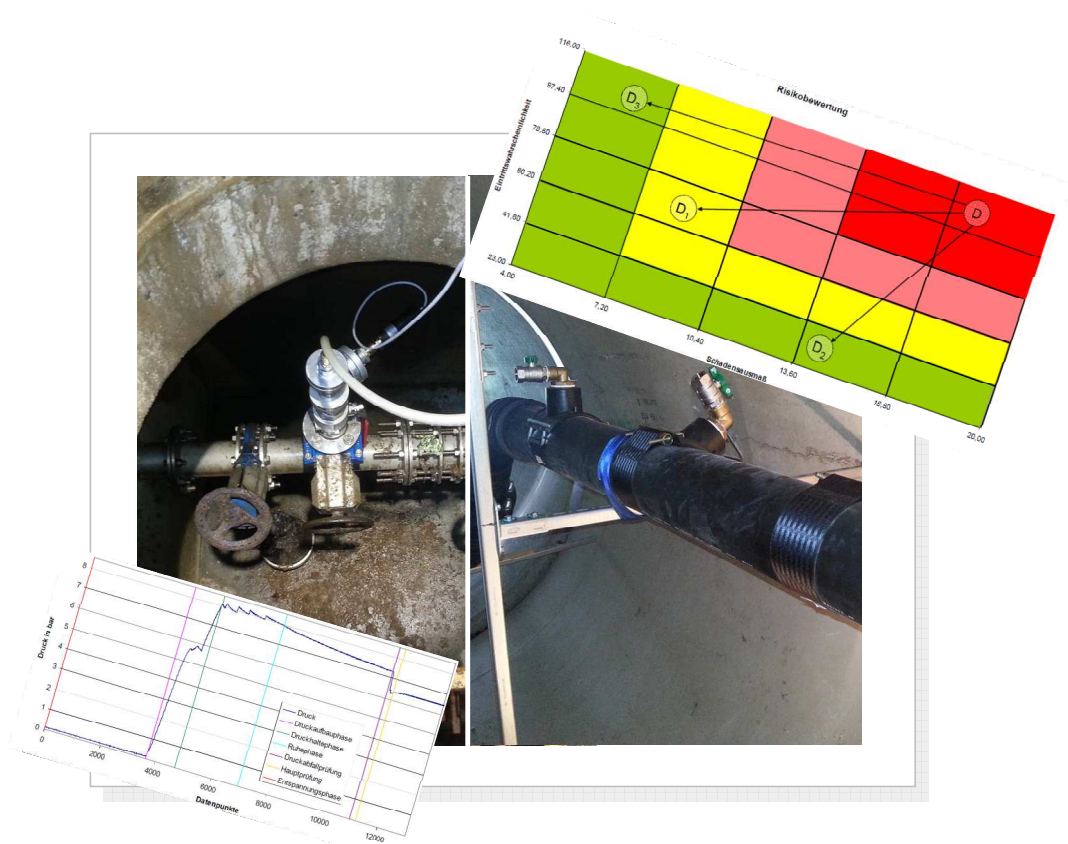


Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und –dükern

- Phase II -

Handlungsempfehlungen unter technischen
und wirtschaftlichen Aspekten

Kurzfassung



Gelsenkirchen, September 2015

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

Prof. Dr.-Ing. Bert Bosseler

Projektleitung und Bearbeitung

Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Sissis Kamarianakis

Dipl.-Ing. Martin Liebscher

Alexander Lücke, B. Eng

Dipl.-Ing. (FH) Kathrin Sokoll

Wir danken allen Mitgliedern des Lenkungskreises für die zahlreichen Anregungen und die fachlichen Diskussionen sowie die weitreichende Unterstützung bei der inhaltlichen Bearbeitung der 2. Phase des Forschungsprojektes:

Frau Dipl.-Ing. Martina Brehm – LANUV Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW,
Frau Dipl.-Ing. Bianca Diburg – Technische Werke Emmerich am Rhein GmbH,
Herr Jürgen Frick - Technische Betriebe Leverkusen,
Herr Dipl.-Ing. Frank Grauvogel – Technische Werke Burscheid AöR,
Herr Andreas Hans - Stadt Willich,
Herr Dipl.-Ing. Rainer Hein – Abwasserbetrieb der Stadt Billerbeck,
Herr Dipl.-Ing. Robert Hertler – Klärwerke und Kanalbetrieb der Stadt Stuttgart,
Herr Dipl.-Ing. (FH) Peter Jungblut - Abwasserbetrieb Erkelenz,
Herr Dipl.-Ing. Thomas Kopp – Stadtentwässerung Landeshauptstadt Kiel,
Herr Dipl.-Ing. Karl-W. Krebbing - Technische Werke Emmerich GmbH,
Herr Michael Lanz-Eckstein - ISN Infrastruktur Neuss AöR,
Herr Dipl.-Ing. Norbert Montag - Stadt Rietberg Abwasserbetrieb,
Herr Dipl.-Ing. (FH) Matthias Neumann – Stadt Gevelsberg Technische Betriebe - Technik
Frau Dipl.-Ing. Kirsten Oermann - LANUV Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW,
Herr Dipl.-Ing. Werner Rusteberg - Göttinger Entsorgungsbetriebe,
Herr Dipl.-Ing. Karsten Schliekert - Entwässerung Stadt Witten,
Herr Dipl.-Ing. Dietrich Schröder – Emschergenossenschaft,
Herr Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marco Schröder - Gemeindewerke Herzebrock-Clarholz,
Herr Dipl.-Ing. Joachim Schwarzrock – Emschergenossenschaft,
Herr Dipl.-Ing. Volker Thiele – Hamburger Stadtentwässerung,
Herr Michael Weniger - Entwässerung Stadt Witten,
Herr Oliver Zimmermann - Stadt Rietberg Abwasserbetrieb,
Herr Dipl.-Ing. Ugur Üstündag – Stadt Bottrop.

