PVC DN 125

Die PVC-Leitung DN 125 der Gemeinde Möhnesee fördert das Abwasser eines Campingplatzes ca. 2 km entlang des Möhneseeufers zur Freispiegelkanalisation. Die Leitung verläuft entlang einer Landstraße und enthält entsprechende Richtungsänderungen (vgl. Abb. 95). Laut Längsschnitt enthält die Leitung einen Hoch- und einen Tiefpunkt (vgl. Abb. 96).

Insgesamt sind drei Schächte an der Leitung vorhanden: Ein Entleerungsschacht auf dem Campingplatzgelände (mit T-Stück und Schiebern) am Anfang der Druckleitung, ein seitlich an den Hochpunkt angeschlossener Schacht auf ca. der Hälfte der Strecke und ein seitlicher Entleerungsschacht am Tiefpunkt ca. 50 m vor Ende der Druckleitung (s. Abb. 92). Die seitlich angeschlossenen Schächte können nicht als Zugangsöffnungen für Inspektionskameras genutzt werden. Als Inspektionsöffnung wurde daher das offene Ende der Druckleitung im Übergabeschacht (s. Abb. 93) zur Freispiegelkanalisation gewählt mit der Zielstellung, die Leitung von diesem Punkt aus möglichst weit zu befahren.

Die Leitung wurde im Vorfeld der Inspektion außer Betrieb genommen und über den Entleerungsschacht am Tiefpunkt entleert (s. Abb. 92), indem das Abwasser in den Schacht eingelassen und von dort aus mit einem Saugfahrzeug abtransportiert wurde.

Die Dreh-Schwenkkopfkamera wurde bei dieser Leitung in Kombination mit einem ½“-Spülschlauch eingesetzt (s. Abb. 94). Ein erster Inspektionsversuch wurde nach ca. 110 m abgebrochen, da sich noch Wasser in der Leitung befand, und die Leitung weiter entleert. Beim zweiten Versuch im nun vollständig entleerten Leitungsabschnitt konnte die Kamera nur ca. 40 m eingespült werden. Aufgrund der unterschiedlichen Reichweiten wurde angenommen, dass bei Versuch I geringere Reibungskräfte aufgetreten waren, da der Spülschlauch im Wasser unter Auftrieb steht. Daher wurde die Leitung für einen dritten Inspektionsversuch über das offene Ende mit Frischwasser befüllt und die Kamera erneut eingesetzt. In der gefüllten Leitung konnte anschließend eine Reichweite von 170 m erzielt werden. Die Leitung wurde erneut entleert, während sich die Kamera in der Leitung befand.

Nach der Entleerung wurde die eigentliche TV-Inspektion beim Rückzug der Kamera vorgenommen. Um die Reibungskräfte des Spülschlauches zu vermindern, wurde die Kamera über die ersten 120 m unter leichtem Spülbetrieb zurückgezogen, was allerdings die Bildqualität einschränkte (Nebelbildung, Wassertropfen). Die Bildqualität verbesserte sich deutlich, als die Kamera auf den letzten 50 m ohne Betätigung der Spüldüse zurückgezogen wurde.

Insgesamt wurden bei der Inspektion neun Bögen auf den rund 170 Metern Leitung erfasst. Drei der Bögen zwischen 30° und 45° befinden sich nahe des Druckleitungsendes, sodass direkt am Anfang der Inspektionsstrecke große Reibungsverluste entstehen. Weitere Auffälligkeiten wurden nicht festgestellt.

Die Inspektion der 170 m Leitung inklusive der Vorarbeiten zur Entleerung dauerte einen Tag (sieben Stunden).

Fazit:

Der Testeinsatz zeigte, dass bei kleinen Leitungsdurchmessern das Einspülen einer Kamera grundsätzlich möglich ist, jedoch werden die Reichweiten des Systems durch die Reibung des Spülschlauchs an der Rohrwand begrenzt, insbesondere bei Bögen in einer entleerten Leitung. Wurde die Kamera bei gefüllter Leitung eingespült, konnte eine höhere Reichweite erzielt werden, allerdings war beim Rückzug der Kamera (nach Entleeren der Leitung) ein leichter Spülbetrieb notwendig, der die Reibung des Schlauches an der Rohrwand verminderte, gleichzeitig aber auch die Bildqualität beeinträchtigte.



Abb. 92: Saugfahrzeug am Entleerungsschacht (li) und Entleerungsschacht (re)



Abb. 93: Übergabeschacht am Druckleitungsende (li) und mit Kamera (re)

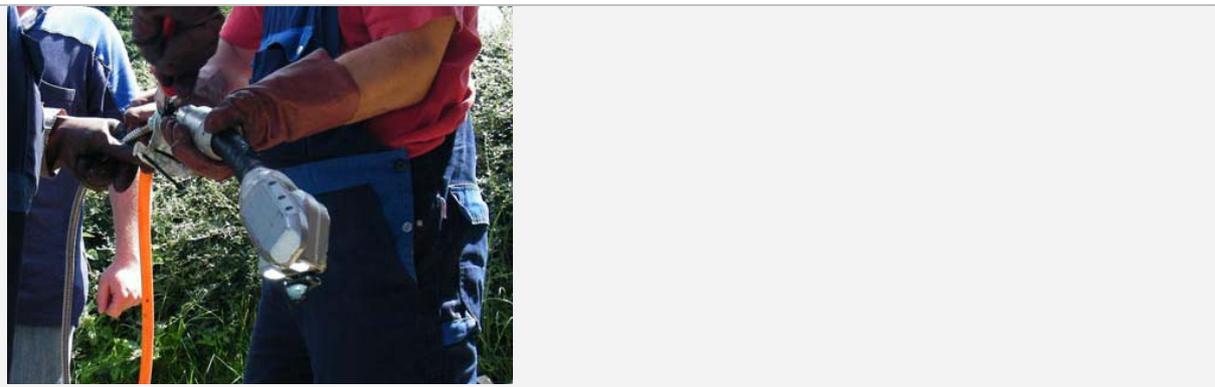


Abb. 94: Dreh-Schwenkkopfkamera (Lindauer Schere) mit 1/2"-Spülschlauch

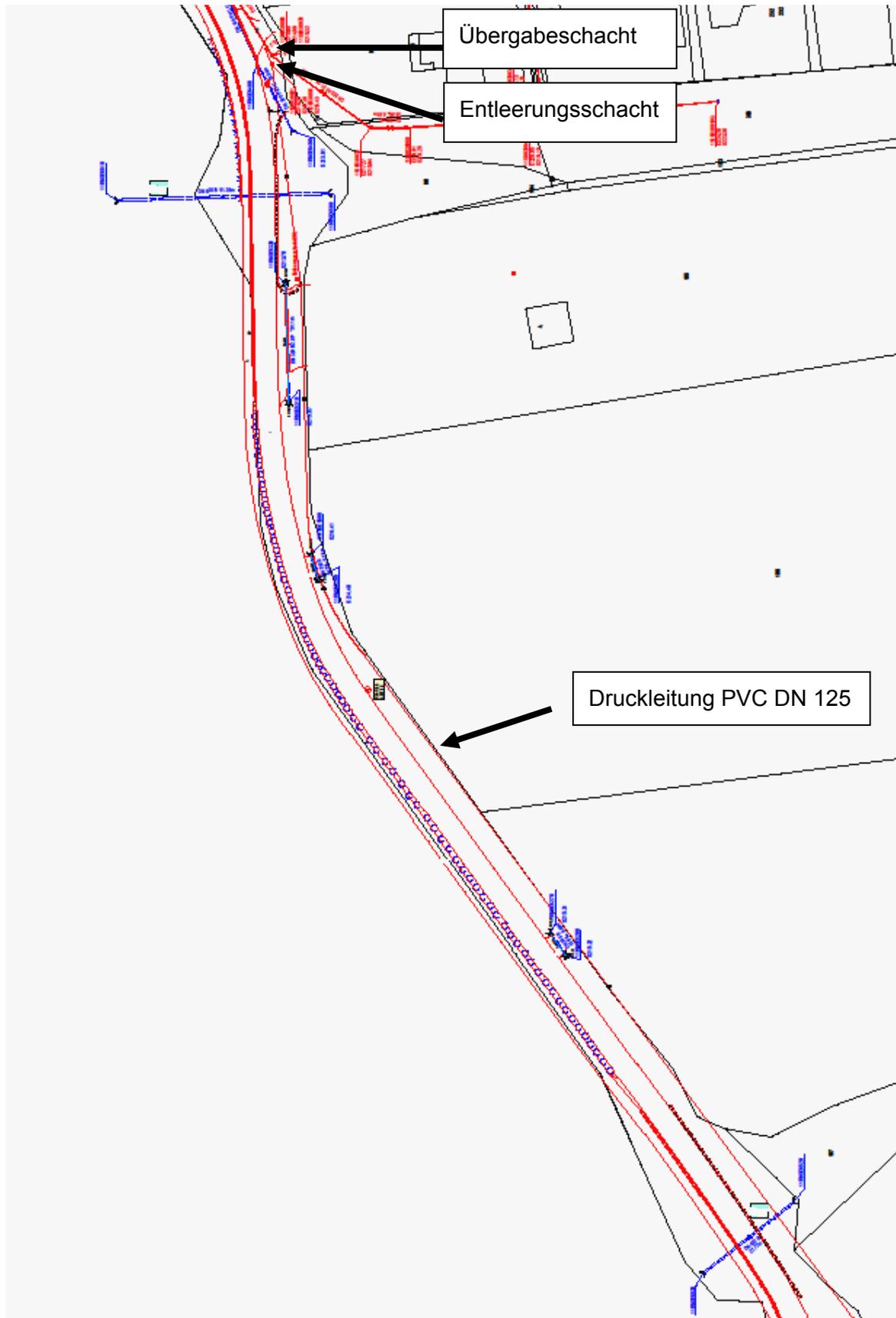


Abb. 95: Lageplan Druckleitung DN 125 PVC, Länge ca. 2 km

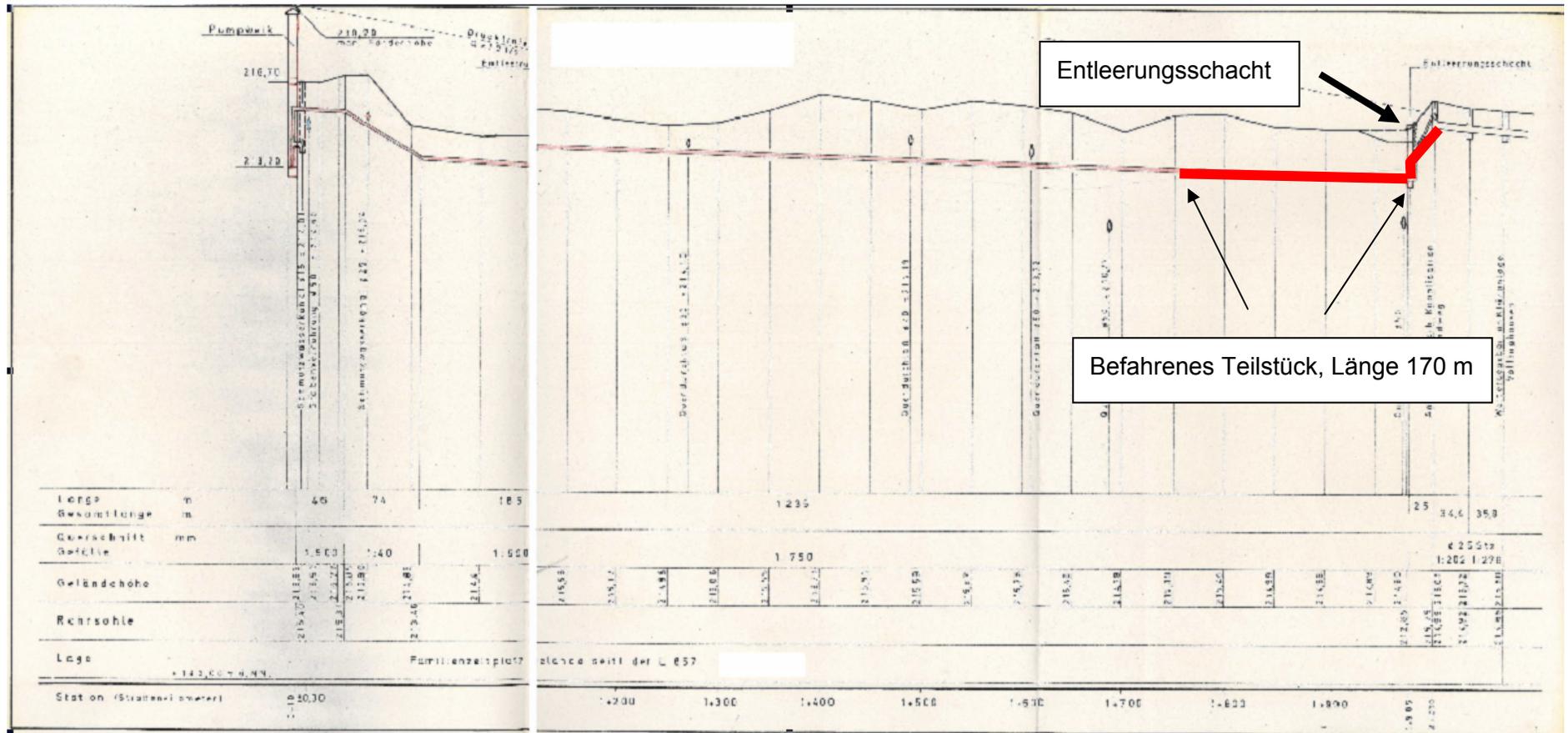


Abb. 96: Höhenprofil Druckleitung DN 125 PVC, Länge ca. 2 km, Gemeinde Möhnesee

6.5 Innenradar

6.5.1 Testleitung Asbestzement DN 500

Als Teststrecke für das Innenradar konnte eine außer Betrieb befindliche Asbestzement-Druckleitung DN 500 der Stadtentwässerung Kiel genutzt werden. Die Leitung wurde vor rund 40 Jahren gebaut und nach kurzer Nutzungsdauer aufgrund einer Überdimensionierung außer Betrieb genommen. Heute steht sie als Ersatzleitung für eventuelle Betriebsstörungen der neu verlegten Druckleitung zur Verfügung. Für die Inspektion wurde ein rund 200 m langes Teilstück gewählt, das nach Aussagen des Betreibers während der gesamten Standzeit der Leitung mit Wasser gefüllt gewesen ist.

Ziel der Inspektion war es zum einen, den Anteil der noch intakten Rohrwand bezogen auf die Ausgangswandstärke zu ermitteln, zum anderen wurde das Verfahren exemplarisch eingesetzt, um auf Lagerungsdefekte in der Rohrbettung zu schließen. Eingesetzt wurde eine Technik der Fa. M.J. Oomen Radartechnik B.V. (Moerdijk, Niederlande), die Auswertung wurde vom Büro für angewandte Geophysik und Probennahmetechnik edm (Sandstedt) übernommen. Das Innenradar zur Untersuchung von Bettung und Rohrwand kann bei den meisten nichtmetallischen Leitungen, wie beispielsweise Beton, Stahlbeton, Steinzeug, Asbestzement, GFK und PVC eingesetzt werden. Die Messung in PE-HD-Rohren ist nach Angaben des Herstellers nur sehr eingeschränkt möglich.

Im Vorfeld der Inspektionsmaßnahmen wurde die Leitung zunächst geöffnet und mit Hilfe eines Saugfahrzeugs entleert. Für die Radarbefahrung wurden eine Radarantenne (s. Abb. 125) und eine Fahrwagenkamera¹³ kombiniert und über das offene Ende der Druckleitung eingefahren (vgl. Abb. 97), sodass die optische Inspektion und die Radarmessung gleichzeitig stattfanden. Im Unterschied zu einer reinen optischen Inspektion wurde die Leitung fünf Mal befahren, um mit dem Radar auf verschiedenen Positionen in Sohle, Kämpfen und Scheitel zu messen (12.00 – 9.00 – 3.00 – 5.00 – 7.00 Uhr). Für den Sohlbereich wurde aufgrund von Restwasser, das Radar-Signale abschirmen kann, auf die Positionen 5.00 Uhr und 7.00 Uhr ausgewichen. Die Reichweite der Kamera mit der Antenne betrug bis zu 180 m, wobei geringfügige Ablagerungen in der Sohle die Reichweite des Kamerafahrwagens einschränkten. Die Frequenzbereiche der Antennen werden abhängig vom Untersuchungsziel gewählt. Für diesen Anwendungsfall wurden eine 1,6 GHz-Antenne für die Messung der Restwandstärke und eine 800 MHz-Antenne für die Messung von Lagerungsdefekten eingesetzt.

Laut Anbieter werden Leitungen üblicherweise nicht über die gesamte Länge mittels Radar untersucht, sondern es wird während der optischen Inspektion nur bei auffälligen oder exponierten Stellen für Korrosion, z.B. bei Hochpunkten, hinzugeschaltet. So kann der Aufwand für die anschließende Auswertung begrenzt werden. Die während der Inspektion angezeigten Radargramme können dem Inspekteur lt. Anbieter bereits Hinweise auf Auffälligkeiten zeigen, die detaillierte Auswertung wird im Büro vorgenommen.

¹³ Hier Fahrwagenkamera der Fa. RICO GmbH, Kempten

Bei der Testleitung wurden während der Inspektion geringfügige Auffälligkeiten auf dem Radar gesichtet, die laut Inspekteur im Zusammenhang mit einer Schadstelle/Leckage und leichten Lagerungsdefekten stehen können. Rein optisch wies die Leitung bis auf einen Muffenspalt keine Auffälligkeiten auf.

Die spätere Auswertung der Daten ergab einen guten Zustand der Rohrwand. Auf Basis einer geschätzten Ausgangswandstärke von 20 mm wurden Wandstärken im Bereich von 10 mm bis 17 mm ermittelt (s. Anhang 1, vgl. Abb. 99). Die Auffälligkeiten, die im Rahmen der Inspektion aufgenommen wurden, werden als Bohrkernentnahmen gedeutet. In diesem Bereich wurde eine geringere Lagerungsdichte der Rohrbettung ermittelt (s. Anhang 1). Für eine Verifizierung der Daten wird vom Anbieter eine Probennahme mit Wandstärkenermittlung empfohlen, um ggf. eine anschließende Korrektur der Daten vornehmen zu können.

Der Zeitaufwand für die Radarmessung der Rohrwand über rund 150 m Leitungslänge und Messung der Bettung über ca. 40 m mit Baustelleneinrichtung und Verkehrssicherung betrug rund sechs Stunden. Zusätzlich entstand Aufwand für das Öffnen und Entleeren der Leitung.

Fazit:

Hinsichtlich der Handhabbarkeit zeigte der Testeinsatz, dass die Befahrung einer Leitung mittels Innenradar grundsätzlich dort möglich ist, wo eine herkömmliche Fahrwagenkamera eingesetzt werden kann (ab DN 200 lt. Anbieter). Die Reichweite der Messtechnik wird durch die Reichweite der eingesetzten Fahrwagenkamera begrenzt, wobei diese durch Gewicht und Platzbedarf der Radarantenne vermindert wird. Voraussetzung für die Befahrung ist, dass die Leitung möglichst vollständig entleert und gereinigt ist.



Abb. 97: Kamera bei Einsatz in Schacht (li) und Baustellensituation (re)



Abb. 98: Radarantenne (li) und Fahrwagen mit Radarantenne (re)

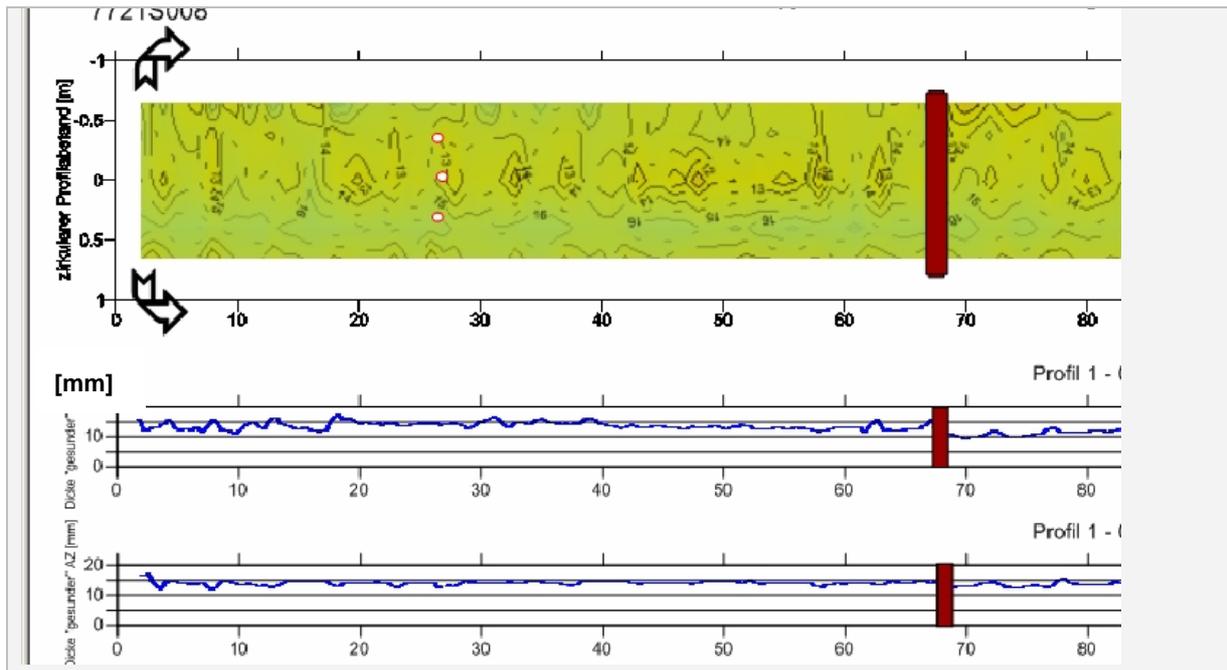


Abb. 99: Ausschnitt der Darstellung zur ermittelten Schichtmächtigkeit des intakten Asbestzements (siehe Anhang 1)

6.5.2 Testleitung Guss DN 500

Bei Guss- und Stahlleitungen ist eine Untersuchung von Rohrwand und Bettung mittels Kanalradar nicht möglich, es kann jedoch nach Angaben des Herstellers zur Bestimmung der Restdicke einer Zementmörtelauskleidung verwendet werden. Für einen exemplarischen Einsatz des Innenradars der Fa. M.J. Oomen Radartechnik B.V. (Moerdijk, Niederlande) wurde von der Stadtentwässerung Kiel ein Teilstück einer außer Betrieb befindlichen Gussleitung DN 500 zur Verfügung gestellt.

Entsprechend der in Abschnitt 6.5.1 beschriebenen Vorgehensweise wurde die Radarantenne mit einer Fahrwagenkamera¹⁴ kombiniert und über eine Revisionsöffnung in die Leitung eingesetzt (s. Abb. 101). Um die Radarantenne im Rohr ausreichen zu können, wurde ein Aufsatzmodul für den Fahrwagen mit einer Art Hubvorrichtung verwendet (vgl. Abb. 100).

Für eine exemplarische Messung wurden sechs Meter Leitungslänge befahren. Der Aufwand für Auf- und Abbau sowie Messung betrug ca. zwei Stunden. Die Auswertung der Messdaten erfolgt wie bei der Bestimmung der Restwandstärke und von Lagerungsdefekten (vgl. Abschnitt 6.5.1) im Nachgang der Inspektion mit spezieller Software. In diesem Fall wurde eine Schichtdicke der Zementmörtelauskleidung zwischen 8,8 mm und 11,4 mm ermittelt (vgl. Abb. 102). Zur Verifizierung der Daten wird seitens des Anbieters eine Probennahme empfohlen.

Fazit:

Wie auch bei der Messung von Restwandstärken oder Lagerungsdefekten an nichtmetallischen Leitungen (vgl. Abschnitt 6.5.1) ist bei dieser Art der Messung eine entleerte und befahrbare Leitung grundlegende Einsatzvoraussetzung. Wie sich zeigte, ist die Messtechnik nur eingeschränkt bogengängig, wie sich an einem nicht passierbaren Bogenformstück zeigte.