Inhaltsverzeichnis

1	VERANLASSUNG, ZIELSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE	1
2	ERARBEITUNG EINES ANFORDERUNGSPROFILS ZUR ENTWICKLUNG ANGEPASSTER TECHNIKEN	3
3	MESSGENAUIGKEITEN AUSGEWÄHLTER INSPEKTIONSTECHNIKEN	4
4	ZUSTANDBEWERTUNG MIT HILFE VON DICHTHEITSPRÜFUNGEN	6
5	VORGEHENSWEISE ZUR DICHTHEITSPRÜFUNG VON ABWASSERDRUCKLEITUNGEN IM BESTAND	9
6	SCHADENSRISEN	11
7	HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUR ABLEITUNG VON INTERVALLEN ZUR WIEDERHOLUNGSINSPEKTION ..	16
8	UMSETZUNG DER HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN BEI BETREIBERN	18
9	MARKTÜBERSICHT SANIERUNGSTECHNIKEN FÜR ABWASSERDRUCKLEITUNGEN	20
10	FAZIT	23
11	AUSBLICK.....	26
	LITERATURVERZEICHNIS	28

1 Veranlassung, Zielstellung und Vorgehensweise

In Nordrhein-Westfalen betreiben rund 90 % der Kanalnetzbetreiber Abwasserdruckleitungen [1]. Die Gesamtlänge der Druckleitungen in NRW beläuft sich auf rund 3.500 km und entspricht damit einem Anteil von knapp 4 % des gesamten öffentlichen Abwassernetzes [2]. Zwar haben Abwasserdruckleitungen einen kleinen Anteil am Gesamtnetz, ein Störfall infolge von Undichtheiten hat aber in der Regel große Auswirkungen auf die Umwelt. Daher ist es besonders wichtig, eine dauerhafte Dichtheit und Funktionsfähigkeit sicherzustellen.

Fällt eine Druckleitung bzw. die Pumpstation aus, können Einstauungen und Überschwemmungen und damit Risiken für Grundwasser und Vorfluter die Folge sein. Bei Undichtheiten der Leitungen kann Abwasser in Grundwasser und Boden gelangen und es können Hohlräume im umliegenden Erdreich entstehen, so dass auch Einbrüche an der Geländeoberfläche nicht auszuschließen sind. Ablagerungen in den Leitungen können in Verbindung mit erhöhten Betriebskosten verringerte Fördervolumina der Pumpen zur Folge haben. Um das Risiko von Schadens- bzw. Betriebsausfällen von Druckleitungen möglichst gering zu halten, sind regelmäßige Zustandsbewertungen der Leitungen erforderlich.

Im Rahmen der Phase I des Forschungsvorhabens „Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und -dükern – Handlungsempfehlungen unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten“ wurde deutlich, dass derzeit noch keine Techniken auf dem Markt verfügbar sind, mit denen sich aussagekräftige Inspektionen von Abwasserdruckleitungen ähnlich kosteneffektiv wie im Freispiegelbereich umsetzen lassen. Aus diesem Grund wurde im Rahmen der Phase I des Forschungsvorhabens ein auf die derzeitige Technik abgestimmtes Vorgehen zur Zustandserfassung entwickelt, bei dem Art und Umfang von Maßnahmen auf Basis einer **Risikobeurteilung** der Druckleitungen festgelegt werden.

Da bislang keine Bewertungsgrundlagen zur Abschätzung eines **Schadensrisikos** von Abwasserdruckleitungen vorliegen, können Eintrittswahrscheinlichkeiten von Schadens- bzw. Betriebsausfällen nur auf Basis des „Bauchgefühls“ und Ingenieurverstands abgeschätzt werden. Um Schadensrisiken zuverlässiger abschätzen zu können, werden seitens der Betreiber Bewertungshilfen benötigt. In diesem Rahmen ist ebenso zu klären, in welchen **Zeitintervallen** wiederkehrende Zustandserfassungen im Zuge der Risikobewertung sinnvoll sind und inwieweit sich überhaupt allgemeine Grundsätze zur Bestimmung von Intervallen für die Zustandserfassung entwickeln lassen.

Insbesondere vor dem Hintergrund, dass Inspektionen von Abwasserdruckleitungen mit den derzeit auf dem Markt verfügbaren Techniken nur eingeschränkt bzw. nur unter hohem technischem und finanziellem Aufwand möglich sind, treten **Wasserdruckprüfung** als Zustandserfassungsmaßnahmen in den Vordergrund. Für die Bauabnahme von Abwasserdruckleitungen wird in der DIN EN 1610 [3] auf das Prüfverfahren der DIN EN 805 [4] verwiesen. Dieses Prüfverfahren ist jedoch auf Trinkwasserleitungen abgestimmt worden und zudem für Bauabnahmeprüfungen konzipiert. Vor diesem Hintergrund ist zu klären, inwieweit das Prüfverfahren auch an bestehenden erdüberdeckten Abwasserdruckleitungen technisch umgesetzt werden kann und welche Prüfkriterien für Bestandsprüfungen an abwasserführenden Leitungen angemessen sind.

Da die derzeit am Markt angebotenen Inspektionstechniken eine wirtschaftlich sinnvolle Anwendung in Abwasserdruckleitungen nicht zulassen, besteht ein enormer **Entwicklungsbedarf**. Möglicherweise lassen sich die im Abwasserbereich bereits verbreiteten Techniken für Freispiegelleitungen mit Prüftechniken aus dem industriellen Bereich kombinieren. In enger Abstimmung zwischen Netzbetreibern und Technikanbietern entwickelte Anforderungsprofile könnten daher als Anstoß für die (Weiter-)entwicklung angepasster Techniken zur Inspektion von Abwasserdruckleitungen dienen.