Abb. 100: Kamera mit Radarantenne in unterschiedlichen Positionen

¹⁴ Hier Fahrwagenkamera der Fa. RICO GmbH, Kempten



Abb. 101: Schacht mit TV Fahrzeug (li) und Kamera in geöffneter Druckleitung (re)

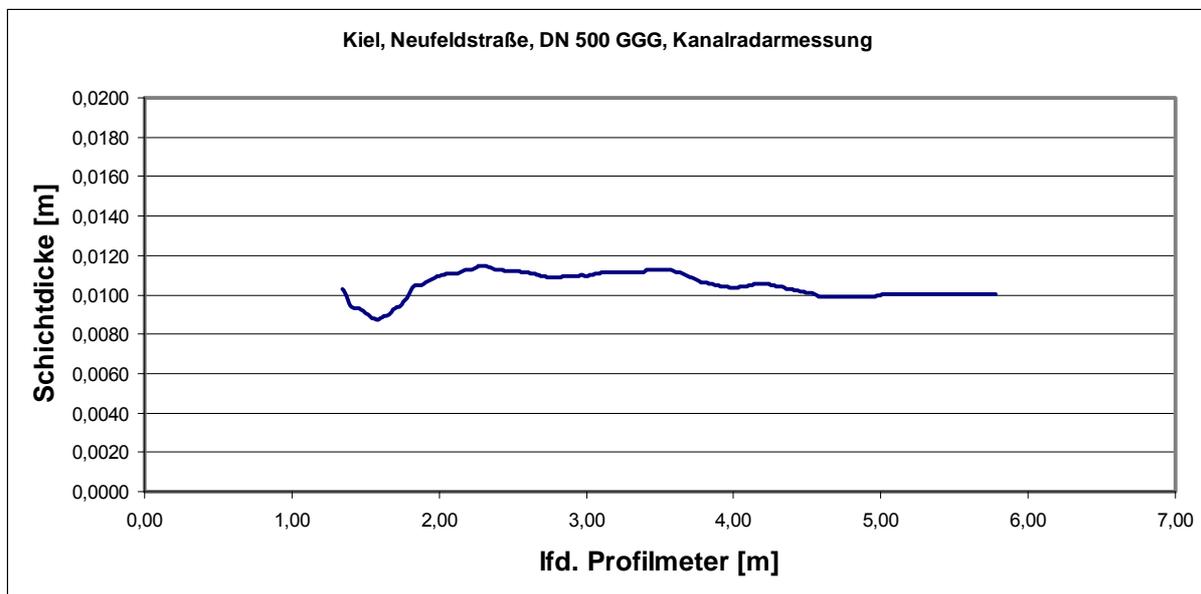


Abb. 102: Auswertungsgrafik zur Reststärke der Zementauskleidung

6.6 Georadar

6.6.1 Testleitung Asbestzement DN 300

Der Zweckverband Ostholstein betreibt zwei größtenteils parallel verlegte, rund 3 km lange Abwasserdruckleitungen aus Asbestzementrohren DN 300, die sowohl am Strand zwischen Scharbeutz und Timmendorf verlaufen, als auch durch das Stadtgebiet von Timmendorf führen. In der Hochsaison werden beide Leitungen betrieben und in der Nebensaison wird das Abwasser im Wechsel durch die Leitungen gefördert. Die Leitungen wurden in den Jahren 1960 und 1977 verlegt. Um das Risiko von Schadensfällen und Betriebsstörungen zu minimieren, soll im ersten Schritt die ältere Leitung erneuert bzw. saniert werden. Schwierigkeiten für eine Ausschreibung und die spätere Baumaßnahme bestehen darin, dass der exakte Verlauf der Leitungen nicht bekannt ist und sich zudem die Trassen der Leitungen mehrfach kreuzen. Darüber hinaus ist in Teilbereichen ebenfalls eine Trinkwasserleitung aus Asbestzementrohren DN 300 verlegt worden. Da eine Sanierung der im Jahr 1960 verlegten Leitung mit einem Inliner bzw. eine Erneuerung mittels Closefit-Verfahren geplant ist, soll die Lage der Leitung zur späteren Erstellung von Kopflöchern ermittelt werden.

An der Leitung wurden im Rahmen des Projektes zwei unterschiedliche Georadar-Techniken an ausgewählten Stellen eingesetzt. Zusätzlich ist eine Ortung mittels Schaumstoffmolch und Ortungssender in Vorbereitung, die aufgrund notwendiger baulicher Änderungen an der Leitung, die erst in der Nebensaison begonnen werden können, erst nach Abschluss der Phase I dieses Projektes durchgeführt wird.

Beim ersten Testeinsatz wurde durch die DMT GmbH (Hamburg) eine Radarantenne mit einer Frequenz von 270 MHz und einer Eindringtiefe von ca. 2,50 m verwendet (Funktionsweise siehe Abschnitt 4.2.2.4). Für den Testeinsatz wurden drei Messstellen mit unterschiedlichen Randbedingungen hinsichtlich der Überdeckung ausgewählt. Die erste Messstelle liegt auf einer Grünfläche einer Parkanlage. In diesem Bereich sind nach Planunterlagen zwei Abwasser- und eine Trinkwasserleitung aus Asbestzement verlegt worden. Die zweite Messstelle liegt im Bereich einer Straße und die dritte Stelle im Dünenbereich am Strand (vgl. Abb. 103 bis Abb. 106).

Zur Ortung der Leitung wurde die Radarantenne in Bahnen quer zur vermuteten Leitungstrasse über den Boden gerollt. Auf Leitungen weisen laut Anbieter Hyperbelartige Strukturen im Radargramm hin, die sich nach unten hin fortpflanzen. An der Messstelle 1 wurde im Abgleich mit den Planangaben des Zweckverbands Ostholstein eine wahrscheinliche Leitungsposition detektiert (vgl. Abb. 103). Messungen im Bereich der Straße (Messstelle 2) deuteten darauf hin, dass innerhalb der Straße ein überdeckter Schacht von einer nicht mehr in Betrieb befindlichen Anschlussdruckleitung liegt (vgl. Abb. 104). Auch an der dritten Messstelle im Strandbereich waren Messungen möglich, trotz zuvor bestehender Bedenken seitens des Anbieters, hier könnten einer hoher Salz- und Feuchtigkeitsgehalt des Untergrunds die Radarwellen abschirmen. Abb. 105 zeigt die detektierte, vermutliche Druckleitungsposition und Abb. 106 zeigt die angenommene Position eines Schachtes, der wahrscheinlich beim Bau des Radweges überdeckt wurde.

Als Ergebnis der späteren Datenauswertung im Büro wurden Tiefenlagen zu den detektierten Leitungspositionen, die im Rahmen der Messungen mit Farbe etc. markiert wurden, ermittelt. Diese lagen zwischen 1,65 m und 1,75 m.

Fazit:

Zur Interpretation von Radargrammen ist viel Erfahrung des Anwenders notwendig, um Fehlinterpretationen zu vermeiden. Wie der Testeinsatz zeigte, scheint eine Detektion und insbesondere die Zuordnung nahe zusammen liegender Leitungen grundsätzlich nur möglich, wenn die Leitungstrassen anhand von Planangaben und/oder Fixpunkten, wie z.B. Hydranten und Schächten, abgeschätzt werden können. Eine Leitungsortung über längere Strecken ist mit diesem Verfahren sehr aufwendig, da zahlreiche Bahnen quer zur Leitungstrasse gesannt und parallel ausgewertet werden müssen. Das hier eingesetzte System ließ sich aufgrund kleiner Abmessungen flexibel in begehbaren Bereichen einsetzen.

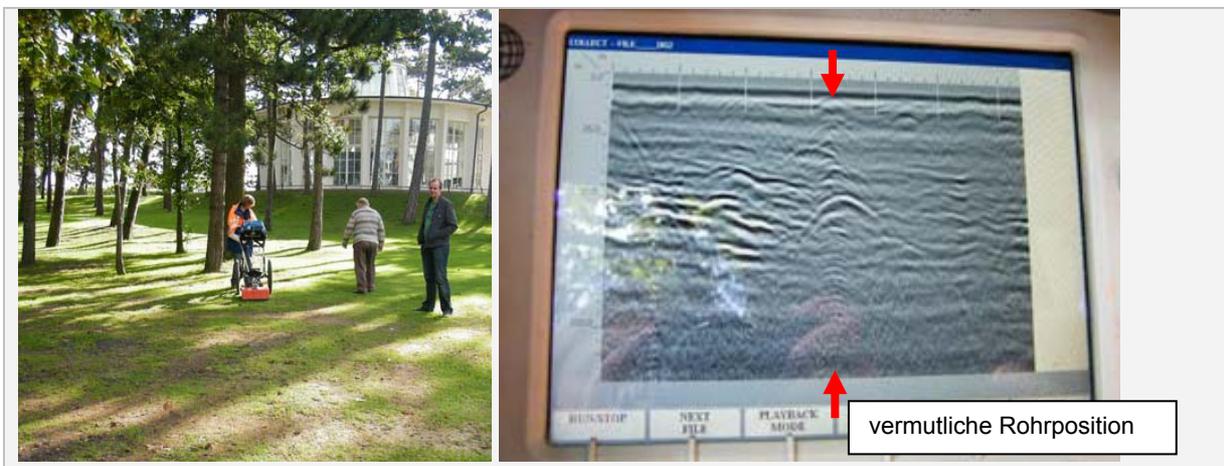


Abb. 103: Messstelle 1: Vermutliche Rohrposition (li) und zugehöriges Radargramm (re)

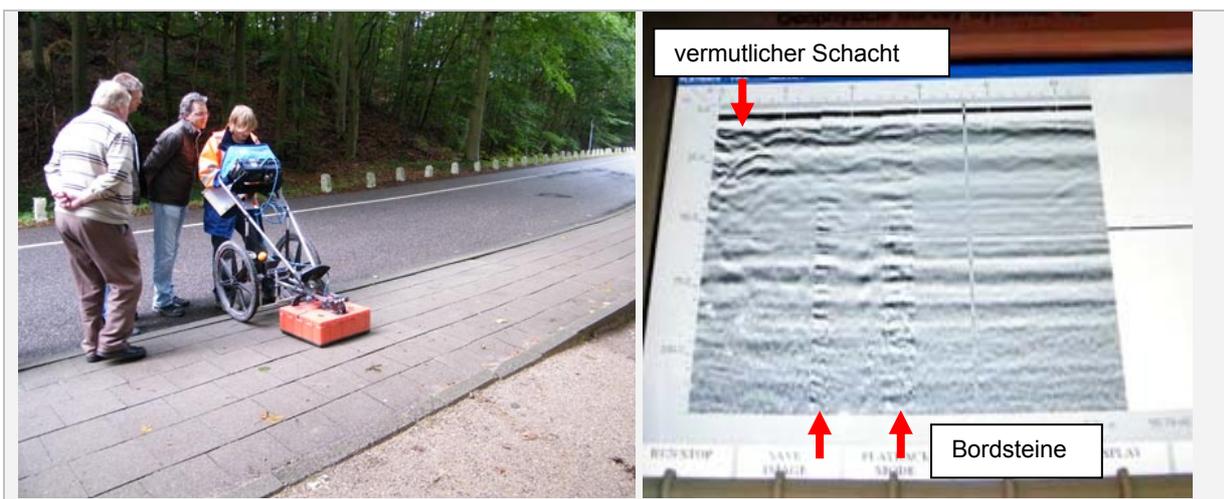


Abb. 104: Messstelle 2: Radarantenne bei Befahrung (li) und zugehöriges Radargramm (re)



Abb. 105: Messstelle 3-1: Vermutliche Rohrposition (li) und zugehöriges Radargramm (re)

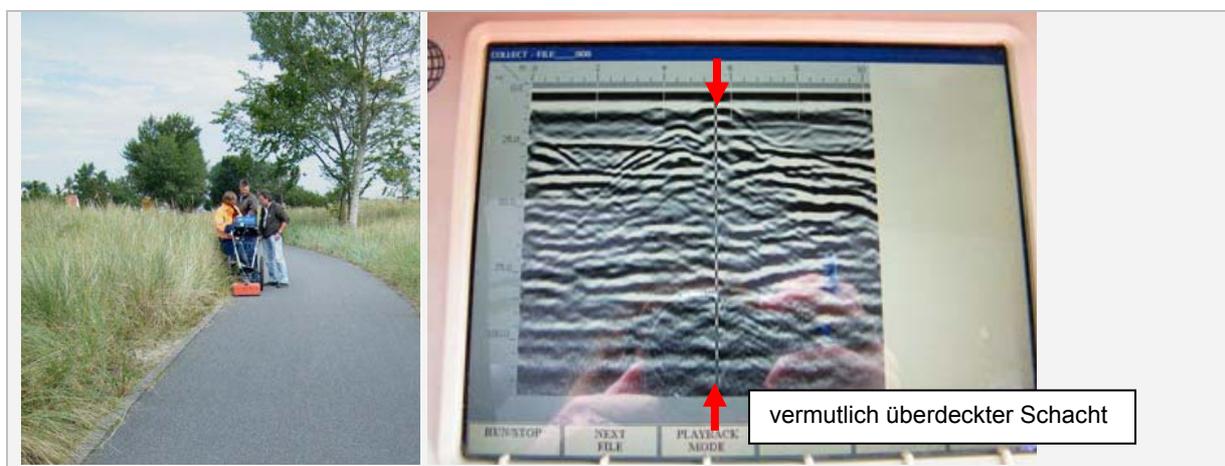


Abb. 106: Messstelle 3-2: Position eines vermutlich überdeckten Schachtes (li) und zugehöriges Radargramm (re)

6.6.2 Testleitung Asbestzement DN 300 (zweiter Einsatz)

Beim Zweckverband Ostholstein wurde an derselben Testleitung, die im Abschnitt 6.6.1 beschrieben ist, eine zweite Georadar-Technik eingesetzt. Beim System „Detectino“ der Detectino GmbH (Hildesheim) wird zeitgleich mit fünf Radarantennen in Kombination mit elektromagnetischen Sensoren und einer Verortung gemessen (vgl. Abschnitt 4.2.2.4). Mit dem System werden laut Anbieter Radargramme in Messspurabständen von < 10 cm erzeugt, die bei der anschließenden Auswertung mit einer speziellen Software verschnitten werden. Mit der Software wird nach Herstellerangaben nach linienartigen Strukturen im Untergrund gesucht, um bei der Interpretation der gemessenen Reflexionen Leitungen besser von Hohlräumen unterscheiden zu können.

Das Gerät wurde wie das zuvor verwendete Radar (s. Abschnitt 6.6.1) im Bereich des Parks und des Strands eingesetzt (vgl. Abb. 107 bis Abb. 109). Als dritte Messstelle wurde eine befestigte Fläche der Ostseetherme gewählt, da das Radarfahrzeug die in Abschnitt 6.6.1 dargestellte Straße nicht befahren konnte. Entgegen der Annahmen des Anbieters, Messun-

gen im Bereich des Strands seien aufgrund eines hohen Salz- und Feuchtigkeitsgehalts des Bodens nicht möglich, konnten auch in diesem Bereich Messungen durchgeführt werden.

Das Gerät wurde zur Leitungsortung in Bahnen quer zur vermuteten Leitungstrasse gefahren. Die während der Messung angezeigten Radargramme waren vergleichbar mit den Radargrammen aus Abschnitt 6.6.1. Anhand dieser wählte der Inspekteur die Messspuren aus. Die eigentliche Auswertung der Daten fand im Büro mit spezieller Software statt. Abb. 110 und Abb. 111 zeigen die Ergebnisse der Datenauswertung. Im Bereich des Strands (Messstelle 3) wurden mehrere Leitungen detektiert, darunter auch die zwei parallel verlaufenden Abwasserdruckleitungen, die mit den Planangaben des Zweckverbands Ostholstein übereinstimmen. Im Bereich der Ostseetherme (Messstelle 2) enthält die Auswertung zahlreiche, in unterschiedliche Richtungen verlaufende Leitungen (vgl. Abb. 111). Inwieweit diese mit den tatsächlichen baulichen Randbedingungen übereinstimmen, ist noch zu klären.

Fazit:

Grundsätzliche Voraussetzung für einen Einsatz des Detectino-Radars ist, dass die zu untersuchenden Bereiche mit dem Messfahrzeug befahren werden und die Signale zur Verortung empfangen werden können. Wie die Untersuchungen zeigten, ist es grundsätzlich möglich, Leitungen zu detektieren. Allerdings scheint eine Interpretation der Ergebnisse ohne Kenntnisse zum Leitungsbestand schwierig zu sein.



Abb. 107: Messstelle : Grünflächen (li) und Beispielhaftes Radargramm (re)



Abb. 108: Messstelle 2: Befestigte Fläche und Grünfläche im Bereich eines Hotels



Abb. 109: Messstelle 3: Strandbereich

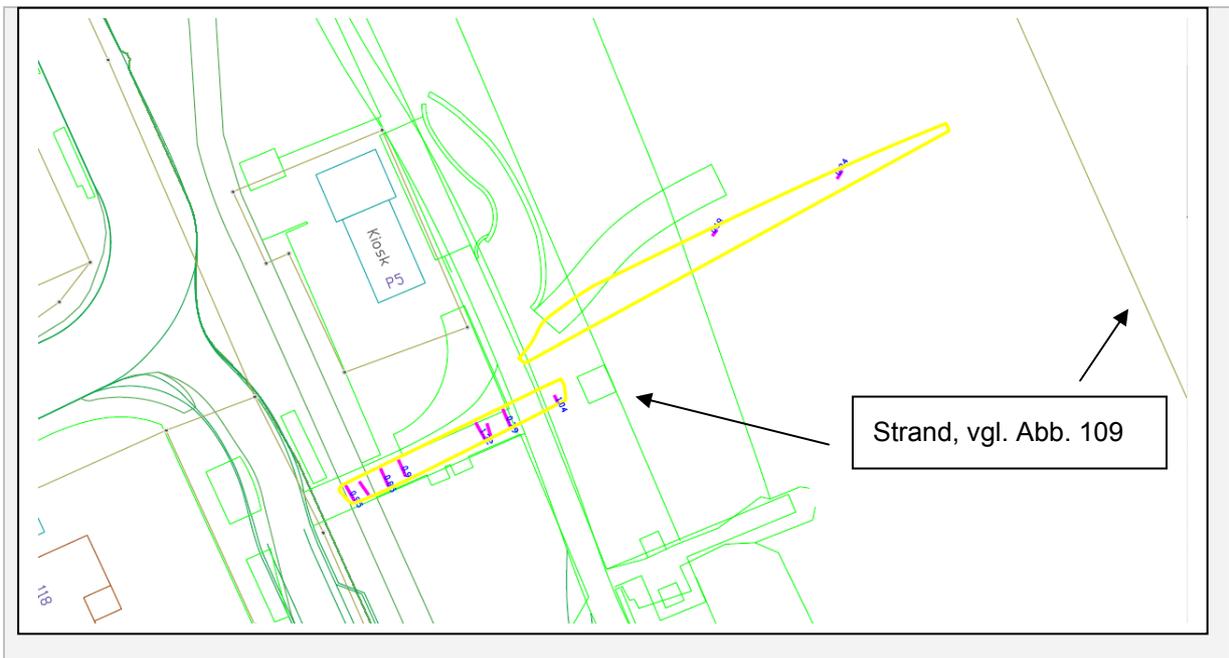


Abb. 110: Ausschnitt Ergebnis, Messposition 3: gelb befahrener Bereich, rot: Leitungen

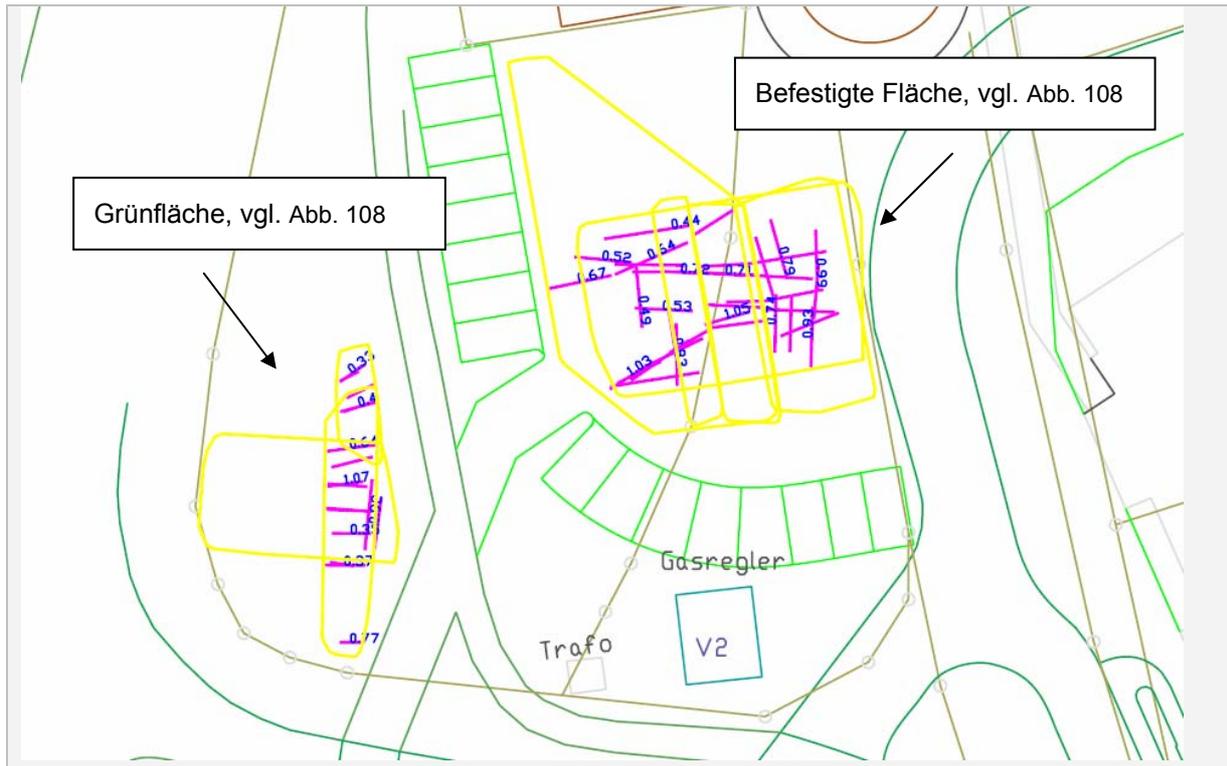


Abb. 111: Ausschnitt Ergebnis, Messposition 2: gelb befahrener Bereich, rot: Leitungen, blau: Tiefenlage

6.7 Wirbelstromscannen

6.7.1 Testleitung Guss DN 300 – Außenanwendung

Testobjekt für das SLOFECTM-Prüfsystem war eine rund 7,5 km lange Abwasserdruckleitung aus Duktiguss DN 300 der Stadt Rietberg. Die Leitung fördert das Abwasser eines Siedlungsgebietes zur Kläranlage Rietberg und wurde vor rund 20 Jahren errichtet.

Im Jahr 2007 wurde die Leitung gemolcht und im Rahmen dieser Reinigungsmaßnahme mit zwei Schachtbauwerken im Abstand von 2,5 km und 4,5 km vom Pumpwerk ausgestattet (vgl. Abb. 112). In den Schächten können durch Ausbau von Passtücken Öffnungen zur Leitung geschaffen werden. Zusätzlich wurden drei Spülvorrichtungen angeordnet (vgl. Abb. 113), sodass zusammen mit den Schächten alle 850 m bis 1.200 m Spülzugänge bestehen.

Die Tiefenlage der Leitung liegt nach Einschätzungen des Betreibers bei ca. 1,5 m unter Geländeoberkante und folgt dem Geländeverlauf. Der exakte Höhenverlauf der Leitung ist nicht bekannt. Da die Leitung keine Be- und Entlüftungsventile enthält, der Betreiber jedoch Hoch- und Tiefpunkte in der Leitung vermutet, sind Lufteinschlüsse in der Leitung wahrscheinlich. Die Leitung enthält zahlreiche Richtungsänderungen zwischen 15° und 90°, wobei nicht bekannt ist, wie die Bögen im Einzelnen ausgeführt wurden.

Interessant für den Betreiber sind der Zustand der Gussrohre und die Position von Lufteinschlüssen, um bei Bedarf Entlüftungsventile nachrüsten zu können.

Um mit vertretbarem Aufwand dennoch eine stichpunktartige Auskunft über den Zustand des Rohrwerkstoffs zu erhalten, wurde die Leitung mit dem SLOFECTM-Verfahren untersucht. SLOFECTM arbeitet lt. Hersteller mit dem Wirbelstrom-Prinzip in Kombination mit einem Magnetfeld [134] und dient dazu, Materialschwächungen, z.B. Korrosionsdefekte, an Ober- und Unterseite eines Objektes zu detektieren. Mit dem Gerät werden sprunghafte Änderungen in der Wandstärke aufgezeichnet, Flächenkorrosion oder langsam einlaufende Korrosion können nicht detektiert werden. Als Ergebnis wird der prozentuale Anteil der noch vorhandenen Wandstärke bezogen auf die Ausgangsstärke ausgegeben. Da mit dem Gerät keine absoluten Wandstärken gemessen werden, wird zur Kalibrierung des Gerätes und zu Kontrollmessungen an auffälligen Stellen zusätzlich ein Ultraschallgerät (s. Abb. 116) zur Wandstärkenmessung eingesetzt. Die Arbeiten wurden von der Firma KontrollTechnik GmbH, Schwarmstedt in Zusammenarbeit mit Applus RTD Inspektionsgesellschaft mbH, Bochum ausgeführt.

Üblicherweise wird das SLOFECTM-Gerät an einer Referenzprobe (Rohrhalbschale mit definierten Fehlstellen gleichen Rohrwerkstoffs, s. Abb. 117) kalibriert. Da zu dieser Duktigussleitung kein Probestück vorliegt, wurde das Gerät mit Hilfe von Ultraschall-Wanddickenmessungen im Muffenbereich der freigelegten Leitung kalibriert.

Anschließend wurde der ca. drei Meter lange freigelegte Rohrabschnitt (s. Abb. 114) längs der Rohrachse mit dem SLOFECTM gescannt (s. Abb. 119), indem das Gerät langsam über die Leitung gefahren wurde. Der Scan lieferte sehr inhomogene Messdaten bzw. Störungen, sodass auf der Baustelle keine Aussage getroffen werden konnte, ob es sich hierbei um Schäden der Leitung handelte oder die Messtechnik nicht auf das Leitungsmaterial abge-

stimmt war. Das Messgerät wurde daraufhin an Trinkwasser-Gussrohrproben, die das IWW Rheinisch Westfälisches Institut für Wasser (Biebesheim) zur Verfügung gestellt hatte, kalibriert. Bei einer wiederholten Messung konnten Daten für eine Auswertung gewonnen werden.

Die Messung mit dem SLOFEC™ ergab laut Bericht im drei Meter langen Prüfabschnitt zwei „Befund-verdächtige Anzeigen“. Bei der Nachprüfung mittels Ultraschallgerät wurde eine Wandstärkenreduzierung von 1 mm im Vergleich zur umliegenden Rohrwand festgestellt. Inhomogenitäten im Material wurden nicht detektiert.



Abb. 112: Revisionschacht



Abb. 113: Spülvorrichtung



Abb. 114: Freilegen des Rohres



Abb. 115: Außenansicht frei gelegter Rohrabschnitt



Abb. 116: Ultraschall-Gerät



Abb. 117: Beispiel einer Referenz-Rohrhalbschale zur Kalibrierung des SLOFEC (hier Stahl)

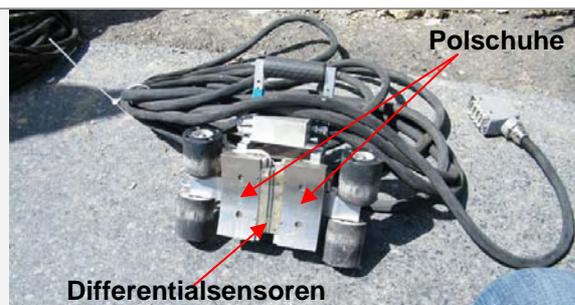


Abb. 118: SLOFEC, Ansicht von unten



Abb. 119: Scanvorgang

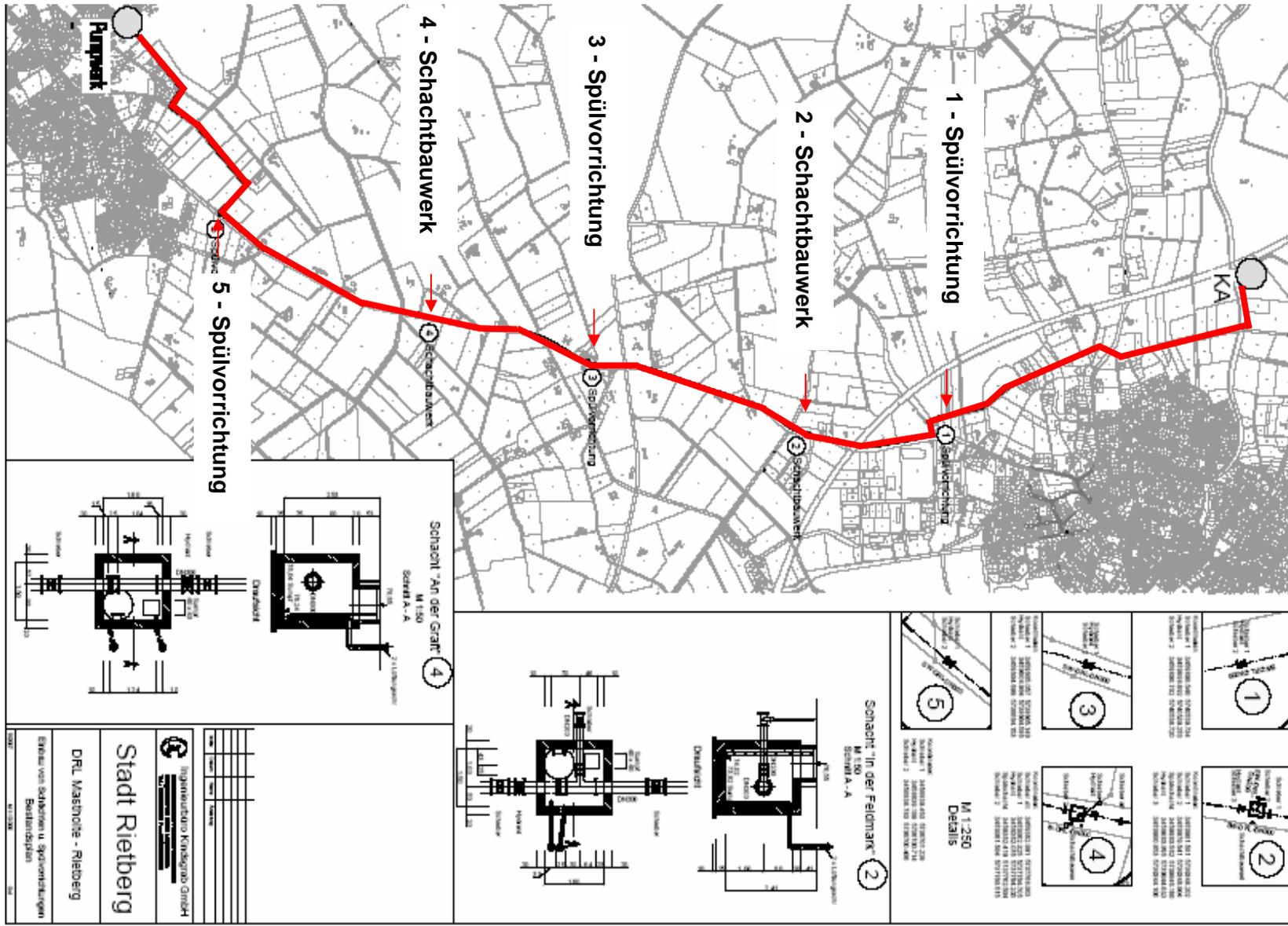


Abb. 120: Lageplan Druckleitung Guss DN 300, Länge 7,5 km, Rietberg

6.7.2 Testleitung Stahl DN 700 – Innenanwendung

Ein Einsatz des elektromagnetischen Prüfsystems SLOFEC™ (Wirbelstromprüfung in Kombination mit Magnetfeld (s. Abschnitt 4.1.2 und 6.7.1) zur Innen-Inspektion von Stahlleitungen konnte an einer Fernwärmeleitung der RheinEnergie AG, Köln begleitet werden. Das Gerät dient dazu, sprunghafte Änderungen in der Wandstärke aufzunehmen, um Korrosion und Inhomogenitäten zu detektieren. Das System wird derzeit nach Herstellerangaben für den Einsatz in Gussleitungen weiterentwickelt und könnte künftig auch für Abwasserdruckleitungen aus Guss interessant sein.

Die SLOFEC™-Messeinheit, entwickelt von der KontrollTechnik GmbH (Schwarmstedt), wurde mit einer Antriebseinheit der Fa. INSPECTOR SYSTEMS GmbH (Rödermark) kombiniert, die den Vortrieb über pneumatisch an die Rohrwand gepresste Räder umsetzt (Abb. 122). Um das Einfahren des Molches optisch kontrollieren zu können und ggf. optische und messtechnische Auffälligkeiten abgleichen zu können, ist die Antriebseinheit mit Dreh-/Schwenkkopfkamera und Laservermessung ausgestattet. Messung und Vortrieb des Molches werden wie bei TV-Inspektionen im Kanalnetz vom Messfahrzeug aus gesteuert.

Die mehrere hundert Kilogramm schwere Inspektionseinheit wurde nach Kalibrierung am Rohrwerkstoff mit Hilfe eines Krans in die Leitung eingesetzt. Die Zugangsöffnungen waren zuvor im Rahmen von Baumaßnahmen durch Trennen der Leitung geschaffen worden (Abb. 121). Ziel der Untersuchung war es, zwei parallel verlegte Leitungen DN 700 von der Baugrube aus je 200 m in die eine Richtung und 100 m in die andere Richtung zu untersuchen. Die Inspektion der ersten Leitung musste nach rund 50 m abgebrochen werden, da durch eine zugeschweißte Öffnung und durch eine Verformung des Rohres (Abb. 123), der Querschnitt eingeeengt war. Die Inspektion der parallel verlegten Leitung sowie beider Leitungen in die andere Richtung ergaben ähnliche Resultate, sodass die Inspektion abgebrochen wurde.

Nach Modifizierung der Inspektionseinheit und Verkleinerung des Durchmessers konnten die Hindernisse überwunden werden. In einer Leitung wurde bei der erneuten Messung eine Stelle mit Hinweisen auf Korrosion gefunden, die künftig frei gelegt werden soll.

Insgesamt wurden für die Zustandserfassung von rund 600 m Leitung inklusive Baustelleneinrichtung vier Tage inklusive Modifizierung des Prüfsystems für den Einsatz an der Stahlleitung DN 700 angesetzt.

Fazit:

Soweit sich die Wirbelstrom-Messeinheit auch für Gussleitungen kalibrieren bzw. modifizieren lässt, könnte diese eine attraktive Messmethode für Guss-Druckleitungen darstellen, um die Rohrwandung auf Korrosion zu untersuchen. Schwierigkeiten können sich hier allerdings aufgrund von engen Bögen in Druckleitungen bzw. unbekanntem Verlauf ergeben, da Mess- und Vortriebseinheit kaum flexibel gegenüber Durchmesseränderungen sind. Hier besteht noch Anpassungsbedarf.



Abb. 121: Zugangsöffnungen zu den Leitungen

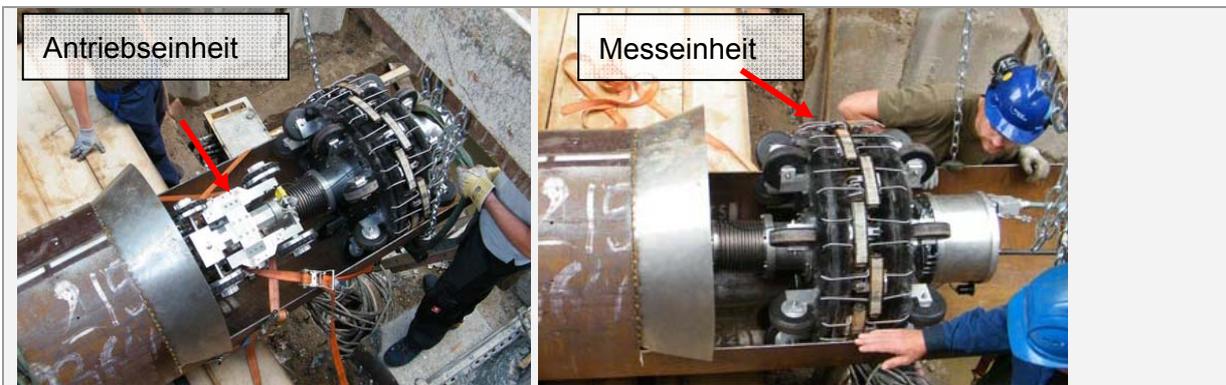


Abb. 122: Messeinheit und Antriebseinheit



Abb. 123: Rohrverformung (Außenansicht)

6.8 Akustische Leckageortung, Testleitung Spannbeton DN 1400

Ein Einsatz des SmartBall® der Pure Technologies Ltd. (Calgary, Kanada), ein mit dem Medium transportiertes Hydrophon zur Bestimmung von Leckagen und Lufteinschlüssen (4.1.4.2), wurde im Rahmen einer Untersuchung einer Wasserfernleitung des „Zweckverband Wasserversorgung Fränkischer Wirtschaftsraum“ (WFW) begleitet. Die Fernwasserleitung führt Trinkwasser im freien Gefälle vom Hochbehälter in Graisbach 101 km nach Erlangen. Sie enthält 90 Hoch- und Tiefpunkte und besteht auf den ersten 22 km vorwiegend aus Spannbetonrohren DN 1200 bis 1400 (vereinzelte Teilstücke aus Stahl) und auf den restlichen 79 km aus Stahlrohren DN 700 bis DN 1200 mit Zement-Innen- und PE-Außenbeschichtung (vgl. Abb. 128). Ursprünglich lag der Anteil der Spannbetonrohre bei ca. 50 % der Leitungslänge. Aufgrund von Undichtigkeiten wurden in den letzten 15 Jahren bereits Teilstücke durch Stahlrohre ersetzt. Ziel der Untersuchung war es daher, die verbliebenen Spannbetonrohre mit dem SmartBall® auf Leckagen zu untersuchen.

Die erforderlichen Einsatzvoraussetzungen (Druck von mind. 3 bar, Fließgeschwindigkeiten von min. 0,15-0,5 m/s und Durchgängigkeit der Leitung) konnten bei der Fernwasserleitung problemlos sichergestellt werden. Der Druck in der Leitung bei der Prüfung lag bei ca. 11 bar, die Fließgeschwindigkeit bei ca. 1 m/s.

Die Arbeiten wurden von der Fa. Applus RTD Deutschland ausgeführt. Als vorbereitende Maßnahme wurden zunächst in Abständen von ca. 1 km passive akustische Sensoren (vgl. Abb. 125) an den Entlüftungsventilen der Rohrwand positioniert, insgesamt 25 Sensoren auf 22 km Leitung. Die Sensoren empfangen Signale, die der SmartBall® im Drei-Sekunden-Takt aussendet, und dienen zur Lokalisierung des Balls.

Die Messtechnik des SmartBall®, eingehüllt in eine Aluminiumkugel mit einem Durchmesser von 65 mm (Abb. 124), wurde zunächst in eine Schaumstoffhülle (Durchmesser 180 mm) eingesetzt (Abb. 124). Diese dient dem Schutz der Technik und zur Erhöhung der Schleppspannung zum Transport des Balls mit dem Wasserstrom. Anschließend wurde die Schaumstoffkugel mit Hilfe einer Greifvorrichtung über ein Entlüftungsventil am Auslauf des Hochbehälters in die Leitung gesetzt (Abb. 126). Während der SmartBall® mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 0,8 m/s durch die 22 km lange Leitung gespült wurde, kontrollierten zwei Teams die Daten der Sensoren an den Kontrollpunkten.

Nach ca. 7,5 Stunden wurde der Ball an seinem Zielpunkt mit Hilfe einer Auffangvorrichtung wieder aus der Leitung entnommen (Abb. 127). Der Gesamtaufwand für Vorarbeiten, Auf- und Abbauten der technischen Einrichtungen und die eigentliche Inspektion betrug drei Tage.

Die anschließende Auswertung der Daten ergab drei akustische Anomalien, die auf ein Leck schließen lassen, Luftpolster wurden nicht detektiert. Mit zwei der akustischen Anomalien wurden künstliche Leckagen erfasst, die der WFW zu Kontrollzwecken an Entleerungsventilen eingerichtet hatte. Mit der dritten Anomalie wurde eine tatsächliche Leckage in einer Größenordnung von 40 l/min Wasserverlust geortet. Eine spätere Aufgrabung bestätigte die Schadstelle.

Fazit:

Der Einsatz des SmartBall® war bei der Fernwasserleitung ohne Schwierigkeiten umsetzbar. Vorteilhaft ist, dass der Ball im Leitungsbetrieb vorgetrieben wird und die Leitung nicht entleert werden muss. Die Technik kann nach Anbieterangaben genutzt werden, um eine Leitung auf Luftpolster oder bereits vorhandene Leckagen mit einer Mindest-Leckagerate von 0,1 l/min [82] zu untersuchen bzw. festgestellte Undichtigkeiten zu orten. Aussagen zum Zustand der Rohrwandung sind allerdings nicht möglich.

Bei Abwasserdruckleitungen kann sich der Aufwand für die Arbeiten erhöhen, wenn die Leitung im Vorfeld auf Ihre Durchgängigkeit untersucht und gereinigt werden muss. Soweit der Druck in der Leitung unter 3 bar liegt, müssen darüber hinaus Maßnahmen zur Druckerhöhung getroffen werden (z.B. Anschluss externe Pumpen, Drosselung des Auslaufes).



Abb. 124: Kern des SmartBall® (li) und Schaumstoffhülle (re)



Abb. 125: Sensor (li) und Receiver (re) an einem der Kontrollpunkte



Abb. 126: Startpunkt (li); Greifvorrichtung mit SmartBall® (mi); ; Einbringen des Balls in die Leitung (re)

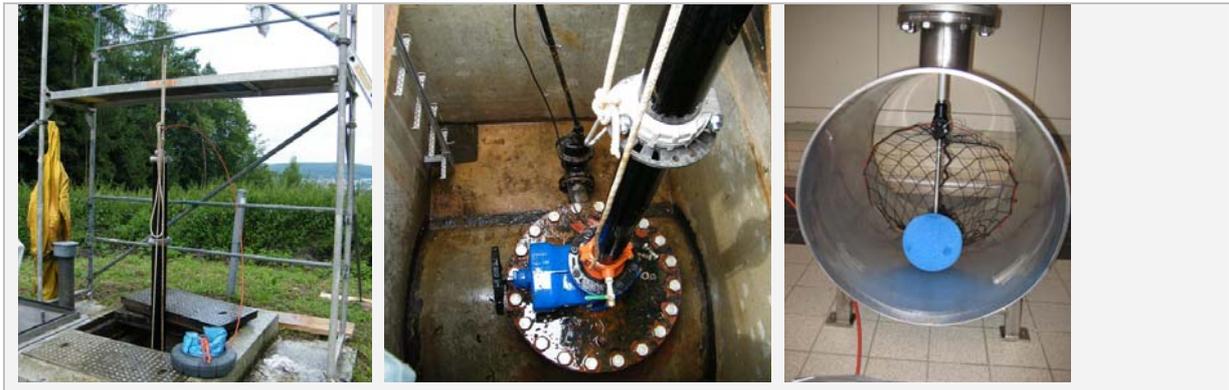


Abb. 127: Entnahmepunkt (li, mi) und Beispiel einer Entnahmevorrichtung

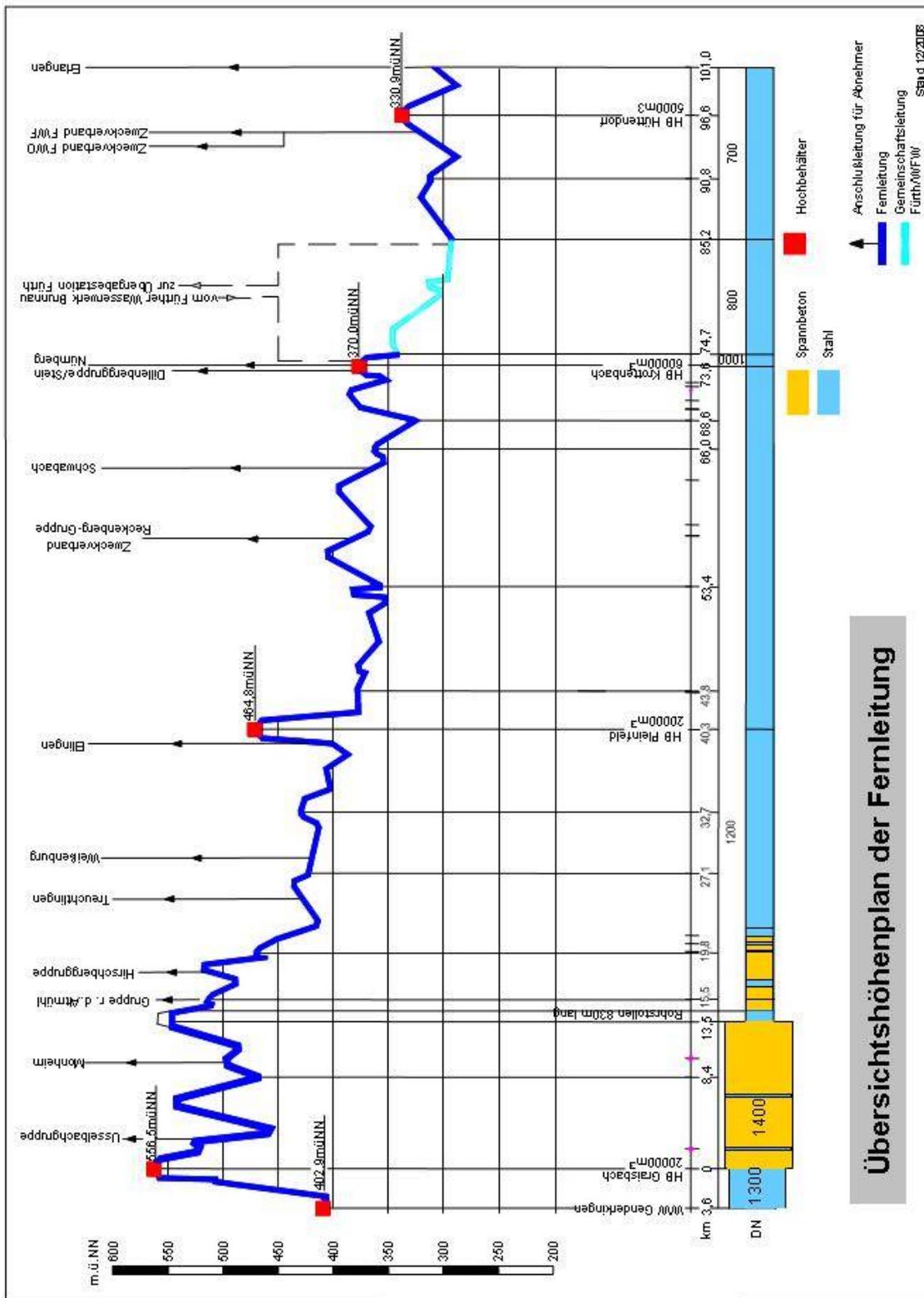


Abb. 128: Höhenprofil sowie Leitungsmaterialien und -durchmesser der Wasserfernleitung, Länge 100 km [135]

6.9 Fazit aus Testeinsätzen

Inspektionen mit den üblicherweise in der Freispiegelkanalisation eingesetzten Fahrwagenkameras sind bei Abwasserdruckleitungen mit hohem Aufwand verbunden, da die Leitungen zunächst außer Betrieb genommen und entleert werden müssen. Aufgrund meist langer Leitungstrecken ohne Zugänglichkeiten, Bögen sowie Restwasser in Tiefpunkten ist davon auszugehen, dass häufig nur Teilabschnitte befahren werden können.