Das Arbeitsprogramm der **Phase II** des Vorhabens setzt sich aus insgesamt dreizehn Arbeitspaketen zusammen. Die wesentlichen zu erwartenden Arbeitsergebnisse der Projektphase II des Untersuchungs- und Entwicklungsvorhabens können wie folgt beschrieben werden:

- a) ein mit Netzbetreibern und der Industrie abgestimmtes **Anforderungsprofil für Inspektionstechniken** für Abwasserdruckleitungen als Anstoß für (Weiter-) entwicklungen,
- b) **Informationen zur technischen Leistungsfähigkeit** bzw. **Messgenauigkeit** vielversprechender Inspektionstechniken (z.B. Kanalradar, Wirbelstromprüftechnik),
- c) **Dokumentation** von Dichtheitsprüfungen an Abwasserdruckleitungen im Bestand sowie **Beschreibung der Versuchsstrecke**,
- d) Erarbeitung einer **zeitlich verkürzten Prüftechnik** zur Bestimmung der Dichtheit von Druckleitungen im Bestand,
- e) Zusammenstellung relevanter **Einflussfaktoren**, die zur Abschätzung bzw. zum qualitativen Vergleich der **Wahrscheinlichkeit eines Schadens- und Betriebsausfalls der Leitungen** herangezogen werden können: z.B. Rohrwerkstoff, Baujahr; Konkretisierung der Risikobeurteilung des Handlungsschemas gemäß [5],
- f) Erarbeitung eines **qualitativen Risikomodells** zur Priorisierung einzelner Druckleitungen,
- g) **Risikoanalytische Bewertungen** an ausgewählten Druckleitungen,
- h) Übersicht über derzeitige **Sanierungstechniken** für Druckleitungen.

2 Erarbeitung eines Anforderungsprofils zur Entwicklung angepasster Techniken

Mit dem Ziel Hersteller von Inspektionstechniken für die baulichen Randbedingungen und Besonderheiten von Abwasserdruckleitungen zu sensibilisieren und einen Anstoß zur Entwicklung angepasster Techniken zur Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und Dükern zu setzen, wurde am IKT ein Workshop mit Technikherstellern und den projektbeteiligten Netzbetreibern des Lenkungskreises durchgeführt. Hierbei waren sowohl Hersteller von Inspektionstechniken für Abwasserleitungen als auch Hersteller von Inspektionstechniken für Versorgungsleitungen (Öl, Gas, Wasser, Industrie, etc.) einbezogen.

Anforderungen werden in Anlehnung an die DIN 1986-30 [6] grundsätzlich in Dichtheit, Standsicherheit und Betriebssicherheit unterteilt. Hinsichtlich der Inspektion von Abwasserdruckleitungen wurden Anforderungen an Inspektionstechniken wie bauliche Randbedingungen, Vortriebsmöglichkeiten und mögliche Untersuchungsziele mit vorhandenen Regelwerken, Normen und Arbeitsblätter abgeglichen. Normen und Arbeitsblätter weisen allerdings nur Informationen zum Druckprüfverfahren (Dichtheitsprüfung) sowie Anforderungen zu Messgeräten auf. Grundlegende Anforderungen an Inspektionstechniken werden dort nicht gestellt (vgl. Langfassung Abschnitt 2.1.2).

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass im Rahmen des Workshops sowohl Technikhersteller als auch die Netzbetreiber konkrete Anforderungen an Inspektionstechniken gestellt haben. Nach Auswertung aller Ergebnisse und Bewertungen bleibt festzuhalten, dass

- **die Leckageortung,**
- **eventuelle Schäden an der Rohrwand sowie**
- **die Dichtheit eine entscheidende Rolle spielt.**

Nach Abwägung aller Ergebnisse und Bewertungen hat sich der Lenkungskreis für die weitere Untersuchung dreier Messverfahren entschieden. Aufgrund der Tatsache, dass die meisten Abwasserdruckrohrleitungen aus Stahl, Gusseisen, Asbestzement oder Kunststoff gefertigt sind, ist demnach eine gezielte Untersuchung einzelner Rohrmaterialien zu forcieren. Aus diesem Grund wurden folgende Untersuchungen beschlossen, die im Zuge eines ausführlichen Prüfprogramms intensiv diskutiert wurden.

- Material Stahl: **Kanalradar, SLOFEC**
- Material Gusseisen: **SLOFEC**
- Material Asbestzement: **Kanalradar, Phenolphthalein**
- Material Kunststoff: **Bau einer Teststrecke und Inspektion über Dichtheitsprüfungen**

3 Messgenauigkeiten ausgewählter Inspektionstechniken

Auf Basis des Workshops, der ersten Lenungskreissitzungen sowie des hohen Anteils an Asbestzement-, Stahl- und Gussleitungen im Bestand wurden die Inspektionstechniken **Kanalradar für Asbestzement** und **SloFec für Stahl/Guss** ausgewählt, um diese auf ihre Messgenauigkeit zu überprüfen. Für eine Untersuchung der Messgenauigkeit wurden Testmessungen an Rohrproben durchgeführt und In-situ Einsätze der Inspektionstechniken begleitet sowie dokumentiert. Die Rohrproben wurden schließlich durch das IKT untersucht und die tatsächlichen Messwerte den Prüfergebnissen der Inspektionstechniken gegenübergestellt. Für ausführliche Informationen sei an dieser Stelle auf die Langfassung des Abschlussberichts verwiesen. Die Bild 1 und Bild 2 zeigen beide untersuchten Techniken.



Bild 1 Einführung des Kanalradars in die zu prüfende Strecke (links), Öffnung der Haltung (rechts)



Bild 2 SloFec-Prüfsystem ohne Antrieb (links), Messtechnik zur Auswertung einer Prüfung (rechts)

Die Nutzung des **Kanalradars** ist nach ersten Untersuchungen grundsätzlich für **Asbestzementleitungen** möglich. Die dabei erzielten Prüfergebnisse werden durch den pH-Test mittels Phenolphthalein bestätigt. **Grundsätzlich werden Wandschwächungen sowie**

Fehlstellen im Material durch das Kanalradar gefunden. Da sich die Messgenauigkeit des Kanalradars bisher nur durch den Einsatz von Phenolphthalein bestimmen lässt, bleibt die genaue Aussagekraft noch abzuwarten, bis das entsprechende Forschungsvorhaben des IWW (Ende 2014) beendet ist. Bis dahin dient Phenolphthalein lediglich als Kontrollmessung.

Ziel der Untersuchung des **SloFec-Verfahrens** war es, mit Hilfe des hier dargestellten Verfahrens, die Größenordnung von Defekten/Leckagen in einer Leitung zu detektieren. Eine noch detailliertere Aussage zur Messgenauigkeit war jedoch aufgrund der geringen Probestückanzahl (Stahl und Guss) nicht möglich. **Insgesamt konnten sowohl sprunghafte Wanddickenänderungen als auch flach einlaufend simulierte Korrosionsstellen bei Stahl und Guss detektiert werden.** Die Anwendung der Inspektionseinheit am Material Stahl brachte nahezu eine Messgenauigkeit von 100% (Vergleich: gemessene Werte zu tatsächlicher Fehlertiefe und -breite) mit sich. Es wurden Fehlertiefen sowie deren exakte Position im Rohr bestimmt. Im Vergleich zu der Prüfung mit Stahl brachte die Anwendung an Guss zwar eine exakte Lagebestimmung mit sich, wies aber Differenzen bei der Bestimmung der Fehlertiefen auf. Auch wurden Fehler mit einem Durchmesser von <6,5 mm unzureichend erkannt. Laut Herstellerangabe liegt dieses Problem an der Breite der Sensoren, so dass mit Hilfe schmalerer Sensoren auch kleinere Durchmesser detektiert werden können.

Abschließend kann festgehalten werden, dass ein Einsatz der ausgewählten Inspektionstechniken für die einzelnen Rohrmaterialien durchaus möglich ist, so dass klare und eindeutige Aussagen hinsichtlich des Rohrzustandes gemacht werden können.

4 Zustandsbewertung mit Hilfe von Dichtheitsprüfungen

Dichtheitsprüfungen gehören zu den Standardprüfungen im Rahmen einer Bauabnahme von Abwasserfreispiegel und -druckleitungen. Für Abwasserdruckleitungen verweist die DIN EN 1610 auf die DIN EN 805 „Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden“ [4] bzw. in der Ausgabe 1997 noch auf prEN 805. Ebenso wird in der DIN 1671 „Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“ [7] 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 Wasserverteilsanlagen (TRWV), Teil 2: Bau und Prüfung“ [8] weitergehend beschrieben. Ein eigenes Prüfverfahren für bestehende, erdüberdeckte Abwasserdruckleitungen existiert derzeit nicht.

Die Umsetzung der DIN EN 805 für eine Dichtheitsprüfung an einer Druckrohrleitung im Bestand stellte sich für die Netzbetreiber als sehr kostenintensiv heraus, wodurch für In-situ-Einsätze keine weiteren Prüfabschnitte zur Verfügung gestellt werden konnten. Deshalb wurde alternativ am IKT eine **Versuchsstrecke für Dichtheitsprüfungen** (Bild 3 und Bild 4) aufgebaut und Firmen für Dichtheitsprüfungen aus dem Freispiegel- sowie Druckbereich mit Prüfungen an der Strecke beauftragt. Die Ergebnisse wurden verglichen, so dass eine Abschätzung darüber erfolgte, ob

- Unterschiede zwischen Prüfungen unterschiedlicher Drücke bestehen,
- die Prüfzeit eine wesentliche Rolle spielt,
- auch mit noch vorhandener Luft in der Leitung geprüft werden kann,
- durch eine Prüfung die Dichtheit bestimmt werden kann,
- eine Adaption auf Abwasserdruckleitungen überhaupt möglich ist.

Auf dem IKT-Außengelände wurde eine 27 m lange Druckrohrleitung aus PE-100 SDR17 der Nennweite DN 150 in einer schon vorhandenen 30 m langen Haltung aus DN 2200 Betonrohren errichtet (s. Bild 3). Die Versuchsstrecke sollte dabei schwierige geometrische Verhältnisse (Bögen, Steigungen, Gefälle) nachbilden und so flexibel konstruiert werden, dass Hoch- und Tiefpunkte variabel einstellbar sind.

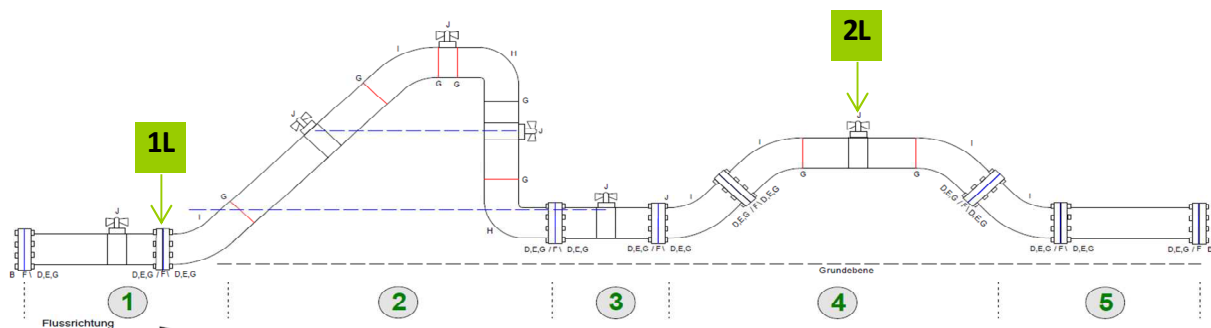


Bild 3 In Abschnitten aufgeteilte Versuchsstrecke mit nummerierten Ventilen

Bevor insgesamt vier Dienstleister Dichtheitsprüfungen an der Druckleitung durchführten, wurden zunächst erste Untersuchungen durch das IKT selbst vorgenommen (s. Bild 4). Hier-

zu wurde mit der IKT-eigenen Messtechnik das System im Hinblick auf drei Zustände geprüft.

Sowohl für das IKT als auch für die Dienstleister galt folgendes Prüfprogramm. In der 1. Prüfung wurde zunächst mit dem Zustand 1 begonnen. Dazu wurde im Bogen im Abschnitt 2 ein Luftpolster von 8,0% des gesamt berechneten Füllvolumens von 424,72 L geschaffen (s. Tabelle 1, Zustand 1). Wurde durch das IKT bzw. die Dienstleister keine Luft in der Versuchsstrecke gefunden, fand die 2. Prüfung mit einem Luftpolster von 30,0% des Füllvolumens statt (s. Tabelle 1, Zustand 2). Bei gefundenem Luftpolster in der 1. Prüfung wurde schließlich die entlüftete Versuchsstrecke im Zustand 3 komplett mit Wasser gefüllt (s. Tabelle 1, Zustand 3). Ein Ziel war es zu überprüfen, ob Dienstleister die einzelnen Prozessschritte zur Dichtheitsprüfung kennen und diese auch korrekt anwenden können. Darüber hinaus war zu ergründen, wo Defizite vorliegen bzw. welche Grenzen bei der Durchführung zu erkennen sind.