Mit der speziell für Abwasserdruckleitungen konzipierten „Schleppkamera“, die mittels eines Fallschirms durch die Leitung gesogen wird, konnten auch in kleinen Nennweiten DN 50 und DN 100 vergleichsweise hohe Reichweiten von bis zu 300 m bzw. 500 m erreicht werden, obwohl die Leitungen Bögen enthielten. Die vom Anbieter angegebene maximale Reichweite von 750 m in Leitungen DN 250 scheint realistisch zu sein. Auch wenn die Technik bereits auf Druckleitungen abgestimmt ist, können dennoch Einsatzgrenzen entstehen, wenn beispielsweise zu viel Bögen in der Leitung liegen bzw. dicht hintereinander folgen, Schachtabstände zu groß sind oder Leitungen nicht entleert werden können. Zusätzlich ist im Vorfeld abzuschätzen, ob die Druckleitungen im entleerten Zustand überhaupt einem Unterdruck von bis zu 0,8 bar bzw. einem gleichmäßigen äußeren Überdruck in gleicher Höhe standhalten.

Grundsätzlich ist bei rein optischen Inspektionen zu hinterfragen, inwieweit diese bei den üblichen Rohrmaterialien für Abwasserdruckleitungen und den zu erwartenden Schäden ausreichend aussagekräftig zur Bewertung des Leitungszustands sind. Als Zusatzmodule für Fahrwagenkameras werden beispielsweise Kanalradar und Lasersysteme angeboten. Das Kanalradar wird unter anderem zur Bestimmung der Dicke der noch intakten Rohrwand von Asbestzementrohren angeboten und könnte so wichtige zusätzliche Informationen zum Rohrzustand liefern. Lasersysteme zur Querschnittsvermessung können beispielsweise für Deformationsmessungen in Kunststoffrohren eingesetzt werden und möglicherweise auch Hinweise zum Materialabtrag in Asbestzementrohren oder von Innenbeschichtungen in Guss- oder Stahlrohren liefern. Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren allerdings keine Lasersysteme mit Explosions-Schutz verfügbar, der bei Abwasserdruckleitungen von besonderer Bedeutung ist.

Darüber hinaus bietet der Markt insbesondere für Leitungen ab DN 150/200 zahlreiche Techniken aus dem Bereich der Versorgungsleitungen (vor allem für Öl und Gas), mit denen der Leitungszustand weitergehend untersucht werden kann. Diese Techniken wurden jedoch i.d.R. speziell auf die baulichen Randbedingungen und Leitungsmaterialien (vor allem Stahl) der Versorgungsleitungen abgestimmt, sodass ihre Einsatzmöglichkeiten bei Abwasserdruckleitungen oft begrenzt sind (z.B. durch Leitungsmaterial, Bögen und Betriebsdruck), aufwendige Vorarbeiten mit baulichen Änderungen notwendig werden oder Inspektionen mit diesen Techniken für den Abwasserbereich zu kostenintensiv sind. Zur Inspektion von Gussleitungen können möglicherweise elektromagnetische Verfahren eingesetzt werden, um Leitungen von innen (in Kombination mit einer Antriebstechnik) oder von außen (nach Freilegen von Rohrabschnitten) auf Korrosion und Fehlstellen zu untersuchen.

Bei der Planung der Testeinsätze zeigte sich, dass bei vielen Leitungen die exakte Lage und der Höhenverlauf nicht bekannt sind. Insbesondere für das Auffinden von Leckagen oder die

Planung von Erneuerungs- oder Sanierungsmaßnahmen spielt daher zunächst die Leitungs-ortung eine wichtige Rolle. Allerdings kann gerade die Ortung von Leitungen, beispielsweise mittels Schaumstoffmolch und Ortungssender oder Georadar, aufwendig oder schwierig werden, wenn beispielsweise die Lage stark vom vermuteten Verlauf abweicht oder die Leitung in bebautem oder schlecht zugänglichem Gebiet verläuft.

Insgesamt zeigten die Technikrecherche und Testeinsätze, dass mit großem technischen und finanziellen Aufwand der Zustand vieler Leitungen durch Kombination unterschiedlicher Inspektionstechniken und mit vorbereitenden baulichen Änderungen der Leitungen untersucht werden kann. Dies gilt überwiegend für Leitungen mit Durchmessern ab 150/200 mm, bei kleineren Durchmessern sind die Möglichkeiten deutlich geringer. Inwieweit dieser Aufwand jedoch im Einzelfall vertretbar ist, hängt wesentlich von der betrieblichen Bedeutung und den möglichen Gefährdungspotenzialen ab.

Das Vorgehen für Dichtheitsprüfungen an Abwasserdruckleitungen und die Interpretation der Prüfergebnisse lassen sich nicht ohne weiteres aus den Erfahrungen mit der Prüfung von Freispiegelkanälen oder Trinkwasserleitungen ableiten. Zum einen können die nach DIN EN 805 vorausgesetzten baulichen Randbedingungen häufig nicht eingehalten werden, z.B. hinsichtlich Zugänglichkeit, Entlüftung und Absperrmöglichkeiten während der Prüfung. Zum anderen liegen für die Dichtheitsprüfung keinerlei Prüfkriterien bzw. Grenzwerte zur Bewertung des Prüfergebnisses vor, da die im Abwasserbereich relevanten Gefährdungspotenziale durch EN 805 nicht berücksichtigt werden und die entsprechenden abwassertechnischen Regeln nach DWA-M 143-6 lediglich für Freispiegelleitungen gelten. In der Folge wurden in den beiden Praxiseinsätzen (vgl. Abschnitte 6.1.1 und 6.1.2) die Druckstufen vergleichsweise willkürlich gewählt und auf eine Bewertung der Ergebnisse zunächst verzichtet.

7 Hinweise und Bewertungsmatrix zur Technikauswahl

Die Recherche zu Inspektionstechniken, die Gespräche mit Herstellern und die exemplarischen Praxiseinsätze zeigten, dass es bislang nicht „die ideale“ Technik auf dem Markt gibt, mit der sich Inspektionen einfach und kosteneffektiv wie im Freispiegelbereich umsetzen lassen und die zudem ausreichende Informationen über den Leitungszustand liefern. Bei Abwasserdruckleitungen liegen gegenüber der Freispiegelkanalisation erschwerte Randbedingungen durch fehlende oder seltene Zugänglichkeiten, durch Vollenfüllung der Leitungen oder von Leitungsabschnitten, durch Bögen und häufig nicht exakt bekannte Leitungsverläufe sowie zum Teil kleine Nennweiten vor.

Es ist davon auszugehen, dass der Zustand vieler Leitungen nur durch Kombination unterschiedlicher Inspektionstechniken und mit vorbereitenden baulichen Änderungen mit großem technischen und finanziellen Aufwand untersucht werden kann. Insbesondere Leitungen mit Durchmessern ab 150/200 mm scheinen so inspizierbar, bei kleineren Durchmessern sind die Möglichkeiten deutlich geringer. Inwieweit der Aufwand im Einzelfall vertretbar ist, hängt wesentlich von der betrieblichen Bedeutung und den möglichen Gefährdungspotenzialen ab.

In Tab. 8 bis Tab. 13 werden die wichtigsten Einsatzvoraussetzungen der in Kapitel 4 vorgestellten Techniken sowie grobe Kostenrahmen für Inspektionsdienstleistungen im Sinne einer Bewertungsmatrix zusammengestellt und eine erste Einschätzung zur Anwendbarkeit für Abwasserdruckleitungen und –düker gegeben. Diese Tabellen können als Hilfestellung zur Vorauswahl einer geeigneten Inspektionstechnik für die Zustandserfassung einer Abwasserdruckleitung dienen.

Tab. 8: Techniken zur Innen-Inspektion: Kanalkameras und Zusatzmodule – Einsatzvoraussetzungen und Anwendbarkeit in Abwasserdruckleitungen und -dükern

Technik	Inspektionsziel ¹	Leitungsmaterial und Nennweiten ¹	Wichtigste Einsatzvoraussetzungen ²	Kostensätze, Beispiele ³	Anwendbarkeit in Abwasserdruckleitungen und -dükern ⁴	siehe Abschnitt
Kanalkameras und Zusatzmodule						
Fahrwagenkamera	Optische Inspektion	<ul style="list-style-type: none"> • Materialunabhängig • Ab DN 100, bogengängig häufig erst ab DN 125/150 	<ul style="list-style-type: none"> • Inspektionsöffnungen im Leitungsverlauf • Abstände der Öffnungen abhängig von Bögen, Nennweite, Oberflächenbeschaffenheit etc. (von wenigen Metern bis mehreren hundert Metern) • Außerbetriebnahme und Entleerung der Leitung 	<ul style="list-style-type: none"> • ca. 800 €/d • Tagesdurchschnitt Praxiseinsätze: 35-175 m/h 	<p>Abwasserdruckleitungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Insbesondere zur stichpunktartigen Kontrolle zugänglicher Bereiche geeignet • Inspektion häufig nur in Teilabschnitten möglich (fehlende Zugänglichkeiten, Bögen) <p>Düker:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zur teilweisen oder vollständigen Inspektion geeignet, abhängig von Bögen, Steigungen, Länge etc. des Dükers <p>Allgemein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspektionslängen durch Bögen, Steigungen etc. der Leitung eingeschränkt; erfahrungsgemäß deutlich geringer als maximale Reichweite des Fahrwagens (max. Reichweiten der Fahrwagen lt. Hersteller systemabhängig bis 200-1.000 m) • Aussagekraft einer optischen Inspektion eingeschränkt (vgl. Kapitel 3) 	4.1.1.1
Axialkamera mit Saugschirm	Optische Inspektion	<ul style="list-style-type: none"> • Materialunabhängig • DN 50 – DN 250 	<ul style="list-style-type: none"> • Zugänglichkeiten am Leitungsanfang und am -ende • Inspektionsöffnungen im Leitungsverlauf bei Leitungen > 1.000 – 1.500 m Länge • Außerbetriebnahme und Entleerung der Leitung • Anschlussmöglichkeit eines Saugfahrzeugs an der Leitung • Höhendifferenzen der Leitung bis maximal 8-9 m 	<ul style="list-style-type: none"> • ca. 1.400 €/d • Tagesdurchschnitt Praxiseinsätze: 60 m/h 	<p>Abwasserdruckleitungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Auf Abwasserdruckleitungen abgestimmtes System mit guter Bogengängigkeit • Reichweite auf maximal 500 m (DN 50) bis 750 m (DN 250) begrenzt, tatsächliche Reichweite abhängig von Anzahl an Bögen • Widerstandsfähigkeit der Leitung gegenüber Unterdruck von ca. 0,8 bar zu hinterfragen <p>Düker:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einsatz nur in Einzelfällen denkbar <p>Allgemein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aussagekraft einer optischen Inspektion eingeschränkt (vgl. Kapitel 3) 	4.1.1.2
Kanalradar	<ul style="list-style-type: none"> • Restwandstärke und Lagerungsdefekte bei Asbestzement, Beton, PVC, GFK, Steinzeug • Dicke der Zementmörtelauskleidung in Guss und Stahl • ab DN 200 		<ul style="list-style-type: none"> • Inspektionsöffnungen (s. Fahrwagenkamera) • Außerbetriebnahme und vollständige Entleerung der Leitung • Kenntnis der ursprünglichen Wandstärke bzw. Beschichtungsdicke (ggf. Probennahme/Messung) 	<ul style="list-style-type: none"> • ca. 2.500-3.000 €/d ohne Fahrwagen • ca. 3.500-4.000 €/d ohne Fahrwagen 	<p>Allgemein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Insbesondere für Asbestzementleitungen interessantes Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung der Rohrwand <p>Abwasserdruckleitungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aufgrund begrenzter Reichweite (s. Fahrwagenkamera) in erster Linie zur stichpunktartigen Inspektion <p>Düker:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zur teilweisen oder vollständigen Inspektion geeignet, abhängig von Bögen, Steigungen, Länge etc. des Dükers 	4.1.1.3
Laser-Querschnittsvermessung	Querschnittsvermessung	<ul style="list-style-type: none"> • Materialunabhängig • DN 150 bis DN 1500 	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz in Kombination mit Fahrwagen (s. Fahrwagenkamera) • Außerbetriebnahme und Entleerung der Leitung 	ca. 1,80 – 2,25 €/m	<p>Abwasserdruckleitungen / -dükern:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Technik bislang nicht explosionsgeschützt, Einsatz in Abwasserdruckleitungen und Dükern daher bedenklich (vollständiger Luftaustausch erforderlich) • Bietet sich ansonsten für Deformationsmessungen in PE- und PVC-Druckleitungen/ Dükern an und kann möglicherweise Hinweise zu Materialabtrag liefern, z.B. durch Abrieb von Innenbeschichtungen oder Korrosion in Gussleitungen • Siehe weiterhin Fahrwagenkamera 	4.1.1.4

¹ Nach Herstellerangaben

² Nach Herstellerangaben, teilweise ergänzt durch Erfahrungen aus Praxiseinsätzen

³ Beispielhafte Kostensätze netto zuzüglich Anfahrt nach Anbieterangaben, Kosten im Einzelfall variieren stark nach örtlichen Randbedingungen und Auftragsvolumen

⁴ Abschätzung aufgrund von Einsatzvoraussetzungen der Techniken und baulichen Randbedingungen von Druckleitungen, teilweise ergänzt durch Erfahrungen aus Praxiseinsätzen

Tab. 9: Techniken zur Innen-Inspektion: Inspektionsroboter – Einsatzvoraussetzungen und Anwendbarkeit in Abwasserdruckleitungen und -dükern

Technik	Inspektionsziel ¹	Leitungsmaterial und Nennweiten ¹	Wichtigste Einsatzvoraussetzungen ¹	Kostensätze, Beispiele ²	Anwendbarkeit in Abwasserdruckleitungen und -dükern ³	siehe Abschnitt
Inspektionsroboter						
Kamera	Optische Inspektion	<ul style="list-style-type: none"> • Materialunabhängig • DN 75 – DN 750 	<ul style="list-style-type: none"> • Inspektionsöffnungen im Leitungsverlauf, Abstand 500 m ab DN 130, darunter alle 100 m • Außerbetriebnahme und Entleerung der Leitung 	ca. 3.000-5.000 €/d	Abwasserdruckleitungen / -dükern: <ul style="list-style-type: none"> • Technik bislang nicht explosionsgeschützt, Einsatz in Abwasserdruckleitungen und Dükern daher bedenklich (vollständiger Luftaustausch erforderlich) • Inspektionsroboter scheint für Leitungen mit Bögen und Steigungsstrecken geeignet zu sein • Aussagekraft einer optischen Inspektion eingeschränkt (vgl. Kapitel 3) 	4.1.2
Ultraschall	Wandstärkenmessung	<ul style="list-style-type: none"> • Stahl • DN 130 – DN 750 	<ul style="list-style-type: none"> • Inspektionsöffnungen im Leitungsverlauf, Abstand 200-1.000 m abhängig vom Leitungsdurchmesser • Außerbetriebnahme und Entleerung der Leitung • Saubere Rohroberfläche • Vollfüllung der Leitung mit partikelfreiem Wasser 	ca. 7.000-10.000 €/d	Abwasserdruckleitungen / -dükern: <ul style="list-style-type: none"> • Technik bislang nicht explosionsgeschützt, Einsatz in Abwasserdruckleitungen und Dükern daher bedenklich (vollständiger Luftaustausch erforderlich) • Einsatz nur in Stahlleitungen, daher seltene Einsatzmöglichkeiten • Vollfüllung durch sauberes, partikelfreies Wasser in sauberer Rohrleitung schwer umzusetzen 	4.1.2
Wirbelstrom, kombiniert mit Permanentmagnet	Detektion von Wandstärkenänderungen bzw. Korrosion	<ul style="list-style-type: none"> • Stahl DN 400 – DN 750 • Prototyp für Gussleitungen DN 400 – DN 600 	<ul style="list-style-type: none"> • Inspektionsöffnungen im Leitungsverlauf alle 300 m 	ca. 7.000-10.000 €/d	Abwasserdruckleitungen / -dükern: <ul style="list-style-type: none"> • Technik bislang nicht explosionsgeschützt, Einsatz in Abwasserdruckleitungen und Dükern daher bedenklich (vollständiger Luftaustausch erforderlich) • Bei Fertigstellung der Prüftechnik möglicherweise zur Inspektion von Gussleitungen interessant 	4.1.2

¹ Nach Herstellerangaben

² Beispielhafte Kostensätze netto zuzüglich Anfahrt nach Anbieterangaben, Kosten im Einzelfall variieren stark nach örtlichen Randbedingungen und Auftragsvolumen

³ Abschätzung aufgrund von Einsatzvoraussetzungen der Techniken und baulichen Randbedingungen von Druckleitungen, teilweise ergänzt durch Erfahrungen aus Praxiseinsätzen

Tab. 10: Techniken zur Innen-Inspektion: Inspektionsmolche – Einsatzvoraussetzungen und Anwendbarkeit in Abwasserdruckleitungen und -dükern

Technik	Inspektionsziel ¹	Leitungsmaterial ¹	Wichtigste Einsatzvoraussetzungen ¹	Kostensätze, Beispiele ²	Anwendbarkeit in Abwasserdruckleitungen und -dükern ³	siehe Abschnitt
Inspektionsmolche						
Ultraschall	<ul style="list-style-type: none"> Wandstärken- bzw. Korrosionsmessung (quantitativ) Rissprüfung 	<ul style="list-style-type: none"> Stahl ggf. Stahlguss möglicherweise bei PE und PVC einsetzbar 	<ul style="list-style-type: none"> Techniken verfahrens- und herstellerabhängig meist ab DN 80-200 verfügbar Zugangsöffnung mit stationärer oder temporärer Molchschleuse Differenzdruck von 0,5-2 bar über Betriebsdruck zum Molchvortrieb zzgl. 0,5-2 bar zum Anfahren des Molches (abh. von Molch und Rohrmaterial) Durchgängigkeit der Leitung: Mindestbogenradien der Leitung des i.d.R. 1,5-3-fachen Rohrdurchmesser erforderlich, keine Hindernisse durch Ablagerungen oder einragende Schieber etc. Ultraschall: Vollfüllung der Leitung mit sauberem, partikelfreiem Wasser Akustische Leckageortung: Mindestdruck erforderlich (ca. 3 bar) 	ab ca. 60.000-80.000 €/Einsatz	Abwasserdruckleitungen: <ul style="list-style-type: none"> Anwendung bislang nur in Stahlleitungen erprobt, aufgrund hoher Kosten nur in Einzelfällen sinnvoll Düker: <ul style="list-style-type: none"> Für bauliche Randbedingungen grundsätzlich nicht geeignet 	4.1.3.1
Magnetstreulfluss	<ul style="list-style-type: none"> Detektion von Wandstärkenänderungen und Korrosion (qualitativ) Rissprüfung 	<ul style="list-style-type: none"> Stahl möglicherweise Gusseisen 			Abwasserdruckleitungen: <ul style="list-style-type: none"> Anwendung bislang nur in Stahlleitungen erprobt, aufgrund hoher Kosten nur in Einzelfällen sinnvoll Düker: <ul style="list-style-type: none"> Für bauliche Randbedingungen grundsätzlich nicht geeignet 	4.1.3.2
Wirbelstrom	<ul style="list-style-type: none"> Geometriemessung Detektion von Wandstärkenänderungen bzw. Korrosion (qualitativ)* Rissprüfung* 	<ul style="list-style-type: none"> Stahl möglicherweise Gusseisen 			Abwasserdruckleitungen: <ul style="list-style-type: none"> Anwendung bislang nur in Stahlleitungen erprobt, aufgrund hoher Kosten nur in Einzelfällen sinnvoll Düker: <ul style="list-style-type: none"> Für bauliche Randbedingungen grundsätzlich nicht geeignet 	4.1.3.3
Mechanische Geometriemessung	<ul style="list-style-type: none"> Geometriemessung 	<ul style="list-style-type: none"> materialunabhängig 		Abwasserdruckleitungen: <ul style="list-style-type: none"> Einsatz denkbar, Sicherstellung der Durchgängigkeit der Leitung erforderlich (bzgl. Bögen, Hindernisse) Düker: <ul style="list-style-type: none"> Für bauliche Randbedingungen grundsätzlich nicht geeignet 	4.1.3.4	
Akustische Leckortung	<ul style="list-style-type: none"> Leckageortung 	<ul style="list-style-type: none"> grundsätzlich materialunabhängig** 		Abwasserdruckleitungen: <ul style="list-style-type: none"> Einsatz denkbar zur Leckageortung nach Dichtheitsprüfung, jedoch eingeschränkte Einsatzbarkeit aufgrund erforderlicher Vollfüllung und Mindestdruck Detektierbarkeit von Leckagen möglicherweise durch Abdichtungswirkung von Schmutzstoffen eingeschränkt (s. Abschnitt 4.1.4.3) Düker: <ul style="list-style-type: none"> Für bauliche Randbedingungen grundsätzlich nicht geeignet 	4.1.3.5	
Geodätische Lagevermessung	<ul style="list-style-type: none"> Lagevermessung 	<ul style="list-style-type: none"> materialunabhängig 		Abwasserdruckleitungen: <ul style="list-style-type: none"> Einsatz denkbar (kostenabhängig), Sicherstellung der Durchgängigkeit der Leitung erforderlich (bzgl. Bögen, Hindernisse) Düker: <ul style="list-style-type: none"> Für bauliche Randbedingungen grundsätzlich nicht geeignet 	4.1.3.6	
Kamera	<ul style="list-style-type: none"> Optische Inspektion 	<ul style="list-style-type: none"> materialunabhängig 		Abwasserdruckleitungen: <ul style="list-style-type: none"> Sicht durch Vortrieb mit Wasser zusätzlich zur beschränkten Aussagekraft einer optischen Inspektion (vgl. Kapitel 3) eingeschränkt, Einsatz daher nicht empfehlenswert Düker: <ul style="list-style-type: none"> Für bauliche Randbedingungen grundsätzlich nicht geeignet 	4.1.3.7	
Ortungssender (Schaumstoffmolch aus Abwassersektor)	<ul style="list-style-type: none"> Lageortung 	<ul style="list-style-type: none"> materialunabhängig 	Abwasserdruckleitungen: <ul style="list-style-type: none"> Gute Bogengängigkeit durch Kombination von Schaumstoffmolch und Ortungssender, daher Einsatz grundsätzlich möglich Aufwendig durch oberirdisches Abschreiten der Trasse Düker: <ul style="list-style-type: none"> Für bauliche Randbedingungen grundsätzlich nicht geeignet 	4.1.3		

* reine Wirbelstromprüfung nur bei geringen Wandstärken einsetzbar, daher teilweise Kombination mit weiteren Prüftechniken **soweit typische Störgeräusche des Leitungsmaterials gefiltert werden können

¹ Nach Herstellerangaben

² Beispielhafte Kostensätze netto zuzüglich Anfahrt nach Anbieterangaben, Kosten im Einzelfall variieren stark nach örtlichen Randbedingungen und Auftragsvolumen

³ Abschätzung aufgrund von Einsatzvoraussetzungen der Techniken und baulichen Randbedingungen von Druckleitungen, teilweise ergänzt durch Erfahrungen aus Praxiseinsätzen

Tab. 11: Techniken zur Innen-Inspektion: Eingspülte und gezogene Techniken – Einsatzvoraussetzungen und Anwendbarkeit in Abwasserdruckleitungen und -dükern