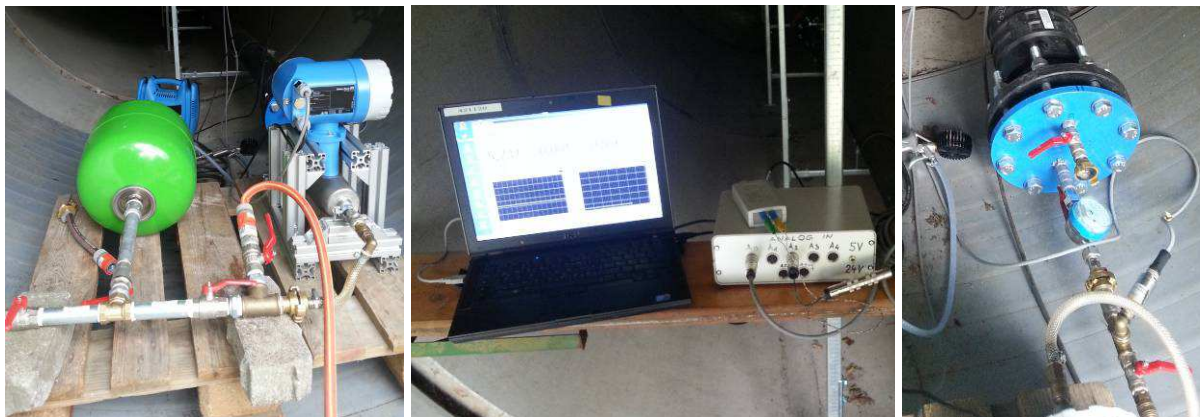
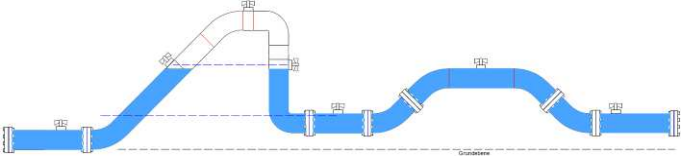
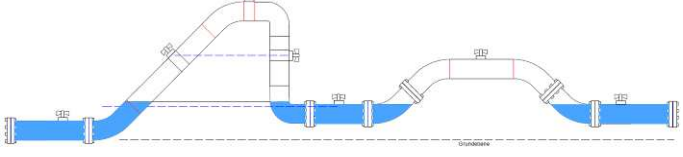
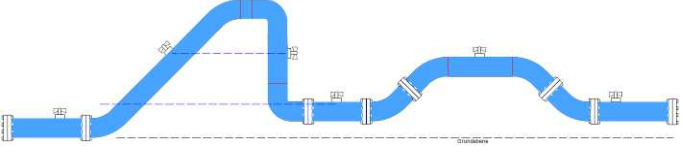


Bild 4 Ausgleichsbehälter mit hintergeschaltetem Durchflussmessgerät (links), Auswertelaptop zur Druckmessaufnahme (mitte), Drucksensor am Zulauf (rechts)

Tabelle 1 Füllzustände der Versuchsstrecke

1		Bogen im Abschnitt 2 zur Hälfte mit Luft gefüllt
2		Bogen im Abschnitt 2 und 4 mit Luft gefüllt
3		Versuchsstrecke komplett entlüftet und mit Wasser gefüllt

Aufgrund der Tatsache, dass zwischen der Fertigstellung der Strecke und den Prüfungen durch Dienstleister mehrere Wochen lagen, wurde eine erneute Prüfung der Leitungsdichtheit durch das IKT nicht vorgenommen. Folglich ergaben sich an den Stellen 1L und 2L (siehe Bild 3) ungewollte Leckagen (Undichtheiten aufgrund nicht nachgezogener Verbindungen). Es kann vorweg genommen werden, dass erst der Dienstleister C in seiner ersten Prüfung diese Undichtheiten festgestellt hat. Dies bedeutete im Umkehrschluss, dass die ersten beiden Dienstleister A und B somit eine undichte Leitung geprüft haben. Das IKT ist zu diesem Zeitpunkt jedoch davon ausgegangen, dass die Leitung vollständig dicht ist.

Zusammenfassend werden die erzielten Ergebnisse der beschriebenen ausgeführten Versuchsprüfungen durch die Dienstleister in der Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 Zusammenfassende Ergebnisse der Prüfungen durch die Dienstleister

	Prüfung	Vorprüfung				Druck- abfall- prüfung	Hauptprüfung		Prüfergebnis
		Ent- spannung	Druck- aufbau	Druck halten	Ruhe- phase		normal	verlängert	
DL A ¹	Zustand 1 (8 bar)	✓	✓	✓	✓	✗	✓	-	fehlerhafte Prüfung
	Zustand 2 (8 bar)	✓	✓	✓	✓	✗	✓	-	fehlerhafte Prüfung
DL B ¹	Zustand 1 (8 bar)	✓	✓	✓	✓	✗	✓	-	fehlerhafte Prüfung
	Zustand 3 (8 bar)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	fehlerhafte Prüfung
DL C ¹	Zustand 1 (8 bar)	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	Prüfung nach Norm
	Zustand 3 (8 bar / verkürzt)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	Prüfung nach Norm
	Zustand 3 (8 bar)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	Prüfung nach Norm
	Zustand 3 (4 bar)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	Prüfung nach Norm
	Zustand 1 (4 bar)	✓	✓	✓	✓	✗	-	-	Abbruch nach Norm
	Zustand 1 (4 bar / verkürzt)	✓	✓	✓	✓	✗	-	-	Abbruch nach Norm
DL D	Zustand 1 (8 bar)	✓	✓	✓	✓	✗	✓	-	fehlerhafte Prüfung
	Zustand 3 (8 bar)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	Prüfung nach Norm

¹ Die Leitung wies Undichtheiten auf, die zuvor durch das IKT nicht festgestellt wurden. Dieser Zustand galt für DL A, DL B sowie DL C (nur die erste Prüfung).