Technik	Inspektionsziel ¹	Leitungsmaterial und Nennweiten ¹	Wichtigste Einsatzvoraussetzungen ²	Kostensätze, Beispiele ³	Anwendbarkeit in Abwasserdruckleitungen und -dükern ⁴	siehe Abschnitt
Eingspülte oder gezogene Techniken						
Eingezogenes mechanisches Kaliber- und Verformungsmessgerät	<ul style="list-style-type: none"> • Durchmesserbestimmung materialunabhängig • Verformungsmessung (Ovalisierung) biegeweicher Rohre • DN 150 - DN 1200 		<ul style="list-style-type: none"> • Einspülen/Einziehen eines Spülschlau-ches/Seilwinde bzw. Einfahren einer Kamera zum Transport des Messgerätes, entsprechende Zu-gangsöffnungen erforderlich • Keine Bogenformstücke in der Leitung 	ca. 1,80-3,00 €/m	Abwasserdruckleitungen / -düker: <ul style="list-style-type: none"> • Messung denkbar, jedoch aufgrund fehlender Bogengängigkeit selten ein-setzbar • Reichweite durch Kabellänge (max. 400 m) und Einfahr-/spülbarkeit der Transporteinheit (Spülschlauch, Winde, Kamera) begrenzt 	4.1.4.1
Eingspültes Hydrophon (Bsp. SmartBall®)	<ul style="list-style-type: none"> • Leckageortung • Ortung von Lufteinschlüssen 	<ul style="list-style-type: none"> • grundsätzlich materialunabhängig* • DN 200 – DN 1600** 	<ul style="list-style-type: none"> • Vollfüllung der Leitung zur Leckageortung, andernfalls Detektion von Lufteinschlüssen • Mindestdruck von 3-4 bar • Mindestfließgeschwindigkeit von 0,15-0,5 m/s • Zugänglichkeit der Leitung alle 1.100-1.300 m zur Positionierung von Sensoren • Durchgängigkeit der Leitung sicherstellen 	ca. 4 €/m	Abwasserdruckleitungen: <ul style="list-style-type: none"> • Einsatz denkbar zur Detektion von Leckagen nach Dichtheitsprüfung bzw. Detektion von Luftpolstern; Detektierbarkeit von Leckagen möglicherweise durch Abdichtungswirkung von Schmutzstoffen eingeschränkt (s. Abschnitt 4.1.4.3) • Beschränkte Einsetzbarkeit, da Mindestdruck, -Fließgeschwindigkeit und Vollfüllung erforderlich Düker: <ul style="list-style-type: none"> • Für bauliche Randbedingungen grundsätzlich nicht geeignet 	4.1.4.2
Eingezogenes Hydrophon (Bsp. Sahara®)	<ul style="list-style-type: none"> • Leckageortung • Ortung von Lufteinschlüssen 	<ul style="list-style-type: none"> • grundsätzlich materialunabhängig* • DN 100 – DN 2700 	<ul style="list-style-type: none"> • Vollfüllung der Leitung zur Leckageortung, andernfalls Detektion von Lufteinschlüssen • Mindestdruck > 1 bar • Zugangsöffnungen alle ca. 100 – 1.000 m abhän-gig von Fließgeschwindigkeit und Bögen 	k.A.	Abwasserdruckleitungen: <ul style="list-style-type: none"> • Einsetzbarkeit stark eingeschränkt: Nach Erfahrungen des Anbieters tendie-ren Schmutzstoffe in Abwasserdruckleitung zur Abdichtung von Leckagen • Zusätzlich beschränkte Einsetzbarkeit aufgrund des erforderlichen Mindest-drucks und der Vollfüllung • Bei fehlenden Zugangsöffnungen im Leitungsverlauf nur Teilinspektionen möglich Düker: <ul style="list-style-type: none"> • Für bauliche Randbedingungen grundsätzlich nicht geeignet 	4.1.4.3
Eingezogene Trägereinheit mit Ringlaserkreiseln und Wegauf-nehmer (Bsp. DuctRunner™)	<ul style="list-style-type: none"> • Lagevermessung 	<ul style="list-style-type: none"> • grundsätzlich materialunabhängig • DN 40 – DN 1200 	<ul style="list-style-type: none"> • Einspülen eines Stahlseils zum späteren Einziehen des Messgerätes • Durchgängigkeit der Leitung: Mindestbogenradien der Leitung 1,5-3-fachen Rohrdurchmesser erfor-derlich, keine Hindernisse durch Ablagerungen oder einragende Schieber etc. 	ca. 4.000 €/d	Abwasserdruckleitungen / -düker: <ul style="list-style-type: none"> • Messung bei entsprechender Bogengängigkeit des Gerätes denkbar • Inspizierbarkeit in erster Linie von der Einspülbarkeit des Stahlseils abhängig • Widerstandsfähigkeit der Leitung gegenüber Beanspruchung durch Stahlseil in Bögen zu hinterfragen, insbesondere bei Asbestzementleitungen 	4.1.4.4

*soweit typische Störgeräusche des Leitungsmaterials gefiltert werden können **zwischen DN 200-DN 600 mit Einschränkungen einsetzbar

¹ Nach Herstellerangaben

² Nach Herstellerangaben, teilweise ergänzt durch Erfahrungen aus Praxiseinsätzen

³ Beispielhafte Kostensätze netto zuzüglich Anfahrt nach Anbieterangaben, Kosten im Einzelfall variieren stark nach örtlichen Randbedingungen und Auftragsvolumen

⁴ Abschätzung aufgrund von Einsatzvoraussetzungen der Techniken und baulichen Randbedingungen von Druckleitungen, teilweise ergänzt durch Erfahrungen aus Praxiseinsätzen

Tab. 12: Techniken zur Außen-Inspektion: Techniken zur Prüfung frei gelegter Rohre - Einsatzvoraussetzungen und Anwendbarkeit in Abwasserdruckleitungen und -dükern

Technik	Inspektionsziel ¹	Leitungsmaterial und Nennweiten ¹	Wichtigste Einsatzvoraussetzungen ²	Kostensätze, Beispiele ³	Anwendbarkeit in Abwasserdruckleitungen und -dükern ⁴	siehe Abschnitt
Prüfung frei gelegter Rohre						
Elektromagnetische Prüftechnik (Bsp. SLOFEC™)	• Detektion von Wandstärkenänderungen bzw. Korrosion (qualitativ)	• Stahl, Guss • ab ca. DN 50	<ul style="list-style-type: none"> • Freilegen des zu prüfenden Rohrabschnitts • ggf. Entfernen von Korrosionsbeschichtungen abhängig von Material und Dicke • Kenntnis des Leitungsmaterials und der ursprünglichen Wandstärke zur Kalibrierung des Messgerätes 	ca. 2.000 €/d	Abwasserdruckleitungen: <ul style="list-style-type: none"> • Verfahren bei Abwasserdruckleitungen aus Guss oder Stahl grundsätzlich einsetzbar • Begrenzte Aussagekraft einer stichpunktartigen Untersuchung Düker: <ul style="list-style-type: none"> • Freilegen eines Dükers aufgrund unterquerter Hindernisse i.d.R. nicht möglich 	4.2.1.1
Ultraschall-Messgerät (Bsp. DSM GO)	• Wandstärkenmessung (punktuelle Messung der Rohrwand)	• u.a. Stahl, Guss, PE • nennweitenunabhängig	<ul style="list-style-type: none"> • Freilegen des zu prüfenden Rohres • ggf. Entfernen von Korrosionsbeschichtungen abhängig von Material und Dicke • Kenntnis des Leitungsmaterials und der ursprünglichen Wandstärke zur Kalibrierung des Messgerätes 	ca. 50-90 €/h (Messgerät: ca. 8.000 €)	Abwasserdruckleitungen: <ul style="list-style-type: none"> • Verfahren bei Abwasserdruckleitungen aus Guss oder Stahl grundsätzlich einsetzbar • Sehr begrenzte Aussagekraft durch nur punktuelle Untersuchung mittels Ultraschallkopf Düker: <ul style="list-style-type: none"> • Freilegen eines Dükers aufgrund unterquerter Hindernisse i.d.R. nicht möglich 	4.2.1.2
Ultraschall-Messgerät (Bsp. Wavemaker™)	• Detektion von großflächiger Korrosion und Rissen (Prüfen von Leitungsabschnitten)	• Stahl, Guss • DN 25 – DN 1000	<ul style="list-style-type: none"> • Freilegen der Leitung in Abständen von 1-50 m abhängig vom Leitungsmaterial, enthaltenen Muffen, Flanschen, Schweißnähten, Bögen etc. • Kenntnis des Leitungsmaterials und der ursprünglichen Wandstärke zur Kalibrierung des Messgerätes 	ca. 2.000 €/d	Abwasserdruckleitungen: <ul style="list-style-type: none"> • Verfahren aufgrund notwendiger frei gelegter Rohrabschnitte in geringen Abständen nicht praktikabel, Reichweite des Ultraschallsignals wird beispielsweise bei bitumenbeschichteten Leitungen auf 1-5 m geschätzt Düker: <ul style="list-style-type: none"> • Freilegen eines Dükers aufgrund unterquerter Hindernisse i.d.R. nicht möglich 	4.2.1.2

¹ Nach Herstellerangaben

² Nach Herstellerangaben, teilweise ergänzt durch Erfahrungen aus Praxiseinsätzen

³ Beispielhafte Kostensätze netto zuzüglich Anfahrt nach Anbieterangaben, Kosten im Einzelfall variieren stark nach örtlichen Randbedingungen und Auftragsvolumen

⁴ Abschätzung aufgrund von Einsatzvoraussetzungen der Techniken und baulichen Randbedingungen von Druckleitungen, teilweise ergänzt durch Erfahrungen aus Praxiseinsätzen

Tab. 13: Techniken zur Außen-Inspektion: Techniken zur Prüfung erdüberdeckter Rohre – Einsatzvoraussetzungen und Anwendbarkeit in Abwasserdruckleitungen und -dükern

Technik	Inspektionsziel ¹	Leitungsmaterial und Nennweiten ¹	Wichtigste Einsatzvoraussetzungen ²	Kostensätze, Beispiele ³	Anwendbarkeit in Abwasserdruckleitungen und -dükern ⁴	siehe Abschnitt
Prüfung erdüberdeckter Rohre						
Akustische Leckortung (Bodenmikrophon)	• Leckageortung	<ul style="list-style-type: none"> • grundsätzlich materialunabhängig • grundsätzlich nennweitenunabhängig 	<ul style="list-style-type: none"> • Mindestdruck von 1-10 bar abhängig vom Rohrwerkstoff • Vollfüllung der Leitung 	ca. 270 €/2h, jede weitere Stunde ca. 75 €/h	<p>Abwasserdruckleitungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anwendbarkeit aufgrund mehrerer Faktoren wie störenden Pumpengeräuschen sowie erforderlichen Mindestdrucks und Vollfüllung fraglich • Nach Einschätzung des Anbieters tendieren Schmutzstoffe in Abwasserdruckleitung zur Abdichtung von Leckagen <p>Düker:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aufgrund Unterquerung von Hindernissen in der Leitungstrasse nicht möglich 	4.2.2.1
Leckageortung mit gelöstem Helium	• Leckageortung	<ul style="list-style-type: none"> • grundsätzlich materialunabhängig • grundsätzlich nennweitenunabhängig 	<ul style="list-style-type: none"> • Möglichkeit zum Anschluss einer Dosieranlage (z.B. Flansch in der Pumpstation) • Mindestdruck von 1 bar mit entsprechender Vollfüllung des geprüften Rohrabchnitts 	ca. 5.300 – 6.300 € für Leckagesuche an 1 km Leitung	<p>Abwasserdruckleitungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leckageortung mittels gelöstem Helium scheint möglich und praktikabel; Voraussetzung ist eine Füllung der Leitungsabschnitte mit Heliumangereichertem Wasser (ggf. Einstau am Druckleitungsende erforderlich) <p>Düker:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eingeschränkte Anwendbarkeit abhängig vom unterquerten Hindernis (z.B. Fluss) zu erwarten 	4.2.2.2
Thermografie	<ul style="list-style-type: none"> • Leckageortung • Leitungsortung 	<ul style="list-style-type: none"> • grundsätzlich materialunabhängig • grundsätzlich nennweitenunabhängig 	<ul style="list-style-type: none"> • Durch Druckleitung bzw. Leckagen verursachte Temperaturunterschiede erforderlich • Lage der Leitung außerhalb bebauten Gebietes • Möglichst genaue Kenntnis der Leitungstrasse sowie von Faktoren wie Bodenart und Vegetation 	<p>Abschreiten der Trasse mit Handkamera: 1.500 €/d</p> <p>Überfliegung: > 9.000 €/d</p>	<p>Abwasserdruckleitungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leckageortung ggf. möglich, setzt jedoch durch Leckage verursachte Unterschiede im Feuchtigkeitsgehalt des Bodens voraus; erschwerte Bedingungen durch häufig fehlende Kenntnis der exakten Leitungstrasse • Leitungsortung scheint nicht möglich aufgrund geringer Temperaturunterschiede von Abwasser und Boden sowie häufig nicht exakt bekannter Leitungstrassen <p>Düker:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aufgrund Unterquerung von Hindernissen in der Leitungstrasse i.d.R. nicht möglich 	4.2.2.3
Georadar	<ul style="list-style-type: none"> • Leitungsortung • Detektion von Lagerungsdefekten 	<ul style="list-style-type: none"> • grundsätzlich materialunabhängig • grundsätzlich nennweitenunabhängig 	<ul style="list-style-type: none"> • Begeh- bzw. Befahrbarkeit des zu untersuchenden Bereiches • Anwendbarkeit abhängig von zahlreichen Randbedingungen (wie Bodenart, Wassergehalt und Grundwasserstand, Salzgehalt, Geländeoberfläche) und wird im Einzelfall von Anbietern abgeschätzt 	<p>einzelne Radarantenne: 2.500 – 3.000 €/d;</p> <p>aufwendige Messtechnik*: 12 €/m²</p>	<p>Abwasserdruckleitungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einsatz denkbar, jedoch sollten möglichst viele Randbedingungen des Untergrunds (vor allem Leitungstrassen) bekannt sein, um Fehlinterpretationen auszuschließen • Leitungsortung aufwendig (Befahrung quer zur Rohrachse) <p>Düker:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einsetzbarkeit abhängig von Befahr- bzw. Begehbarkeit des unterquerten Hindernisses (weitere Anmerkungen s. Abwasserdruckleitungen) 	4.2.2.4

* Beispiel Bodenradar „Detectino“ mit fünf Radarantennen, Verortung und elektromagnetischen Sensoren

¹ Nach Herstellerangaben

² Nach Herstellerangaben, teilweise ergänzt durch Erfahrungen aus Praxiseinsätzen

³ Beispielhafte Kostensätze netto zuzüglich Anfahrt nach Anbieterangaben, Kosten im Einzelfall variieren stark nach örtlichen Randbedingungen und Auftragsvolumen

⁴ Abschätzung aufgrund von Einsatzvoraussetzungen der Techniken und baulichen Randbedingungen von Druckleitungen, teilweise ergänzt durch Erfahrungen aus Praxiseinsätzen

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass es bislang keine **Techniken auf dem Markt** gibt, die generell bei Abwasserdruckleitungen oder Dükern eingesetzt werden können und zugleich umfassende Informationen zur Bewertung des Leitungszustands liefern. Soll der Zustand einer Druckleitung erfasst werden, ist es notwendig, geeignete Verfahren anhand von baulichen Randbedingungen, wie Werkstoff, Nennweite, Art und Abstand von Zugänglichkeiten, Entleerungsmöglichkeit, Art und Anzahl von Bögen, sowie den Druckverhältnissen und dem Untersuchungsziel, z.B. Aussagen zur Dichtheit oder Korrosion, auszuwählen und Techniken zu kombinieren.

Unter **Kosten-Nutzen-Aspekten** bietet es sich an, Leitungen zunächst mit einer Druckprüfung auf Dichtheit zu prüfen und TV-Inspektionen an zugänglichen Leitungsabschnitten durchzuführen sowie betriebliche Daten, wie z.B. die Förderströme und Leistungsaufnahme der Pumpe und den Druck am Pumpwerk, aufzunehmen.

Abhängig von den Absperrmöglichkeiten, dem Höhenprofil und den Entlüftungsmöglichkeiten einer Leitung lassen sich **Druckprüfungen** mit unterschiedlichem Aufwand umsetzen. Vergleichsweise leicht zu prüfen sind vom Pumpwerk aus ständig ansteigende Druckleitungen, die (fast) vollständig gefüllt sind. Schwieriger wird eine Prüfung bei Leitungen mit Hoch- und Tiefpunkten sowie leer laufenden Gefällestrecken zum Leitungsende. Die Befüllung gestaltet sich aufwendiger und durch Hochpunkte ohne Entlüftungsmöglichkeit können Lufteinschlüsse im Leitungsverlauf entstehen, die das Prüfergebnis verfälschen können. Bei großen Höhendifferenzen müssen ggf. Teilabschnitte zur Prüfung eingerichtet werden. Da bei den Netzbetreibern kaum Erfahrungen mit der Prüfung von bestehenden, erdüberdeckten Abwasserdruckleitungen vorliegen und ein angepasstes Prüfverfahren fehlt, besteht diesbezüglich ein weiterer Forschungsbedarf.

Liefert eine Dichtheitsprüfung Hinweise auf Undichtigkeiten, stellt sich die Frage, an welchen Leitungspositionen Undichtigkeiten liegen. Hierzu scheint eine **Leckageortung** mittels Helium vielversprechend zu sein. Hier wird laut Anbieter gelöstes Helium mit Wasser durch die Leitung gepumpt, dieses tritt an undichten Stellen ins Erdreich aus und wird an der Erdoberfläche mit Spürgeräten detektiert (vgl. Abschnitt 4.2.2.2). Praxiseinsätze konnten im Rahmen des Projektes jedoch noch nicht begleitet werden. Inwieweit eine Leckageortung auch mittels Hydrophonen möglich ist, die typische Geräusche ausströmenden Wassers erfassen und beispielweise als Ball durch die Leitung gespült oder mittels Molch transportiert werden, ist fraglich (vgl. Abschnitte 4.1.3.5, 4.1.4.2 und 4.1.4.3). Im Rahmen eines begleiteten Praxiseinsatzes des SmartBall® (Abschnitt 6.8) konnten zwar Leckagen an einer Trinkwasserfernleitung geortet werden, allerdings können nach Erfahrungen des Water Research Center (WRC, Swindon UK) undichte Stellen in Abwasserdruckleitungen unerkannt bleiben, wenn sie von Schmutzstoffen überdeckt werden (vgl. Abschnitt 4.1.4.3).

TV-Inspektionen bieten sich zumindest stichpunktartig an zugänglichen Stellen an, um grobe Anhaltswerte über den Leitungszustand zu erhalten. Prädestiniert dafür sind Hochpunkte mit möglichen Lufteinschlüssen, in denen insbesondere bei Asbestzement- und Gussdruckleitungen Korrosion auftreten kann. Allerdings ist zu beachten, dass eine rein optische Inspektion gerade bei diesen Leitungsmaterialien nur eine begrenzte Aussagekraft hat (vgl. Kapitel 3), da nicht alle Korrosionsarten bzw. Materialveränderungen optisch sichtbar sind.

Eine Inspektion des gesamten Leitungsverlaufs ist ohne bauliche Änderungen bei Druckleitungen aufgrund fehlender Zugänglichkeiten, häufig eingeschränkter Entleerungsmöglichkeiten und Bögen im Leitungsverlauf nur selten möglich. In jedem Fall gestaltet sich eine optische Inspektion mittels Fahrwagenkamera deutlich aufwendiger als im Freispielkanal, da die Leitungen außer Betrieb genommen und entleert werden müssen.

Als gut auf Abwasserdruckleitungen abgestimmte Technik zeigte sich die sogenannte „**Schleppkamera**“ (vgl. Abschnitt 4.1.1.2), eine Axialkamera mit Saugschirm für Nennweiten zwischen DN 50 und DN 250, die mittels Unterdruck in eine Druckleitung eingesogen wird. Nach Erfahrungen aus Praxiseinsätzen scheint es realistisch, dass mit dieser Technik abhängig von Nennweite und Bögen bis zu 750 m Leitung an einem Stück inspiziert werden können. Die Kamera zeigte sich als sehr gut bogengängig. Je mehr Bögen allerdings in einer Leitung enthalten sind, desto höher ist die entstehende Reibung zwischen Rohrwand und Kabel und desto geringer die tatsächliche Reichweite. Im Vorfeld sollte abgeschätzt werden, ob die Druckleitungen im entleerten Zustand einem Unterdruck von bis zu 0,8 bar, d.h. einem gleichmäßigen äußeren Überdruck in gleicher Höhe standhalten. Ebenso wie bei den üblichen Fahrwagenkameras ist zu hinterfragen, inwieweit die für den jeweiligen Rohrwerkstoff relevanten Schadensarten optisch erkennbar sind.

Möglicherweise kann für Asbestzementleitungen ein **Kanalradar** zur Bestimmung der Restwandstärke verwendet werden (s. Abschnitt 4.1.1.3). Da das Kanalradar in Kombination mit einer Fahrwagenkamera durch die Leitung transportiert wird, sind die Einsatzmöglichkeiten entsprechend begrenzt. Weiterhin besteht die Möglichkeit, an Rohrproben den pH-Wert der Rohrwand mittels **Phenolphthalein-Test** (vgl. Abschnitt 4.4) zu untersuchen, um auf Materialveränderungen zu schließen. Dieses setzt allerdings voraus, dass die Leitung frei gelegt und ein Rohrstück entnommen wurde.

Um Gussleitungen auf Korrosion zu untersuchen, können ggf. **elektromagnetische Verfahren** eingesetzt werden. Derzeit ist in erster Linie die Untersuchung einer Leitung von außen nach Freilegung praktikabel (vgl. Abschnitt 4.2.1.1 und 6.7.1). Ebenfalls sind Molche und Roboter mit derartiger Technik verfügbar, jedoch sind sie aufgrund hoher Kosten bzw. eines fehlenden Explosionsschutzes für Abwasserdruckleitungen derzeit nur in Einzelfällen geeignet. Nach Herstellerangaben wird derzeit ein Prototyp eines Roboters mit elektromagnetischer Prüftechnik getestet, der auf Abwasserdruckleitungen abgestimmt werden soll (vgl. Abschnitt 4.1.2). Darüber hinaus können auch **Rohrproben** entnommen werden und im Labor auf Korrosion und weitere Materialeigenschaften untersucht werden (vgl. Abschnitt 4.1.2).

Geräte zur **Deformations-** bzw. **Querschnittsvermessung** sind z.B. für eine Inspektion biegeweicher Rohre oder zur Vorbereitung von Sanierungsmaßnahmen interessant. Beispielsweise ist hier eine Inspektion mittels Kalibermolch denkbar, allerdings ist im Vorfeld sicherzustellen, dass die Leitungen keine Bogenradien kleiner $1,5xD$ oder sonstige Hindernisse, z.B. durch Ablagerungen, enthalten. Die im Freispiegelbereich verwendeten Laser-Lichtring-Verfahren sind bislang nicht explosionsgeschützt und können daher nicht unbedenklich eingesetzt werden. Mechanische Messsysteme, die z.B. anhand einer Seilwinde oder eines Spülschlauches durch die Leitung transportiert werden (vgl. Abschnitt 4.1.4.1), sind aufgrund

eingeschränkter Bogengängigkeit der Systeme oder fehlender Zugänglichkeiten zur Leitung ebenfalls nur eingeschränkt einsetzbar.

Inspektionen mittels **intelligenter Molche** aus dem Pipelinebereich sind bei Stahlleitungen sowie ggf. auch bei Gussleitungen (elektromagnetische Technik) denkbar und können nach Einschätzung von Herstellern möglicherweise auch auf PE- sowie PVC-Leitungen (Ultraschall) abgestimmt werden. Aufgrund hoher Mobilisationskosten eignen sie sich für den Abwasserbereich jedoch nur in Ausnahmefällen.

Bei **stichpunktartigen Untersuchungen** einer Leitung ist zu bedenken, dass Rückschlüsse auf den Gesamtzustand nur eingeschränkt möglich sind. In jedem Fall sollten bei Reparaturarbeiten die schadhaften Rohrabschnitte aufbewahrt und ggf. weiter untersucht werden.