5 Vorgehensweise zur Dichtheitsprüfung von Abwasserdruckleitungen im Bestand

Erste Versuche an der IKT-eigenen Teststrecke haben gezeigt, dass die Durchführung von Dichtheitsprüfungen an einer bestehenden und im Betrieb befindlichen Leitung durchaus möglich ist. Unter Berücksichtigung des Optimierungsbedarfs (siehe hierzu die Langfassung des Abschlussberichtes) wurde im nächsten Schritt nunmehr verstärkt die **zeitlich verkürzte Dichtheitsprüfung** untersucht. Ziel war es, ein Verfahren zu entwickeln, mit welchem in einer kurzen Zeit eine sichere Aussage getroffen werden kann, ob eine Leitung dicht oder undicht ist.

Um Dichtheitsprüfungen an Bestandsleitungen möglichst genau abzubilden, sollten für die Versuchsstrecke unterschiedliche Prüfkriterien und Prüfrandbedingungen variiert und untersucht werden. Zudem sollten Grenzwerte ermittelt und die Prüfung nach DIN EN 805 bzw. DVGW W 400-2 optimiert werden. Klassische Prüfkriterien bzw. Prüfrandbedingungen waren dabei:

- **Dichtheit**
- **Leckagengröße und -anzahl (max. bis zu 2 Leckagen à 55 µm)**
- **Variable Prüfdauer (nach Norm: 192 min; 48 min; 30 min)**
- **Variable Prüfdrücke (8 bar; 6 bar; 5 bar; 4 bar)**
- **Lufteinschlüsse (ohne Luft; mit 1,25 % Luft; mit 2,50 % Luft)**

Die **Prüfdauer** stellte für die Kanalnetzbetreiber **das wichtigste Kriterium** dar. Betrachtet man die Normen, so fällt auf, dass klassische Dichtheitsprüfungen mindestens drei Stunden andauern können. Teilweise kann in Abhängigkeit des Materials eine Prüfung sogar mehr als zwölf Stunden andauern. Aufgrund der langen Prüfdauer ist es jedoch Netzbetreibern nicht ohne weiteres möglich, den Betrieb für die geforderte Zeit zu unterbrechen. Die Folge wären bspw. unverhältnismäßig große Rückstauungen innerhalb des Kanalnetzes. Aus diesem Grund wurde gefordert, dass **Dichtheitsprüfungen in einem relativ kurzen Zeitraum stattfinden** sollten, so dass die **Unterbrechung des Betriebes minimal** ausfällt. Nach Rücksprache mit den Netzbetreibern erwies sich eine Beschränkung auf 30 Minuten als anzustrebender Wert, so dass die nach DVGW W 400-2 vorgesehene Prüfzeit **auf ca. ein Zehntel** reduziert wird.

Die verwendeten Geräte und Hilfsmittel sowie der Versuchsaufbau und die Versuchsdurchführung wurden im Hinblick auf die bereits durchgeführten Vorprüfungen nicht mehr verändert (vgl. Langfassung des Berichtes).

Die umfangreichen Versuche haben gezeigt, dass Dichtheitsprüfungen an der IKT-eigenen Testdruckleitung (siehe Bild 5) nach DIN EN 805 und DVGW W 400-2 präzise realisiert werden können. Die gewählten Prüfkriterien und –parameter, welche unterschiedliche Situationen im Bestand darstellen sollten, konnten im Zuge der Prüfungen allesamt untersucht werden.

Insgesamt konnte unter Berücksichtigung der festgelegten Randbedingungen folgendes festgestellt werden:

- Leckagen werden (speziell an dieser Testleitung) grundsätzlich immer sofort erkannt.
- Lufteinschlüsse werden ebenso grundsätzlich sofort erkannt.
- Zeitlich kurze Prüfungen erlauben eine Aussage hinsichtlich der Dichtheit einer Leitung.
- Trotz Lufteinschlüsse ist eine Aussage hinsichtlich der Dichtheit möglich. Hierzu ist der graphische Druckverlauf genau zu interpretieren.
- Zur Beurteilung der Dichtheit auf Basis der zeitlich verkürzten Prüfung sind sehr gute Kenntnisse bzgl. Material, Hydraulik etc. notwendig.

Speziell für kurze PE-Leitungen (mit Durchmessern von DN 150) kann folgendes empfohlen werden:

- Für eine schnelle Überprüfung der Dichtheit einer Leitung kann das zeitlich verkürzte Prüfverfahren (ca. 30 Minuten) angewendet werden.
- der maximale Druckabfall während der Ruhephase wird mit 10% vom maximal aufgebrachten Prüfdruck festgelegt.
- Lufteinschlüsse führen nicht zwangsläufig zu einem Nichtbestehen der Leitung. Die Dichtheit der Leitung kann dennoch festgestellt werden.



Bild 5 IKT-eigene Versuchsstrecke aus PE 100

Für weiterführende Detailinformationen wird auf die Langfassung des Abschlussberichts verwiesen.

6 Schadensrisiken

Vor dem Hintergrund, dass Erfahrungen mit der Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen fast gänzlich fehlen, ist derzeit auch kein funktionierendes Risikomanagement hinsichtlich einer nachhaltigen und lebenszyklusorientierten Bewirtschaftung zu erwarten. Derzeit erweist es sich als besonders schwierig, die vorhandenen Abwasserdruckleitungen hinsichtlich ihrer Funktionalität und Standsicherheit ausreichend zu beurteilen, zumal Inspektionen während des Betriebs bei damaliger Planung von Druckleitungen meist nicht vorgesehen waren. Aus diesem Grund ist eine Inspektion, Sanierung oder auch Instandhaltung nahezu unmöglich, zumal das Abwasserdruckleitungsnetz in den Budgetplanungen keine bzw. kaum Berücksichtigung findet. Folglich muss eine Methode entwickelt werden, die das bestehende Netz hinsichtlich des derzeitigen Zustands beschreiben kann. Mit Hilfe einer Risikoanalyse lässt sich ein bestehendes Netz durchaus untersuchen, so dass in Abhängigkeit einer Eintrittswahrscheinlichkeit für Ausfall oder Sanierung einer Leitung sowie eines monetären Schadensausmaßes die Leitungen für weitere Untersuchungen bzw. Maßnahmen priorisiert werden können. Netzbetreiber erhalten dadurch die Möglichkeit, konkrete Budgets gezielt für hochrisikobehaftete Leitungen zu formulieren.

Bei der **qualitativen Bewertung** werden Risiken ausschließlich mit Hilfe von verbalen Beschreibungen eingeschätzt. Die qualitative Risikobewertung erfolgt meist als grobe Ersteinstuung über die Relevanz eines Risikos und bringt in einem schnellen und unkomplizierten Verfahren die Gesamtbedeutung eines Risikos zum Ausdruck [9]. Ein bewährtes Verfahren dafür stellt die Bewertung von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß eines Risikos anhand fester Bewertungszahlen dar. Diesbezüglich werden beiden Faktoren die gleiche Anzahl an festen Werten zugewiesen, mit deren Multiplikation ein Risikowert berechnet werden kann. Die Bedeutung der relativen Werte kann der nachfolgenden Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3 Risikobewertung über Bewertungszahlen.

Bewertungszahl	Eintrittswahrscheinlichkeit	Schadensausmaß
1	Unmöglich ¹	Sehr niedrig
2	Unwahrscheinlich	Niedrig
3	Möglich	Mittel
4	Wahrscheinlich	Hoch
5	Sehr wahrscheinlich	Sehr hoch

In der vorliegenden Tabelle werden der Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Schadensausmaß Werte zwischen Eins und Fünf zugeordnet. Das Ziel der Risikobewertung ist eine qualitative Bewertung der identifizierten Risiken einschließlich ihrer Zusammenhänge. Um die Anschaulichkeit und Übersichtlichkeit aller ermittelten und bewerteten Risiken zu wahren,

¹ Hierbei handelt es sich nicht um eine naturwissenschaftliche Unmöglichkeit, sondern um eine qualitative Verkürzung des Sachverhaltes "unter normalen Bedingungen in keinsten Weise zu erwarten"

können die verschiedensten Instrumente eingesetzt werden. Eine sehr anschauliche Methode ist die **Risikomatrix** oder auch **Risk Map**. Dieses Werkzeug ist ein Koordinatensystem, dessen Achsen die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Schadenshöhe eines Risikos beschreiben. Durch die zuvor ermittelten Werte können die einzelnen Risiken also direkt im Diagramm als Punkte abgetragen werden. Beziehungen zwischen Risiken lassen sich durch Pfeile oder andere Darstellungsmöglichkeiten kenntlich machen.

Das folgende Bild 6 zeigt dabei eine Vereinfachung unter Berücksichtigung sogenannter Risiko-Isolinien. Werte gleicher Risikozahl, $R = \text{const.}$, ergeben schließlich eine solche Risiko-Isolinie, d.h. eine Linie konstanten Risikos, die in einem Diagramm eingetragen werden kann. Zum besseren Verständnis der Matrix werden die Isolinien vereinfachend in vier Bereiche überführt (grün, gelb, rosa, rot). Insgesamt ist zu beachten, dass die Werte zu den jeweiligen Achsen aus einer Punktbewertung resultieren und somit **dimensionslos** sind.