Wie sich im Rahmen des Projektes zeigte, ist der Verlauf von Druckleitungen häufig nicht bekannt. Im Zusammenhang mit einer Leckageortung oder Sanierung bzw. Erneuerung der Leitung in gleicher Trasse werden daher zunächst Techniken zur **Ortung** benötigt. Hier können abhängig von Faktoren wie Verlegetiefe, Leitungsmaterial und Überdeckung bogengängige Schaumstoffmolche mit Ortungssender oder ggf. auch Georadarverfahren eingesetzt werden (zusätzlich abhängig von Faktoren wie Bodenart, Salz- und Wassergehalt). Für beide Verfahren müssen die Leitungstrassen begehbar bzw. befahrbar sein. Ebenfalls ist bei ausreichender Bogengängigkeit ein Einsatz von Molchen mit Messtechniken zur Lagebestimmung denkbar.

Im Projektverlauf offenbarte sich ein noch erheblicher **Entwicklungsbedarf** für Techniken zur Zustandserfassung unter den speziellen Randbedingungen von Abwasserdruckleitungen. Möglicherweise lassen sich die im Abwasserbereich bereits verbreiteten Techniken wie Fahrwagenkameras oder Schaumstoffmolche mit weitergehenden Prüftechniken aus dem industriellen Bereich kombinieren. Dabei ist der Einsatz neuer Techniken nicht nur für eine Zustandserfassung im Rahmen des Leitungsbetriebs, sondern auch für die Planung und Ausschreibung von Erneuerungs- und Sanierungsmaßnahmen notwendig. Hier sind insbesondere Techniken zur Ortung und Querschnittsvermessung von Bedeutung, um die Einsatzmöglichkeiten von Sanierungsverfahren im Einzelfall zuverlässiger abschätzen zu können. Da eine Außerbetriebnahme und Entleerung einer Abwasserdruckleitung i.d.R. mit hohem Aufwand verbunden sind, scheint insbesondere der Einsatz von Inspektionstechniken, die im vollgefüllten Zustand eingesetzt und mit Wasser durch die Leitung getrieben werden, vorteilhaft.

8 Handlungsempfehlungen

8.1 Zustandserfassung bestehender Leitungen

Auf Basis der Informationen zu Einsatzvoraussetzungen und Kosten derzeit verfügbarer Techniken sowie der Erfahrungen aus Testeinsätzen wurde in Zusammenarbeit mit dem Lenkungskreis der beteiligten Netzbetreiber diskutiert, welcher Untersuchungsumfang und welche Untersuchungsziele bei Druckleitungen unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Aspekten sinnvoll sind. Demnach wird eine generelle, regelmäßige Inspektion aller Druckleitungen, wie sie bei Freispiegelleitungen üblich ist, als unverhältnismäßig aufwendig erachtet. So bietet der Markt nicht die Techniken, um sämtliche Leitungen mit vertretbarem Aufwand untersuchen zu können. Insbesondere für Leitungen unter 100 mm Durchmesser gibt es kaum Möglichkeiten zur Zustandserfassung und auch für Leitungen größeren Leitungsdurchmessers ist eine Inspektion nur eingeschränkt möglich und/oder mit sehr hohem Aufwand verbunden. Nach Erfahrungen der beteiligten Netzbetreiber konnten außerdem bereits Druckleitungen ohne Weiteres über die geplante Nutzungsdauer und teils auch darüber hinaus störungsfrei betrieben werden, abgesehen von Geruchsproblemen durch Schwefelwasserstoff. Des Weiteren offenbart sich die Leistungsfähigkeit von Abwasserdruckleitungen im Gegensatz zu Freispiegelleitungen durch ihren täglichen Betrieb. Insbesondere wenn Fördermengen mittels MID überwacht und mit Förderdrücken am Pumpwerk, Drehzahlen und Energieverbrauch abgeglichen werden, fallen funktionelle Störungen deutlich früher auf als bei Freispiegelleitungen.

Statt genereller, turnusmäßiger Inspektionen scheinen daher bei Abwasserdruckleitungen **betriebs- und kostenoptimierte Maßnahmen** zur Zustandserfassung sinnvoll. Folgendes grundsätzliche Vorgehen wird vorgeschlagen (Abb. 130):

Schritt 1: Datenerfassung zum Druckleitungsbestand

Im ersten Schritt sollten zunächst sämtliche verfügbaren Daten zum Druckleitungsbestand zusammengestellt und fortlaufend aktualisiert werden. Es bietet sich an, dabei folgende Informationen aufzunehmen:

- Baujahr und geplante Nutzungsdauer,
- Material und Nennweite,
- aufgetretene Schäden und Betriebsstörungen (Art, Ursache, Datum, Position, Folgen und Kosten etc.),
- durchgeführte Reparaturmaßnahmen (Art, Datum, Position, Kosten etc.),
- Einzugsgebiet (Lage, Art und Anzahl der Anschlussnehmer etc.),
- anfallendes Abwasservolumen,
- Stauvolumina und Möglichkeiten zur Umleitung,
- Abzweige bzw. im Verlauf der Leitung angeschlossene Leitungen (Position, Nennweite, Anschlussnehmer etc.).

Schritt 2: Risikobeurteilung

Im zweiten Schritt bietet sich eine Risikobeurteilung für jede Leitung an, um entscheiden zu können, ob und in welchem Umfang Untersuchungen notwendig sind. Das Risiko wird nach ISO 31000 „Risk management – Principles and guidelines“ [136] als **Auswirkungen** eines Ereignisses in Verbindungen mit seiner **Eintrittswahrscheinlichkeit** beschrieben. In Bezug auf Abwasserdruckleitungen wäre somit die Wahrscheinlichkeit für einen Schadensfall bzw. Betriebsausfall der Leitung (Substanz-Unsicherheit) und das Ausmaß der Konsequenzen zu betrachten. Eine Risikobeurteilung umfasst entsprechend der Norm die drei Punkte Risiko-identifikation, -analyse und -bewertung. Die *Risikoidentifikation* dient zunächst dazu, alle möglichen Risiken zu erkennen und zu beschreiben (z.B. mittels Checkliste oder Brainstorming). Bei der anschließenden *Risikoanalyse* wird die Risikohöhe eines Ereignisses unter Berücksichtigung seiner Wahrscheinlichkeit und Auswirkungen eingeschätzt. Abschließend wird im Rahmen der *Risikobewertung* entschieden, inwieweit ein Risiko tolerierbar ist und ob Maßnahmen zur Senkung notwendig sind.

Die Risikobeurteilung sollte sich auf die „besten verfügbaren Informationen“ [136] stützen. Da Bewertungshilfen zu Schadensrisiken bei Abwasserdruckleitungen in Abhängigkeit von Faktoren wie Material und Alter fehlen sowie die Konsequenzen nur abgeschätzt werden können, ist nur eine **vereinfachte Risikoanalyse** möglich. Dabei sind die Erfahrungen des Betreibers gefragt. Vor diesem Hintergrund bietet sich für eine Abschätzung von Eintrittswahrscheinlichkeit und Konsequenzen eine vereinfachte Bewertungsmatrix mit den Einstufungen „gering“, „mittel“ und „hoch“ an (vgl. Abb. 129).

Zur Einstufung der **Eintrittswahrscheinlichkeit** eines Schadens/Betriebsausfalls können z.B. Faktoren wie Alter und Material der Leitung sowie bereits aufgetretene Schäden an der zu bewertenden oder anderen Leitungen des Betreibers herangezogen werden. Bewertungshilfen zur Einschätzung des Risikopotentials fehlen bislang. Möglicherweise können Auswertungen der Wasserversorger als grobe Entscheidungshilfen herangezogen werden. Zum Beispiel soll Anfang des Jahres 2011 eine Bewertungsmatrix zur Einstufung des Korrosions-Gefährdungspotenzials metallischer Leitungen abhängig von Leitungsmaterial, Korrosionsschutz und Bodenart als Ergänzung zur Zustandsbewertung nach DVGW Arbeitsblatt GW 9 erscheinen [137,138]. Da bei Gussleitungen für Trink- und Abwasser vergleichbare Materialien eingesetzt werden, die sich erst ab ca. 1990 durch ihre Innenauskleidung unterscheiden, dürften die Ansätze des Arbeitsblattes für die Außenkorrosion übertragbar sein [139,140] (Korrosionsschutz Abwasser-Gussrohre s. Abschnitt 3.1.1.1). Allerdings sind beim aggressiveren Medium Abwasser höhere Raten für die Innenkorrosion wahrscheinlich [139,140].

Die **Konsequenzen** eines Schadens/Betriebsausfalls einer Druckleitung lassen sich in Form von Kosten beziffern. Hierfür müssen sowohl direkte Kosten als auch Folgekosten in Betracht gezogen werden. Direkte Kosten können beispielsweise zur Schadensbehebung an Leitung sowie Geländeoberfläche anfallen und Folgekosten können z.B. durch Einstau von Abwasser bei den Anschlussnehmern entstehen. Für die Bewertung des Ausmaßes der Konsequenzen bzw. des Schadensausmaßes können zum Beispiel folgende Punkte in Betracht kommen:

- Schäden an der Leitung: z.B. Kosten für Reparaturen der Leitung und Wiederherstellung der Geländeroberfläche, Wasserhaltung,
- Schäden bei Anschlussnehmern: z.B. durch Abwassereinstau in Gebäuden und Betriebsausfälle in Firmen,
- Gefährdungen und Beeinträchtigungen der Öffentlichkeit: z.B. durch Behinderungen im Straßenverkehr oder von Fußgängern durch mögliche Schäden an der Geländeroberfläche,
- Beeinträchtigung der Umwelt: Verschmutzung von Boden und Grundwasser, insbesondere in Wasserschutz-, Naturschutz- und Naherholungsgebieten.

Zur groben Voreinstufung der Konsequenzen kann es hilfreich sein, die Leitungen anhand der Anzahl von Anschlussnehmern bzw. des transportierten Abwasservolumens zu gruppieren. Selbstverständlich kann dies nicht der alleinige Faktor zur Bewertung sein, allerdings kann dieses Vorgehen Tendenzen liefern. Beispielsweise kann eine Vorgruppierung wie folgt aussehen:

- Anschlussdruckleitung: Schließt einzelne Anschlussnehmer ans Netz an (tendenziell eher Konsequenzen geringeren Ausmaßes),
- Sammeldruckleitung: Sammelt und transportiert Abwasser mehrerer Anschlussnehmer, z.B. einer Siedlung (tendenziell eher Konsequenzen mittleren Ausmaßes),
- Transportdruckleitung: Transportiert das gesammelte Abwasser zahlreicher Anschlussnehmer zu einem Übergabepunkt, z.B. eines Siedlungs- oder Industriegebietes (tendenziell eher Konsequenzen hohen Ausmaßes).

Bei der abschließenden **Risikobewertung** spielen die **Sicherheitsanforderungen** des Betreibers und der gewünschte **Vorwarnbedarf** für einen möglichen Schaden oder Betriebsausfall eine wesentliche Rolle. Wie Diskussionen mit den beteiligten Netzbetreibern im Lenkungskreis des Projektes zeigten, sind die Sicherheitsanforderungen unterschiedlich und variieren von Betreiber zu Betreiber. Entsprechend können bei der Beurteilung, inwieweit die abgeschätzten Risiken tolerierbar sind, unterschiedliche Einstufungen entstehen (vgl. Abb. 129). Folgende drei Akzeptanzbereiche werden vorgeschlagen:

- Geringes Risiko: Das Risiko ist bereits gering, sodass keine weiteren Maßnahmen zur Minderung des Risikos notwendig sind.
- Mittleres Risiko: Das Risiko liegt in einem noch vertretbaren Bereich, sodass der Zustand zugelassen wird. Allerdings sollten einfache betriebliche Maßnahmen zur Überwachung der Funktionsfähigkeit der Leitung ergriffen werden, um das Risiko mit finanziell und technisch vertretbarem Aufwand zu kontrollieren (siehe unten „betriebliche Zustandserfassung“).
- Hohes Risiko: Das Risiko liegt in einem nicht akzeptablen Bereich und muss durch entsprechende Maßnahmen reduziert und in den vertretbaren Bereich gebracht werden. Dies kann durch Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens/Betriebsausfalls oder durch eine Minimierung der Konsequenzen erreicht werden. Die Wahrscheinlichkeit eines Betriebsausfalls kann zum Beispiel durch eine Erneuerung

oder Zustandserfassung der Leitung mit Neubewertung der Wahrscheinlichkeit beeinflusst werden. Das Schadensausmaß einer betrieblichen Störung könnte beispielsweise durch ein größeres Stauvolumen am Pumpwerk oder durch kurzfristig bereitstehende Umleitungsmöglichkeiten für das anfallende Abwasser reduziert werden.

In Abb. 129 sind drei verschiedene Bewertungsbeispiele dargestellt. Beispiel C stellt den Fall dar, dass ein Betreiber oder eine Behörde grundsätzlich nur Risiken als hoch bzw. inakzeptabel einstuft, wenn das Schadensausmaß eines Betriebsausfalls unabhängig von seiner Wahrscheinlichkeit eine vorgegebene Schwelle überschreitet. In Beispiel A und B werden zusätzlich mögliche Betriebsausfälle mit geringerem Schadensausmaß und hoher Wahrscheinlichkeit als hohes bzw. inakzeptables Risiko bewertet. Als gering wird ein Risiko in Beispiel B nur dann eingestuft, wenn ein Schaden bzw. Betriebsausfall einer Leitung unwahrscheinlich ist und zudem ein geringes Schadensausmaß mit sich führt. In den Beispielen A und C fallen auch Leitungen in den Bereich „geringes Risiko“, wenn ein wenig wahrscheinlicher Betriebsausfall Konsequenzen mittleren Ausmaßes nach sich zieht. Im Vergleich sind in Beispiel B hohe und in Beispiel C niedrige Sicherheitsanforderungen an den Betrieb dargestellt.

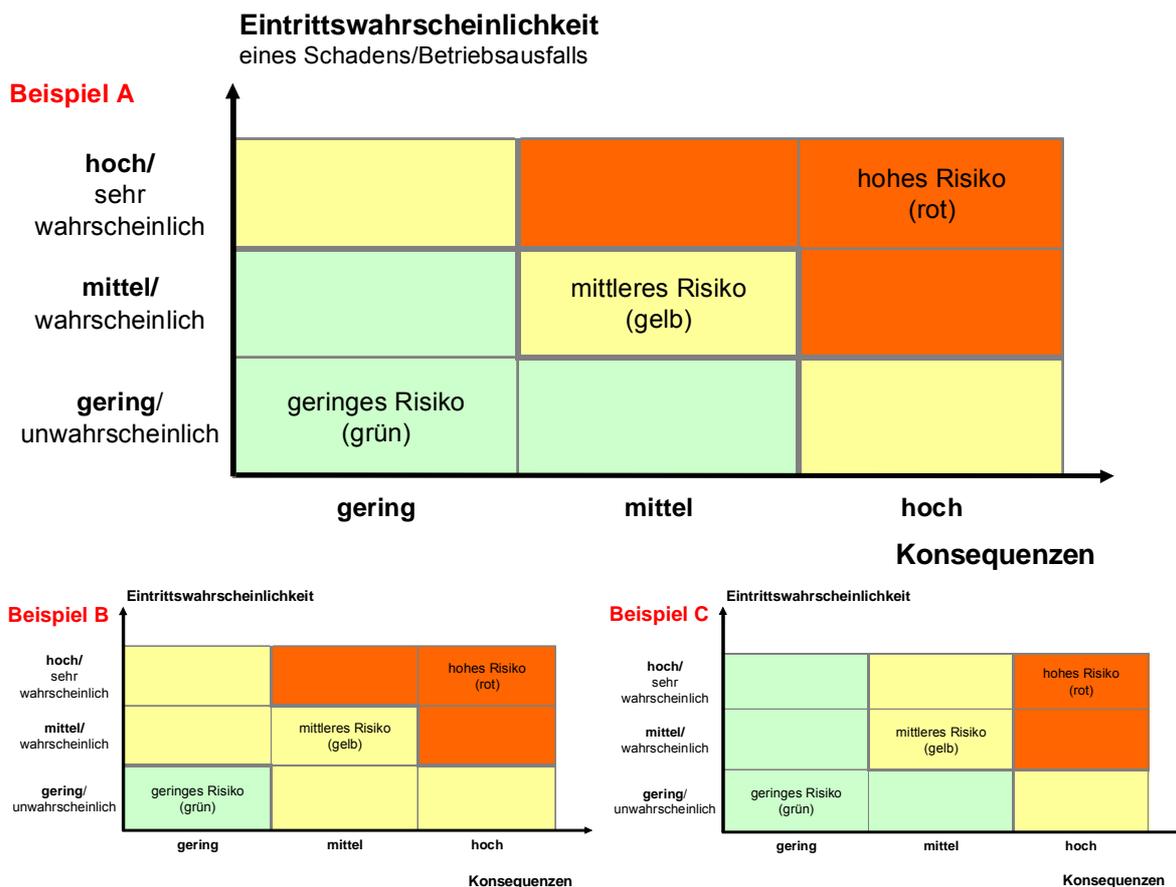


Abb. 129: Beispiele für Risikomatrizen zur Risikobewertung

Schritt 3: Maßnahmen zur Zustandserfassung

Aufgrund der Risikobeurteilung des Betreibers können im nächsten Schritt Prioritäten sowie der Umfang weiterer Maßnahmen am Druckleitungsbestand festgelegt werden. Bei Leitungen mit hohem Risiko besteht grundsätzlich ein stärkerer Handlungsbedarf als bei Leitungen mit mittlerem Risiko.

Betriebliche Zustandserfassung:

Bevor aufwendige Maßnahmen für eine weitgehende Zustandserfassung des Leitungsbestands eingeleitet werden, sollten zunächst alle betriebsüblichen Möglichkeiten einer Zustandserfassung im Rahmen des Leitungsbetriebs genutzt werden. Abwasserdruckleitungen mit Pumpenbetrieb können schon im Rahmen ihres Betriebs auf **funktionelle Störungen** und ihre **Leistungsfähigkeit** überwacht werden: Stellen sich Querschnittsreduzierungen, z.B. durch Ablagerungen oder Schäden ein, steigt der Reibungswiderstand in der Leitung und der Förderdruck am Pumpwerk. Bei Pumpen mit konstanter Drehzahl sinkt die Fördermenge entsprechend ab, sodass sie länger laufen müssen, um identische Abwassermengen zu fördern. Der Energieverbrauch steigt. Bei drehzahlgesteuerten Pumpen erhöht sich die Drehzahl der Pumpen, wenn diese abhängig von den anfallenden Abwassermengen bzw. Fördermengen geregelt werden, sodass sich die Leistungsaufnahme der Pumpe erhöht.

Zu beachten ist, dass Änderungen der oben genannten Kennwerte nur Indizien für mögliche Störungen sein können und gleichbleibende Werte nicht den Rückschluss erlauben, die Leitung sei frei von Schäden. Abnehmende Förderströme können beispielsweise auch mit Luft einschläüssen in der Leitung oder mit einem Verschleiß der Pumpe zusammenhängen. Vermindert sich der Fließquerschnitt in einem teilgefüllten Leitungsabschnitt (z.B. Gefällestrecke zum Leitungsende), wirkt sich dies nicht zwangsläufig auf die Pumpenförderströme aus. Rückschlüsse auf die Standsicherheit von Leitungen sind nicht möglich und auch Undichtigkeiten müssen nicht zwangsläufig schon im Betrieb erkennbar sein.

Grundsätzlich bietet sich für alle Druckleitungen, deren Ausfall zu Schäden mittleren oder hohen Ausmaßes führen könnte, insbesondere für größere Transportdruckleitungen, eine dauerhafte Überwachung der Leistungsfähigkeit an. Folgende Kennwerte können an der Pumpstation aufgezeichnet werden:

- Förderströme der Pumpe (MID),
- Betriebsdruck am Pumpwerk,
- Förderfrequenz bzw. Umdrehungen pro Minute bei drehzahlgeregelten Pumpen,
- Stromaufnahme bzw. Energieverbrauch, Pumpenlaufzeiten,
- anfallende Abwassermengen bzw. Füllstand des Pumpensumpfs.

Im Idealfall werden sämtliche oben genannten Daten aufgezeichnet und in regelmäßigen Abständen ausgewertet. Um Rückschlüsse auf mögliche Querschnittseinschränkungen ziehen zu können, müssen jedoch nicht sämtliche Kenndaten vorliegen. Beispielsweise kann ein gesteigerter Energieverbrauch bei gleichbleibender Abwassermenge ein Hinweis auf Querschnittsreduzierungen sein, wenn eine Verringerung der Pumpenleistung ausgeschlossen werden kann.

Darüber hinaus können **Wasserdruckprüfungen** sinnvoll sein, um weitergehende Informationen über den Zustand einer Leitung zu gewinnen. Vor dem Hintergrund fehlender Prüfkriterien für erdüberdeckte Abwasserdruckleitungen im Bestand bietet es sich an, den Prüfdruck am Betriebsdruck der Leitung zu orientieren. Abhängig von den Absperrmöglichkeiten, dem Höhenprofil und den Entlüftungsmöglichkeiten einer Leitung lassen sich Druckprüfungen unterschiedlich schwierig umsetzen (vgl. Abschnitt 4.3). Da bei den Netzbetreibern kaum Erfahrungen mit der Prüfung von bestehenden, erdüberdeckten Abwasserdruckleitungen vorliegen und ein angepasstes Prüfverfahren fehlt, besteht diesbezüglich ein weiterer Forschungsbedarf.

Zeigen sich **Mängel** bei der betrieblichen Zustandserfassung, sollten weitere Schritte eingeleitet werden. Bei vermuteten Querschnittsreduzierungen bieten sich zunächst Reinigungsmaßnahmen mittels Molch oder Impuls-Spülung an (vgl. [70]), Undichtigkeiten sollten durch Reparatur, Sanierung oder Erneuerung behoben werden. Zum Auffinden von Leckagen oder Ursachen funktioneller Störungen sind ggf. weitere Maßnahmen zur Zustandserfassung notwendig.

Im Rahmen einer betrieblichen Zustandserfassung ist es darüber hinaus sinnvoll, sämtliche **betrieblichen Kosten** zusammenzustellen, um den **Optimierungsbedarf** weiter konkretisieren zu können. Kosten im Rahmen des Leitungsbetriebs können beispielsweise anfallen für:

- Energiebedarf der Pumpen, Nachblasstationen, Dosieranlagen,
- Personal und Fremdleistungen für Wartungsarbeiten an Pumpen, Armaturen und Be- und Entlüftungsventilen,
- Material und Fremdleistungen für Erneuerung und Überholung von Pumpen,
- Material, Fremdleistungen und Personal zur Geruchsbekämpfung,
- Personal und Fremdleistungen für bereits durchgeführte Reinigungsmaßnahmen an Pumpstation, Leitung und Entlüftungsventilen,
- Personal, Material und Fremdleistungen im Zusammenhang mit Schäden, Betriebsausfällen und Reparaturen.

Weitergehende Zustandserfassung:

Bei Leitungen, deren Risiko eines Betriebsausfalls als hoch eingestuft wird oder bei denen eine betriebliche Zustandserfassung Mängel zeigte, sind weitere Maßnahmen erforderlich. Für die Planung dieser sollten **Kosten und Nutzen** verschiedener Maßnahmen zur Zustandserfassung gegenübergestellt und mit den Kosten für Erneuerung oder Sanierung verglichen werden.

Um abschätzen zu können, welche Techniken an Leitung im Bestand eingesetzt werden können, sollten zunächst weitere Informationen zu den **baulichen Randbedingungen** der Leitung eingeholt werden, soweit noch nicht vorliegend:

- Position, Größe, Zustand und Funktionsfähigkeit sämtlicher Zugangsmöglichkeiten zur Leitung (Ortsbegehung): Schächte, Revisionsöffnungen, Be- und Entlüftungsventile, lösbare Flanschverbindungen in der Pumpstation etc.,

- Verlauf der Leitung (Besichtigung der Leitungstrasse): Abschätzen von Verlauf und Höhenlage der Leitung, Vergleich mit Planungsunterlagen,
- Vermutete Bögen in der Trasse (Lage und Biegeradius),
- Betriebsdrücke an der Pumpstation und im Leitungsverlauf, Drücke beim Stillstand der Pumpe,
- Möglichkeiten, der Pumpstation Wasser zuzuleiten (Art und Menge), z.B. über Hydrant oder Vorfluter,
- Anschlussmöglichkeiten für externe Pumpen in der Pumpstation.

Abhängig von Leitungsmaterial und befürchteten Schäden können **Zielstellungen** einer weitergehenden Zustandserfassung definiert werden (z.B. Korrosionsprüfung der Rohrwand, Auffinden undichter Verbindungen, Leckageortung, Leitungsortung). Auf Basis der Inspektionsziele sowie der baulichen Randbedingungen einer Leitung und den Einsatzvoraussetzungen verschiedener Techniken (vgl. Abschnitt 8.1) kann abgeschätzt werden, welche Techniken geeignet sein könnten bzw. welche Umbauarbeiten an der Leitung erforderlich sind. Ein technisch und wirtschaftlich sinnvoller Inspektionsumfang sollte auf Basis eines Kostenvergleichs unterschiedlich aufwendiger Inspektionsmaßnahmen mit Kosten für Erneuerung oder Sanierung festgelegt werden. Untersuchungen in geringem Umfang könnten beispielsweise stichpunktartige Inspektionen gut zugänglicher oder befürchteter Problemstellen (z.B. Hochpunkte) mittels Kamera darstellen, ggf. in Verbindung mit weiterer Prüftechnik, beispielsweise Wirbelstrom bzw. Radar zur Rohrwandprüfung von Guss- bzw. Asbestzementrohren. Ebenfalls sind stichpunktartige Untersuchungen der Leitung von außen möglich, indem die Leitung freigelegt und von außen geprüft und/oder ein Rohrstück zur weiteren Untersuchung entnommen wird. Einen weitreichenden Umfang würde eine Inspektion mittels Molchtechnik darstellen.

Nach Abschluss der Inspektionsmaßnahmen sollte der Zustand der Leitung abgeschätzt und eine erneute **Risikobewertung** hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit eines Betriebsausfalls vorgenommen werden. Sinkt das eingestufte Risiko und kann als mittel bzw. vertretbar eingestuft werden, wird empfohlen, den Betrieb der Leitung anhand von Durchflussmessungen zu überwachen (s. betriebliche Zustandserfassung). Bleibt das Risiko im hohen Bereich, sollten weitere Maßnahmen eingeleitet werden, um das Risiko abzusenken. Dies können weitergehende Inspektionsmaßnahmen sein, die zu einer Neubewertung des Leitungszustands führen, aber auch Maßnahmen zur Schadensbegrenzung (z.B. vergrößerter Stauraum, Notfallplan), oder die Erneuerung bzw. die Sanierung der Leitung.

Das in Abb. 130 dargestellte Ablaufschema fasst das vorgeschlagene Vorgehen zur Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen zusammen. Da die Basisfaktoren zur Risiko- beurteilung, wie Zustand der Leitung, Zahl der Anschlussnehmer und Sicherheitsanforderungen des Betreibers, **Änderungen** unterliegen, sollte in angemessenen Intervallen eine Neubewertung vorgenommen werden.

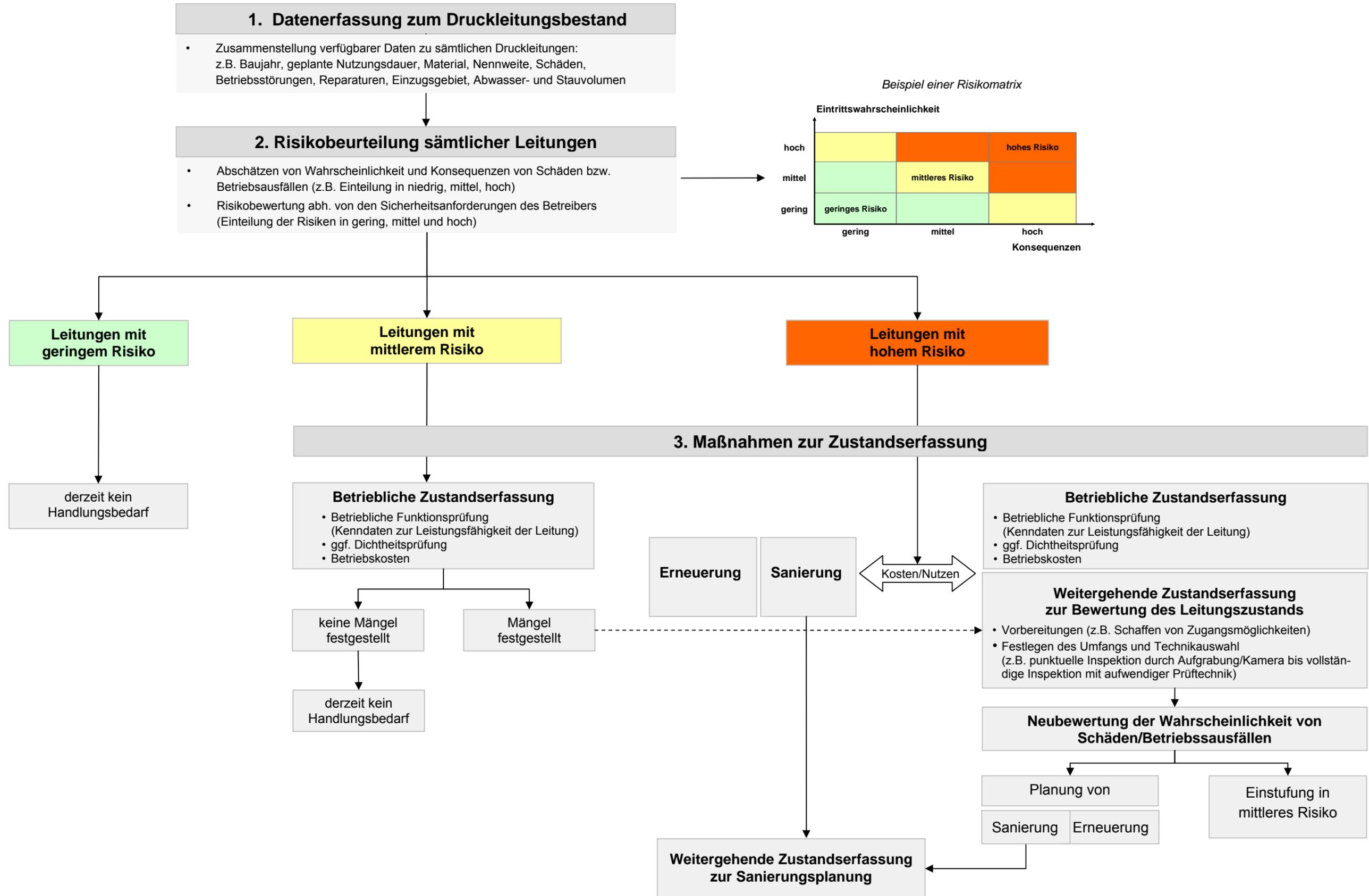


Abb. 130: Handlungsschema für die Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen

8.2 Planung und Bau

Bereits beim Bau einer Leitung können einige Punkte beachtet werden, um die spätere Inspezierbarkeit oder Möglichkeit zur Dichtheitsprüfung zu erleichtern. Allerdings muss ein Mittelweg zwischen „idealen“ Inspektionsbedingungen für derzeit verfügbare Techniken und Bauaufwand gewählt werden, damit Kosten und Nutzen einander noch in einem vernünftigen Maß gegenüber stehen. So kann es beispielsweise nicht Ziel sein, jede Leitung z.B. alle 100 m mit einem Schacht auszustatten, wie in der Freispiegelkanalisation. Vielmehr ist es sinnvoll, **bauliche Anpassungen abhängig** von der Nennweite einer Druckleitung bzw. der zu fördernden Abwassermenge und des resultierenden **Schadenspotentials** bei einem Ausfall der Leitung zu wählen. Dementsprechend bietet es sich in erster Linie für größere Sammel- und Transportleitungen an, bei der Planung eine spätere Zustandserfassung zu berücksichtigen, insbesondere wenn die **Baukosten** hoch sind und ein Betrieb der Leitungen über die geplante Nutzungsdauer hinaus deutliche Kostenvorteile bringen könnte. Nachfolgend werden die wichtigsten baulichen Faktoren genannt, die eine spätere Zustandserfassung erleichtern können:

Zustandserfassung im Rahmen des Leitungsbetriebs:

Funktionsprüfung / Überwachen der Leistungsfähigkeit einer Leitung:

- Einbau von Drucksensoren und induktiven Durchflussmessgeräten am Pumpwerk,
- Kontrollmöglichkeit bzw. Datenspeicherung von Stromaufnahme und Frequenz (bei variabler Drehzahl) der Pumpen.

Dichtheitsprüfung:

- Einbau von Absperrorganen am Pumpwerk und am Druckleitungsende,
- Anschlüsse bzw. Möglichkeiten zur Leitungsbefüllung und zum Druckaufbau während der Prüfung,
- Einrichten von Teilabschnitten, insbesondere bei großen Leitungslängen und Höhendifferenzen (Absperrorgane und Öffnungen),
- Entlüftungsventile an Hochpunkten,
- Einrichten von Absperrorganen an abzweigenden Leitungen.

Molchreinigung / Kontrolle der Durchgängigkeit der Leitung:

- Molchschleuse in der Pumpstation, z.B. durch 45°-Abzweig größerer Nennweite oder aufgeweitete Endstück an der Steigleitung (vgl. Abb. 31, Seite 44),
- Flanschverbindungen an der Molchschleuse zum Anschluss externer Pumpen bzw. Bypass von der Pumpe (Eintreiben des Molches),
- ausreichende Förderhöhe der Pumpe zum Molchvortrieb bzw. Anschlussmöglichkeit für eine externe Pumpe (notwendige Druckdifferenz zum Betriebsdruck für den Vortrieb eines Reinigungsmolches liegt bei ca. 1 bar bis 4 bar (vgl. [70]),
- Wasserbereitstellung zum Vortrieb des Molches,

- Einbau von Zugangsöffnungen zur Leitung bei Querschnittsänderungen,
- Einrichten von Absperrorganen an abzweigenden Leitungen.

Weitergehende Zustandserfassung / Inspektionsmaßnahmen:

- Verwendung langgezogener Bögen für Richtungsänderungen → Passierbarkeit von Bögen für Fahrwagen, Molche, Roboter, eingespülte / eingesogene Techniken etc.,
- Platzierung von Inspektionsöffnungen an unvermeidbaren engen Bogenformstücken → Einsetzen und/oder Empfangen von Fahrwagen, Molchen, Robotern, eingespülten / eingesogenen Techniken etc.,
- Einbau von Entlüftungsventilen an Hochpunkten mit Zugangsmöglichkeit zur Leitung → Vermeidung von Lufteinschlüssen; Zugangsmöglichkeiten an „kritischen“ Punkten wegen möglicher Lufteinschlüsse und damit verbundener erhöhter Korrosionsgefahr z.B. für Asbestzement- und Gussleitungen,
- Einbau von Armaturen zur Entleerung an Tiefpunkten und in der Pumpstation (Entleerung in Richtung Pumpstation bei entsprechendem Gefälle) → für Inspektionen in entleerter Leitung z.B. mit Fahrwagen, Roboter, eingesogener Technik,
- Einbau von Inspektionsöffnungen bei Querschnittsänderungen → notwendig für Inspektionstechniken, die auf die Rohrnennweite abgestimmt werden wie z.B. Molche, Roboter, Kanalradar, Saugschirme,
- Einrichten von Teilabschnitten der Leitung mit Schächten, Schiebern und Zugangsöffnungen beispielsweise alle 300-500 m → Möglichkeit zur abschnittweisen Inspektion, Prüfung und Entleerung zur Zustandserfassung und zur Eingrenzung von Problemstellen bei Störungen etc.,
- Bereitstellung einer Frischwasserentnahmestelle in der Nähe der Pumpstation → Frischwasserspülung als vorbereitende Maßnahme zur Inspektion und Dichtheitsprüfung; Vortrieb von Molchen und eingespülten Inspektionstechniken etc.,
- Einbau einer Molchschleuse → Einsatz und Vortrieb von Molchen zur vorbereitenden Reinigung, Leitungsortung und ggf. Inspektion,
- Anschlussmöglichkeit externer Pumpen bzw. Einbau von Pumpen mit Förderhöhe-Reserve → Vortrieb von Molchen zur vorbereitenden Reinigung, Ortung und ggf. Inspektion; Druckaufbau zur akustischen Leckageortung etc..

Welche baulichen Anpassungen letztendlich sinnvoll sind, hängt außer von den Kosten für die Erneuerung einer Leitung und dem potentiellen Ausmaß einer betrieblichen Störung aufgrund eines Leitungsschadens von den Sicherheitsanforderungen des Betreibers und der gewählten Strategie der Zustandserfassung ab. In jedem Fall sollten jedoch **IST-Aufnahmen** von Leitungstrasse, Höhenverlauf und Ausführung von Bögen stattfinden und Pläne aktualisiert werden. So können bereits im Vorfeld entscheidende Faktoren hinsichtlich Inspezierbarkeit, Entleerbarkeit, Druckverhältnissen sowie Füllungszuständen geklärt und es kann auf aufwendige Leitungsortungen z.B. zur Vorbereitung von Sanierungen verzichtet werden. Darüber hinaus können später die Geräte zur Innen-Inspektion bzw. aufgezeichnete Schad-

stellen leichter geortet und Techniken von außen, wie z.B. Leckageortung mittels Tracergas, zielgerichteter eingesetzt werden.

9 Fazit

Abwasserdruckleitungen unterscheiden sich in zahlreichen baulichen und betrieblichen Randbedingungen von Freispiegelleitungen. Eine Inspektion und Zustandserfassung dieser Leitungen war in der Vergangenheit i.d.R. nur als Inaugenscheinnahme des Bereichs der Kontroll- und Reinigungsöffnungen bzw. Funktionsfähigkeitsprüfung der Armaturen vorgesehen (SüwV Kan NRW [3]). Bei Netzbetreibern bestehen daher große Unsicherheiten, wie der Zustand von Abwasserdruckleitungen weitergehend erfasst und bewertet werden kann. Diese Situation verschärft sich auch dadurch, dass Techniken für die Zustandserfassung von Freispiegelnetzen, wie die TV-Inspektion, nicht auf Abwasserdruckleitungen abgestimmt sind:

- Bei den für Abwasserdruckleitungen eingesetzten Leitungsmaterialien sind vermehrt Schäden zu erwarten, die optisch kaum oder gar nicht erkennbar sind. Zu nennen sind hier beispielsweise Außenkorrosion und Graphitierung (Form der Korrosion) in Gussrohren, Änderungen in der Zementmatrix mit Festigkeitsverlust in Asbestzementrohren und Ermüdungserscheinungen in Kunststoffrohren. Schwächungen der Rohrwand können dann bei diesen Leitungen wiederum bei Belastung mit Innendruck zu Rissen bzw. einem Bersten des Rohres führen. Derartige Schäden kündigen sich optisch i.d.R. nicht an, sodass eine Zustandsbewertung allein auf Basis von optischen Aufnahmen zu Fehlinterpretationen, z.B. durch den Eindruck eines scheinbar mängelfreien Zustands, führen kann.
- Inspektionen mittels Fahrwagenkamera ohne bauliche Änderungen an den Leitungen sind häufig nur in Teilabschnitten möglich und mit hohem Aufwand verbunden. Als Ursache sind fehlende oder weit auseinander liegender Revisionsöffnungen sowie Bögen, Steigungen und Gefällestrrecken, ebenso wie aufwendige oder eingeschränkte Entleerungsmöglichkeiten von Druckleitungen zu nennen.
- Die Leistungsfähigkeit von Abwasserdruckleitungen wird im Gegensatz zu Freispiegelleitungen bereits durch Überwachungsmaßnahmen des täglichen Betriebs überprüft. Insbesondere wenn die Förderströme der Pumpen mittels MID überwacht werden, fallen funktionelle Störungen, z.B. durch Abflusshindernisse, deutlich früher auf als bei Freispiegelleitungen.

Vor diesem Hintergrund wurde ein Überblick zu **alternativen Inspektionstechniken** mit Funktionsweisen, Einsatzvoraussetzungen, Kosten und Hinweisen zur Einsetzbarkeit in Abwasserdruckleitungen zusammengestellt (s. Kapitel 4 und 7). Die Technikrecherche und exemplarische Praxiseinsätze haben gezeigt:

- Der Markt bietet, insbesondere für Leitungen ab DN 150/200, zahlreiche Inspektionstechniken, die prinzipiell bei Abwasserdruckleitungen eingesetzt werden können. Viele dieser Techniken wurden allerdings für Druckleitungen der Industrie oder für Versorgungsleitungen konzipiert, sodass sie auf die baulichen Randbedingungen und Materialien dieser Leitungen (vor allem Stahl) abgestimmt sind. Ihre Einsatzmöglichkeiten bei Abwasserdruckleitungen sind häufig eingeschränkt.

- Es ist davon auszugehen, dass der Zustand vieler Leitungen nur durch Kombination unterschiedlicher Inspektionstechniken und mit vorbereitenden baulichen Änderungen mit großem technischen und finanziellen Aufwand untersucht werden kann. Insbesondere Leitungen mit Durchmessern ab 150/200 mm scheinen so inspizierbar, bei kleineren Durchmessern sind die Möglichkeiten deutlich geringer. Inwieweit der Aufwand im Einzelfall vertretbar ist, hängt wesentlich von der betrieblichen Bedeutung und dem Gefährdungspotenzial der Leitung ab.

Somit gibt es für Abwasserdruckleitungen bislang nicht „die ideale“ Technik auf dem Markt, mit der sich Inspektionen einfach und kosteneffektiv wie im Freispiegelbereich umsetzen lassen. Zu hinterfragen ist daher, in welchem **Umfang Maßnahmen zur Zustandserfassung** von Abwasserdruckleitungen überhaupt sinnvoll sind und wie die Inspektionsziele mit Blick auf die verfügbare Techniken realistisch und unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Aspekten sinnvoll formuliert werden können. Aus wirtschaftlichen Gründen kann es dabei ein Ziel sein, die Abwasserdruckleitungen möglichst lange zu nutzen, ohne unververtretbare Risiken für die Funktionsfähigkeit und Umwelt einzugehen.

In Zusammenarbeit mit den beteiligten Netzbetreibern wurden **Handlungsempfehlungen** erarbeitet, um geeignete Zustandserfassungsmaßnahmen für Abwasserdruckleitungen auszuwählen. Vorgeschlagen wird ein dreistufiges Vorgehen, das sich an der Wahrscheinlichkeit und den Auswirkungen von Schadensfällen bzw. Betriebsstörungen orientiert (vgl. Kapitel 8):

- 1) Im ersten Schritt sollen zunächst sämtliche verfügbaren **Daten zum Druckleitungsbestand** zusammengestellt und fortlaufend aktualisiert werden. Wichtige Informationen sind beispielsweise Baujahr und geplante Nutzungsdauer, Material und Nennweite, Informationen zu bereits aufgetretenen Schäden und Betriebsstörungen, Reparaturmaßnahmen, Art und Zahl der Anschlussnehmer sowie die anfallenden Abwassermengen.
- 2) Im zweiten Schritt bietet sich eine **Risikobeurteilung** für jede Leitung an. Unter dem Begriff Risiko werden die Auswirkungen eines Ereignisses in Verbindungen mit seiner Eintrittswahrscheinlichkeit verstanden [136]. In Bezug auf Abwasserdruckleitungen sind somit die Wahrscheinlichkeit für einen Schadensfall bzw. Betriebsausfall der Leitung (Substanzunsicherheit) und das Ausmaß der Konsequenzen zu betrachten. Da Arbeitshilfen zur Bewertung von Schadensrisiken von Abwasserdruckleitungen bislang fehlen, können Eintrittswahrscheinlichkeit und Konsequenzen nur auf Basis der Erfahrungen des Betreibers („gesunder Ingenieurverstand“) abgeschätzt werden.

Zur Einstufung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens/Betriebsausfalls können z.B. Faktoren wie Alter und Material der Leitung sowie bereits aufgetretene Schäden herangezogen werden. Die Konsequenzen lassen sich in Form von direkten Kosten, z.B. für Reparatur und Wasserhaltung, und Folgekosten, z.B. durch Schäden bei Anschlussnehmern, beziffern. Zur Ersteinschätzung der Konsequenzen (gering, mittel, hoch) können Leitungen ggf. anhand der Anzahl der Anschlussnehmer bzw. des anfallenden Abwasservolumens gruppiert werden. Unterschieden werden kann z.B. in Anschlussdruckleitungen mit einzelnen Anschlussnehmern, Sammeldruckleitungen mit mehreren Anschlussnehmern und größeren Transportleitungen mit eher hohem Schadensausmaß.

Abschließend werden dann die ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten und Konsequenzen einem durch den Betreiber definierten Risikobereich, d.h. geringes Risiko, mittleres Risiko oder hohes Risiko, zugeordnet (vgl. Abschnitt 8.1).

- 3) Auf Basis der Risikobeurteilung durch den Betreiber können im dritten Schritt gezielt **betriebliche Maßnahmen zur Zustandserfassung** in ihrem Umfang festgelegt und priorisiert werden. Generell bietet sich für Druckleitungen, deren Ausfall zu Schäden mittleren oder hohen Ausmaßes führen kann - insbesondere für größere Transportdruckleitungen - eine dauerhafte Überwachung der Leistungsfähigkeit an. Dies kann umgesetzt werden, indem im Rahmen einer betrieblichen Zustandserfassung z.B. die Förderströme der Pumpen, der Betriebsdruck am Pumpwerk, die Förderfrequenzen und Stromaufnahmen sowie anfallende Abwassermengen regelmäßig kontrolliert werden.

Darüber hinaus können **Wasserdruckprüfungen** der Leitungen sinnvoll sein, um weiterreichende Informationen zum Zustand zu gewinnen. Allerdings fehlt für bestehende, erdüberdeckte Abwasserdruckleitungen ein angepasstes Prüfverfahren. Das Vorgehen bei Dichtheitsprüfungen und die Interpretation der Prüfergebnisse lassen sich nicht ohne weiteres aus den Erfahrungen mit der Prüfung von Freispiegelkanälen oder Trinkwasserleitungen ableiten. Im Zusammenhang mit der Bauabnahmeprüfung von Abwasserdruckleitungen wird zwar sowohl in DIN EN 1610 [120] als auch in DIN EN 1671 [5] auf das Prüfverfahren der DIN EN 805 [121] für Trinkwasserleitungen verwiesen, jedoch können die in DIN EN 805 vorausgesetzten baulichen Randbedingungen häufig nicht eingehalten werden, z.B. hinsichtlich Zugänglichkeit, Entlüftung und Absperrmöglichkeiten während der Prüfung. Darüber hinaus liegen für die Dichtheitsprüfung im Bestand keinerlei Prüfkriterien bzw. Grenzwerte zur Bewertung des Prüfergebnisses vor. Auch werden die im Abwasserbereich relevanten Gefährdungspotenziale durch EN 805 nicht berücksichtigt. Die entsprechenden abwassertechnischen Regeln in DWA Merkblatt 143-6 [123] für Dichtheitsprüfungen beziehen sich wiederum lediglich auf Freispiegelleitungen. Im Übrigen stellt sich die Frage, inwieweit die für eine Neubauabnahme geforderten Prüfdrücke überhaupt für Dichtheitsprüfungen im Bestand angemessen sind. So werden im DWA Merkblatt 143-6 für die Prüfung von Freispiegelleitungen im Bestand geringere Prüfdrücke angesetzt als für die Neubauabnahme nach DWA Arbeitsblatt 139 [124].

Darüber hinausgehende, **weitergehende Maßnahmen zur Zustandserfassung** sind bei Leitungen erforderlich, deren Schadensrisiko als hoch eingestuft wird oder für die in der betrieblichen Zustandserfassung inakzeptable Mängel festgestellt wurden. Bei der Planung weitergehender Maßnahmen sollten **Kosten und Nutzen** verschiedener Maßnahmen zur Zustandserfassung einander gegenübergestellt und diese mit den Kosten und dem Nutzen für eine Erneuerung bzw. Sanierung der Leitung verglichen werden. Im Ergebnis kann dann ein technisch und wirtschaftlich sinnvoller Untersuchungsumfang festgelegt werden. Dieser kann von stichpunktartigen optischen Inspektionen gut zugänglicher, kritischer Leitungsbereiche (z.B. Hochpunkte) bishin zur umfassenden Inspektion des gesamten Leitungsverlaufs mit aufwendigen Techniken gehen.

Im Rahmen des Projektes wurde somit ein **Handlungsschema** entwickelt, das den Netzbetreibern einen Weg zur Risikobeurteilung und Zustandserfassung ihres Druckleitungsbestandes aufzeigt. Die Erstbewertung von möglichen Techniken zur Zustandserfassung in Kapitel 4 und 7, mit Angaben zu Einsatzbereichen, Einsatzvoraussetzungen und Kosten, rundet dieses Bild ab.

10 Ausblick

Die Diskussion der Projektergebnisse mit den beteiligten Netzbetreibern bestätigte den großen Bedarf für weitergehende Untersuchungen zum Thema „Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen“. Fünf Schwerpunkte wurden dabei konkretisiert:

Die im Rahmen dieses Projektes erarbeiteten Handlungsempfehlungen sehen vor, Art und Umfang von Inspektionsmaßnahmen auf Basis einer Risikobeurteilung einzuleiten, die sich an der Wahrscheinlichkeit und den Auswirkungen von Schadensfällen bzw. Betriebsstörungen an Abwasserdruckleitungen orientiert. Zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit eines Schadens- bzw. Betriebsausfalls der Leitungen fehlen jedoch bislang zuverlässige Bewertungsgrundlagen, um **Schadensrisiken** nachvollziehbar zu ermitteln.

Die derzeit angebotenen Techniken, auch für andere Leitungsarten (Gasnetze, Pipelines usw.), lassen eine wirtschaftlich sinnvolle Anwendung in Abwasserdruckleitungen nicht zu. Der **Entwicklungsbedarf für Techniken** zur Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen ist daher immens. Möglicherweise lassen sich die im Abwasserbereich bereits verbreiteten Techniken wie Fahrwagenkameras oder Schaumstoffmolche mit weitergehenden Prüftechniken aus dem industriellen Bereich kombinieren. Dabei ist der Einsatz neuer Techniken nicht nur für eine Zustandserfassung im Rahmen des Leitungsbetriebs, sondern auch für die Planung und Ausschreibung von Erneuerungs- und Sanierungsmaßnahmen von Interesse. In enger Abstimmung zwischen Netzbetreibern und Technikanbietern ließen sich hier geeignete Anforderungsprofile für die (Weiter-)entwicklung von Inspektionstechniken erarbeiten.

Dichtheitsprüfungen an Abwasserdruckleitungen sind deutlich schwieriger umzusetzen als an Freispigelleitungen, beispielsweise aufgrund fehlender Zugangsmöglichkeiten oder Entlüftungsmöglichkeiten. Eigene technische Regelungen für die Prüfung erdüberdeckter, bestehender Abwasserdruckleitungen existieren nicht. In der DIN EN 1610 [120] wird lediglich für die Bauabnahme auf das Prüfverfahren für Trinkwasserleitungen nach DIN EN 805 [121] verwiesen. Zu klären ist, inwieweit dieses Prüfverfahren überhaupt auf Abwasserdruckleitungen im Bestand übertragen werden kann und welche Prüfkriterien und Grenzwerte dann angemessen sind.

Das entwickelte Handlungsschema enthält bisher keine Empfehlungen zur Festlegung von **Intervallen für die Zustandserfassung**. Die betriebliche Planung (Aufwandsabschätzung) hängt aber hiervon wesentlich ab. Inwieweit überhaupt allgemeine Grundsätze zur Bestimmung von Intervallen für die Zustandserfassung oder sogar Richtwerte für diese Intervalle entwickelt werden können, ist derzeit noch offen.

Kenntnisse über die derzeit auf dem Markt **verfügbaren Sanierungstechniken** und deren Einsatzvoraussetzungen und Kosten sind gefragt. Zum einen sollten Kosten und Nutzen von Maßnahmen zur betrieblichen Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen deutlich günstiger sein als für eine Sanierung bzw. Erneuerung. Zum anderen kann auch die Vorbereitung einer Sanierungsmaßnahme eine besondere Zustandserfassung erforderlich machen, z.B. Verformungsmessungen an der Altleitung.

11 Literaturverzeichnis

- [1] Bosseler, B.; Birkner, T.; Sokoll, O.; Brüggemann, T.: Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) bei kommunalen Netzbetreibern und Wasserverbänden in NRW. IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, Dezember 2003
- [2] Bosseler, B.; Gronau, U.: Erfahrungsbericht – Reinigung und Inspektion von Dükern, Untersuchung im Auftrag des Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2002
- [3] 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, Seiten 64-67, Düsseldorf, Januar 1995
- [4] DWA-A 116-2: Besondere Entwässerungsverfahren, Teil 2: Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. DWA, Hennef, Mai 2007
- [5] DIN EN 1671: Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag, Berlin, August 1997
- [6] Handbuch Wasser 4: Druckentwässerung – Hinweise zur Planung, Bau und Betrieb. Herausgeber: Zentraler Fachdienst Wasser – Boden – Abfall – Altlasten bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, November 1986
- [7] DWA-A 112: Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Sonderbauwerken in Abwasserleitungen und –kanälen. DWA, Hennef, August 2007
- [8] DIN 4054: Abwassertechnik – Grundbegriffe. Beuth Verlag, Berlin, August 2003
- [9] Vischer D.; Huber A.: Wasserbau - Hydrologische Grundlagen, Elemente des Wasserbaus, Nutz- und Schutzbauten an Binnengewässern. Springer Verlag; 5. Auflage, 1993
- [10] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG), Geltung ab 01.03.2010
- [11] Runderlass des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen: Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen. Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen Nr. 14, 10. Februar 1995
- [12] DIN EN 805: Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag, Berlin, März 2000
- [13] DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Deutsche Fassung EN 752:2008, Beuth Verlag, Berlin, April 2008
- [14] DWA-A 147: Betriebsaufwand für die Kanalisation – Betriebsaufgaben und Häufigkeiten. DWA, Hennef, April 2005
- [15] Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien), Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 2005

-
- [16] Information der Wavin GmbH, Twist, November 2010
- [17] Information der REHAU AG + Co, Erlagen, November 2010
- [18] Auskunft der Fa. Duktus Rohrsysteme Wetzlar GmbH, Wetzlar, Dezember 2010
- [19] Auskunft der Saint-Gobain Gussrohr GmbH & Co. KG, Dezember 2010
- [20] Roscher, H.; Rammelsberg, J.; Braun, T.; Brussig, P.; Ahrens, J.; Stiller, B.; Riege, U.; Wildermuth, R.; Gerdes, K.; Zech, H.; Weigt, R.; Kleinau, A.; Rose, A.; Gaebelin, W.; Sommer, J.; Möller, W.; Schlosser, H.-U.; Böhme, A.; Kröfges, W.: Sanierung Städtischer Wasserversorgungsnetze – Strategien, Verfahren, Fallbeispiele der Rehabilitation, Verlag Bauwesen, Berlin, 2000
- [21] ATV-DVWK-A 157: Bauwerke der Kanalisation. November 2000
- [22] Bosseler, B; Bennerscheidt, C.: Einsatz der Ejektortechnik bei der Dückerreinigung und -inspektion. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, Juni 2004
- [23] Erläuterungen zu Formblättern zur Schadenstatistik Wasser des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW)
- [24] Niehuss, B: DVGW-Schadensstatistik Wasser: Ergebnisse aus den Jahren 1997 bis 2004. energie/wasser-praxis, 10/2006, Seite 18-23
- [25] Information der Freien Enzyklopädie Wikipedia unter [http://de.wikipedia.org/wiki/Spongiose_\(Korrosion\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Spongiose_(Korrosion)), November 2010
- [26] Auskunft des IWW Rheinisch Westfälisches Institut für Wasser, Biebesheim, Juni 2010
- [27] Handbuch Gussrohrtechnik, herausgegeben von der Fachgemeinschaft Gusseisener Rohre, Köln 1996
- [28] LaQue, F. L.: The Corrosion Resistance of Ductile Iron in: Szeliga, M. J.: Corrosion of Ductile Iron Piping, A Compilation of Classic NACE Papers, NACE International, Houston 1995
- [29] Arbeitsblatt GW 9: Beurteilung von Böden hinsichtlich ihres Korrosionsverhaltens auf erdverlegte Rohrleitungen und Behälter aus unlegierten und niedriglegierten Eisenwerkstoffen. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW), Bonn, März 1986
- [30] Steinrath, H.: Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der Aggressivität von Böden in: DVGW Fachausschuss „Korrosion Rohrnetz“, Frankfurt, 1966
- [31] Kottmann, A.: Rohre und Rohrwerkstoffe in der Gas- und Wasserversorgung. Schriftreihe Energie- und Umwelttechnik, Vulkan-Verlag, Essen, 1997
- [32] DIN 50929: Korrosion der Metalle, Teil 3: Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung – Rohrleitungen und Bauteile in Böden und Wässern, Beuth Verlag, Berlin, September 1985
- [33] Auskunft der Jason Consultants Group, Genf, Schweiz, 2010

-
- [34] Sorge, H.-C.: Technische Zustandsbewertung Metallischer Wasserversorgungsleitungen als Beitrag zur Rehabilitationsplanung. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades „Doktor-Ingenieur“, Forschungsarbeit an der Fachhochschule Erfurt, Verteidigt an der Bauhaus-Universität Weimar, März 2007
 - [35] Auskunft der Saint-Gobain Gussrohr GmbH & Co. KG, Juni 2010
 - [36] Information der Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg, Juni 2010
 - [37] Roscher, H.; Sorge, H.-C.; Berger, W.; Mälzer, D.; Ahrens, J.; Rödiger, S.; Weigt, R.; Zech, H.; Hüttemann, A.; Diburg, B.; Bosseler, B.: Sanierung und Erneuerung von Ver- und Entsorgungsnetzen – Sanierung und Erneuerung von Wasserrohrnetzen. Skript der Bauhaus Universität Weimar zum Weiterbildenden Studium Wasser und Umwelt, 4. Auflage.
 - [38] Thomson, J; Morrison, R.; Sangster, T.; Hayward, P.: Inspection Guidelines for Wastewater Force Mains. Water Environment Research Foundation (WERF), Alexandria (Virginia, USA) bearbeitet durch Jason Consultants LLC, Columbus (Ohio, USA), 2010
 - [39] Information der Technischen Werke Emmerich am Rhein GmbH, Emmerich am Rhein, Juni 2010
 - [40] Information der ESW Entwässerung Stadt Witten, Witten, Juni 2010
 - [41] Information des IWW Rheinisch Westfälisches Institut für Wasser, Biebesheim, August 2010
 - [42] Hünerberg, K.; Tessendorf, H.: Handbuch für Asbestzementrohre; 2. Auflage; Berlin Heidelberg New York; Springer Verlag 1977.
 - [43] Reimann, M.; Woltering, M.: Kombination aus Kurz- und Langrohrrelining. bi Umweltbau 4/10, Seite 94-97, April 2010
 - [44] Auskunft der IWB Ingenieurgesellschaft mbH, Berlin, November 2010
 - [45] Information des Zweckverband Ostholstein (ZVO Entwässerung), Sierksdorf, Juli 2010
 - [46] Information der Karl Reiner GmbH, Wertingen, Juli 2010
 - [47] Information der Fa. M.J. OOMEN BV Sprundel (Niederlande), November 2010
 - [48] Auskunft der Lönne Entsorgung GmbH & Co KG (Paderborn), Oktober 2010
 - [49] Auskunft der Baierle Kanalservice GmbH (Fremdingen), Oktober 2010
 - [50] Auskunft der Kanalprofi GmbH (Weinsheim), Oktober 2010
 - [51] Auskunft der Karl Reiner GmbH, Mai 2010
 - [52] Rechnungen der Karl Reiner GmbH, Mai 2010
 - [53] Meineke, E. D.: Einsatz von Radar in der Kanalisation. bi Umweltbau 3/04, Seite 60-63, März 2004
 - [54] Auskunft der Fa. M.J. OOMEN BV Sprundel (Niederlande), September 2010

-
- [55] Auskunft des Büro für angewandte Geophysik und Probennahmetechnik edm, Sandstedt, September 2010
 - [56] Bosseler, B.; Sokoll, O.; Redmann, A.; Brüggemann, T.: Profilierte Großrohre aus Kunststoff – Praxiserfahrungen und Prüfkonzepte. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, Mai 2005
 - [57] Angebot des Büro für angewandte Geophysik und Probennahmetechnik edm, Sandstedt, September 2010
 - [58] Information der Freien Enyklopädie Wikipeda unter [http://de.wikipedia.org/wiki/Abstandsmessung_\(optisch\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Abstandsmessung_(optisch))
 - [59] Stocker, M.; Wintersperger, B.: Weg, Winkel, Positionsmessung. Industrielle Elektrotechnik unter http://www.blablubb.at/wp-content/uploads/weg_winkel_position.pdf, September 2008
 - [60] Information der Kanalprofi GmbH (Weinsheim) unter <http://www.kanalprofi.de/leistungen/deformationsmessung/>, Oktober 2010
 - [61] Information der Baierle Kanalservice GmbH (Fremdingen) unter <http://www.kanalservice.tv/html/deformationsmessung.html>, Oktober 2010
 - [62] Information der IBAK Helmut Hunger GmbH & Co KG (Kiel) unter http://www.ibak.de/fileadmin/Hunger/IBAK/Downloads/Prospekte/deutsch/06_IBAK_ILP_01_de_02.2009.pdf, Oktober 2010
 - [63] Information der Fa. CleanFlow Systems (Auckland, Neuseeland) unter <http://www.cleanflowsystems.com/ClearLineProduct.html>, Oktober
 - [64] Auskunft der Baierle Kanalservice GmbH (Fremdingen), Oktober 2010
 - [65] Auskunft der Onyx Rohr- und Kanal-Service GmbH & Co. KG, Hannover (Tochter der Veolia Umweltservice GmbH Deutschland), Oktober 2010
 - [66] Information der INSPECTOR SYSTEMS GmbH unter <http://www.inspectorsystems.de>, Rödermark, Dezember 2010
 - [67] Auskunft der INSPECTOR SYSTEMS GmbH, Rödermark, Juni 2010
 - [68] Auskunft der INSPECTOR SYSTEMS GmbH, Juli 2010
 - [69] Skerra, Bernd: Handbuch der Molchtechnik. Vulkan-Verlag GmbH, 2000
 - [70] Bosseler, B; Harting, K.: Abwasserdruckleitungen – Möglichkeiten und Verfahren zur Reinigung. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, Dezember 2006
 - [71] Auskunft der NDT Systems & Services AG, Stutensee, Juni 2010
 - [72] Auskunft der ROSEN Swiss AG, Standort Lingen, Juni 2010
 - [73] Auskunft der GOTTSBERG Leak Detection GmbH & Co. KG, Hamburg, Juni 2010
 - [74] Angebot der Fa. Stocksiefen GmbH, Asbach, 2010

-
- [75] Angebot der Fa. RTK Herbert Keller, Linz, 2010
- [76] Information der NDT Systems & Services AG, Stutensee unter http://www.ndt-global.de/de/0dc-tech_princip/de-c01_ultra.html, September 2010
- [77] Information der EVN Netz GmbH, Maria Enzersdorf (Österreich) unter <http://www.evn-netz.at/projekte/molchung.asp?technik=ultraschall#1>, Dezember 2009
- [78] Heptner, H.; Stroppe, H.: Magnetische und magnetinduktive Werkstoffprüfung. 3. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1972
- [79] Information der EVN Netz GmbH, Maria Enzersdorf (Österreich) unter <http://www.evn-netz.at/projekte/molchung.asp?technik=magnet#1>, Dezember 2009
- [80] Schneider, U; Reber, K.; Beller, M.: Intelligente Molche zur Korrosions-/Wanddickenmessung und Rissprüfung. In Schriftreihen aus dem Institut für Rohrleitungsbau Oldenburg IRO, Band 27, „Rohrleitungen – Eine unendliche Geschichte?“ Vulkan-Verlag Essen, 2003
- [81] Niese, F.: EMUS-Wanddickensensor für die Pipeline-Inspektion mit integrierter Wirbelstrom- und Streuflussprüfung. Dissertation zur Erlangung des Grades des Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät III Chemie, Pharmazie, Bio- und Werkstoffwissenschaften der Universität des Saarlandes, Mai 2010
- [82] Auskunft der Fa. Applus RTD Inspektionsgesellschaft mbH, Standort Bochum, Juli 2010
- [83] Information der ROSEN Swiss AG, Stans (Schweiz) unter <http://www.roseninspection.net/RosenInternet/InspectionServices/ILInspection/MetallLoss/AFD/>, September 2010
- [84] Information der Universität Magdeburg unter <http://www.uni-magdeburg.de/iwzfzp/EddyCation/dt/EddyCation.htm>, Oktober 2010
- [85] Information der Fa. Olympus Corporation unter <http://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/eca-tutorial/what-is-eca/basic/>, Juli 2010
- [86] Information der Fa. Analytic Pipe GmbH, Lingen, November 2011
- [87] Information der GOTTSBERG Leak Detection GmbH & Co. KG, Hamburg, Oktober 2010
- [88] Information der NDT Systems & Services AG, Stutensee, April 2009
- [89] Information der ROSEN Swiss AG, Stans (Schweiz) unter <http://www.roseninspection.net/RosenInternet/InspectionServices/ILInspection/Optical+Inspection/>, November 2010
- [90] Stein, D.; Bosseler, B.: Beurteilung von Verformungsmessungen an Abwasserkanälen aus biegeweichen Rohren. Korrespondenz Abwasser Nr. 7 1998, Seite 1266-1276
- [91] Auskunft der OPTIMESS Engineering GmbH (Gera), November 2010
- [92] Information der OPTIMESS Engineering GmbH (Gera), Oktober 2010
- [93] Information des Anbieters (Lizenznehmer) Applus RTD, Bochum, März 2010

-
- [94] Information der Fa. Pure Technologies Ltd., Calgary (Kanada) unter http://www.puretechnologiesltd.com/html/smartball_water.php, November 2010
- [95] Thomson, J; Morrison, R.; Sangster, T.; Hayward, P.: Inspection Guidelines for Ferrous Force Mains. Water Environment Research Foundation (WERF), Alexandria (Virginia, USA) bearbeitet durch Jason Consultants LLC, Columbus (Ohio, USA), 2007
- [96] Auskunft des Water Research Center (WRc), Swindon UK, November 2010
- [97] Information des Water Research Center (WRc), Swindon UK unter www.wrcplc.co.uk/default.aspx?item=867, Oktober 2010
- [98] Information der KontrollTechnik GmbH, Schwarmstedt unter www.kontrolltechnik.com, Oktober 2010
- [99] Information der Fa. Advanced Engineering Solutions Ltd (AESL), Cramlington (UK) unter www.pipeline-inspection.cim/smartcat/, Oktober 2010
- [100] Auskunft der Fa. GE Inspection Technologies, Hürth, Dezember 2010
- [101] Information der Fa. Appus RDT Inspektiongesellschaft mbH, Bochum, Juni 2010
- [102] Information der Fa. GE Inspection Technologies, Hürth unter www.geinspectiontechnologies.com/de/products/ut/tg/dms2.html, Oktober 2010
- [103] Information der Hermann Sewerin GmbH, Gütersloh unter http://www.sewerin.com/de/produkte/categorie-wasser/categorie_sub-elektroakustische-wasserlecksuche.html, Oktober 2010
- [104] Auskunft der Hermann Sewerin GmbH, Gütersloh, November 2010
- [105] Information des Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (Fraunhofer UMSICHT), Oberhausen unter www.umsicht.fraunhofer.de/lecksuche, Oktober 2010
- [106] Auskunft der DELU Deutsche Lackageortungs- und Umwelttechnik AG, Dorsten, November 2010
- [107] Auskunft der SCANDAT GmbH, Berlin, November 2010
- [108] Auskunft des Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut WKI, Braunschweig, November 2009
- [109] Information unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Bodenradar>, Oktober 2010
- [110] Information des Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik unter www.liag-hannover.de/methodenforschung-sektion/geoelektrik-elektromagnetik/forschungsfelder/bodennahe-erkundung/georadar.html, Oktober 2010
- [111] DWA Merkblatt 149-4: Zustandserfassung und –beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 4: Detektion von Lagerungsdefekten und Hohlräumen in der Umgebung von Leitungen, Juli 2008
- [112] Information Internetinformation unter <http://de.wikipedia.org/wiki/Permittivität>, Oktober 2010
- [113] Auskunft der DMT GmbH & Co. KG, Hamburg, August 2010

-
- [114] Auskunft der Detectino GmbH, Hannover, August 2010
- [115] Bayer, H.-J.; Koch, E.; Rameil, M.: Das europäische ORFEUS-Projekt – verbessertes Bodenradar zum Auffinden aller erdverlegten Leitungen. Unter www.orfeus-project.eu/publications/d27/orfeus_projekt_verbessertes.pdf, August 2008
- [116] Auskunft Detectino GmbH, Hildesheim, Dezember 2010
- [117] Auskunft der DMT GmbH & Co. KG, Hamburg, August 2010
- [118] Information des Lenkungskreises der Netzbetreiber zum vorliegenden Projekt, 2010
- [119] Information der Fa. Pressure Pipe Inspection Company, Mississauga (Ontario, Canada) unter <http://www.ppic.com/services/aet.shtml>, Oktober 2010
- [120] DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen. Beuth Verlag, Berlin, Oktober 1997
- [121] DIN EN 805: Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag, Berlin, März 2000
- [122] DVGW Arbeitsblatt W 400-2: Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV), Teil 2: Bau und Prüfung, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, September 2004
- [123] DWA-M 143-6: Dichtheitsprüfungen bestehender, erdüberschütteter Abwasserleitungen und –kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck - Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und –leitungen. DWA, Hennef, Juni 1998
- [124] DWA-A 139: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen. DWA, Hennef, Juni 1998
- [125] Auskunft des IWW Rheinisch Westfälisches Institut für Wasser, Biebesheim, August 2010
- [126] DIN 4045: Abwassertechnik, Begriffe. Beuth-Verlag, August 2003
- [127] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisationen; 3. Auflage; Verlag Ernst & Sohn; Berlin 1998
- [128] Information der Fa. Beck GmbH, Bad Rappenau, 2002
- [129] Information des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn unter <http://www.bbr.bund.de/bauwesen/umweltschutz/abwasservorflut.htm>, Mai 2004
- [130] Information der Fa. Bernhard Schmidt, Hennef, 2002
- [131] Lautrich, R.: Der Abwasserkanal - Handbuch für Planung, Ausführung und Betrieb. Verlag Paul und Parey, 4. Auflage 1980
- [132] Bosseler, B.; Bennerscheidt, C.; Fürst, R.: Einsatz der Ejektortechnik bei der Dückerreinigung und –inspektion. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, Juni 2004
- [133] Harting, K.; Bosseler, B.: Abwasserdruckleitungen – Möglichkeiten und Verfahren zur Reinigung. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Dezember 2006.
- [134] Information der Firmen KontrollTechnik GmbH und Applus RTD Deutschland Inspektionsgesellschaft mbH unter <http://www.slofec.de/>, August 2010

-
- [135] Information des wfw Zweckverband Wasserversorgung Fränkischer Wirtschaftsraum, Nürnberg, Juli 2010
 - [136] ISO 31000: Risk management – Principles an guidelines, November 2009
 - [137] DVGW Arbeitsblatt GW 9 Entwurf: Beurteilung der Korrosionsbelastung von erdüberdeckten Rohrleitungen und Behältern aus unlegierten und niedrig legierten Eisenwerkstoffen in Böden 07/2010. Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., Juli 2010
 - [138] Auskunft des Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau FITR gGmbH, Weimar, Juni/November 2010
 - [139] Auskunft Compagnie de Saint-Gobain Zweigniederlassung Deutschland, Juni 2010
 - [140] Auskunft des IWW Rheinisch Westfälisches Institut für Wasser, Biebesheim, Juni 2010