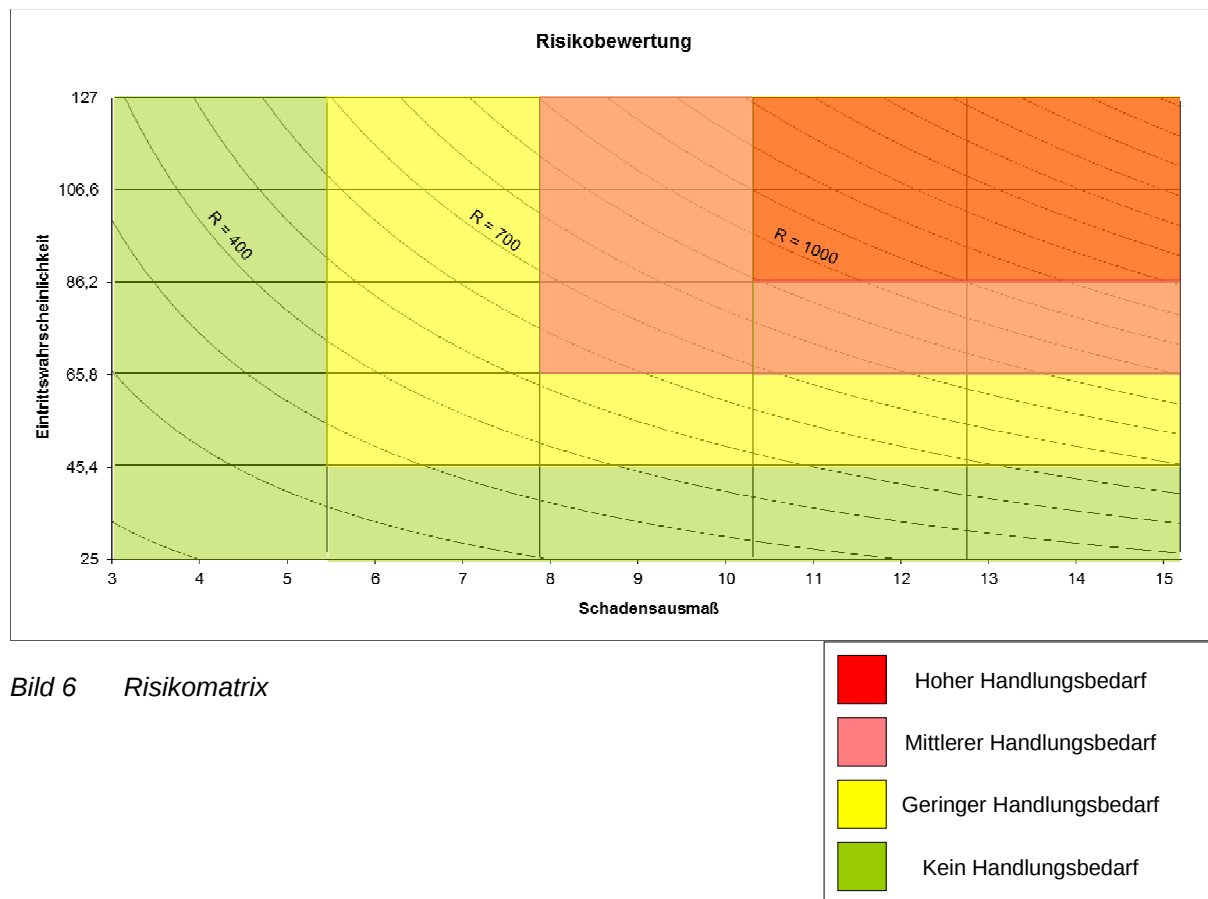


Bild 6 Risikomatrix

Mithilfe eines Fragebogens konnten in einem weiteren Schritt die Kriterien herausgelöst werden, die für die Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit maßgebend sind. Durch den Fragebogen konnte darüber hinaus die Wichtigkeit der einzelnen Risiken bestimmt werden. Die einzelnen Netzbetreiber konnten die Wichtigkeit der Risikofaktoren mit den Werten 1 (unwichtig) bis 5 (sehr wichtig) bestimmen. Für diese Wichtigkeit wurden die Mittelwerte aus allen eingegangenen Fragebögen bestimmt. Aus dieser Risikoidentifikationsphase ergeben sich

demnach folgende wesentlichen Risikofaktoren, die bereits in den vorherigen Abschnitten beschrieben wurden und für eine weitere Analyse Berücksichtigung finden (Tabelle 4).

Zur Bestimmung der Wichtung der Risikokriterien kann auch ein **multikriterielles Bewertungsverfahren** herangezogen werden. Das multikriterielle Verfahren "Analytischer Hierarchie Prozess (kurz: AHP)" ist dabei eine Sonderform der klassischen Nutzwertanalyse, das von dem Mathematiker Thomas Lorie Saaty in den 70er Jahren in den USA entwickelt wurde. Für weitere Informationen wird an dieser Stelle auf die Arbeit von Kamarianakis [10] verwiesen.

Tabelle 4 Risikofaktoren und Wichtung

Risikofaktoren	Wichtung
Geometrie/Durchmesser der Druckrohrleitung	2,57
Alter der Druckrohrleitung	4,14
Lage/Tiefe der Druckrohrleitung	2,57
Montage- /Bettungsfehler	3,00
Technische Aspekte bzgl. der Pumpe	3,29
Durchflussmenge	3,86
Werkstoffeigenschaften	3,86

Zur Bestimmung eines Schadensausmaßes lassen sich im Normalfall mehrere unterschiedliche Herangehensweisen wählen. Das Schadensausmaß könnte beispielsweise hinsichtlich seiner technischen Auswirkungen definiert und bestimmt werden. Aufgrund der Tatsache dass es sich jedoch um eine qualitative Risikoanalyse handelt, ist die Bestimmung technischer Schadensausmaßraten als schwierig anzusehen. Ein idealer Ansatz ist nach Ermessen der Betreiber grundsätzlich in **wirtschaftlich orientierten Lösungen** zu suchen. Demzufolge sind für das Schadensausmaß ökonomische Faktoren heranzuziehen. Grundsätzlich ist die Frage nach der **Höhe von Kosten** ohnehin zu stellen, so dass neben klassischen **Initalkosten, auch indirekte Kosten** mit in eine Betrachtung einfließen sollten. Die indirekten Kosten umfassen Kosten, die nicht direkt an der Druckleitung beteiligte Gruppen betreffen. Hierbei handelt es sich zum Beispiel um die Verkehrsumleitung und –sicherung, den Substanzverlust der Straße, die Beschädigung der Vegetation (Absenken des Grundwassers; Beschädigung von Wurzeln) oder aber auch die Anzahl der angeschlossenen Haushalte/Industrie, die über einen bestimmten Zeitraum mit Einschränkungen zu rechnen haben. Jene Kosten finden im Rahmen von Kalkulationen bislang keine Berücksichtigung, sie belasten aber dennoch nachhaltig die Volkswirtschaft [11].

Analog zu den Ausführungen bzgl. der Eintrittswahrscheinlichkeit werden auch für die Kriterien des Schadensausmaßes Wichtungen bestimmt. Grundsätzlich stellen die Kosten für Netzbetreiber den wichtigsten Aspekt dar, so dass dieses Kriterium doppelt so stark (Wichtung: 2,0) in die Bewertung einfließt wie die beiden übrigen Kriterien (Anzahl der angeschlossenen Haushalte/Industrie; Auswirkungen auf die Umwelt) (Wichtung: je 1,0). Dennoch hat ein Netzbetreiber die Möglichkeit, nach eigenem Ermessen den Wert der Wichtung zu definieren bzw. anzupassen.

Nachdem bei allen identifizierten Risiken basierend auf den oben beschriebenen Methoden die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß ermittelt wurden, können diese in

ein Risikoportfolio eingetragen werden. Dabei handelt es sich um ein Instrument, das einen Überblick über die Risikolage gibt. Das Risikoportfolio dient den Entscheidungsträgern als Grundlage für den nächsten Schritt des Risikomanagementprozesses, der Risikobewältigung.

Zur Bestimmung der einzelnen Risiken sind zunächst die verschiedenen Druckrohrleitungen zu bewerten. Dazu müssen die jeweiligen Leitungen genauestens analysiert werden, so dass eine Angabe der Eintrittswahrscheinlichkeit möglich ist. Die Eintrittswahrscheinlichkeit wird wiederum mit der durch die Netzbetreiber zuvor festgelegten Wichtung multipliziert. Durch Addition der Punkte ergibt sich so eine Gesamtpunktzahl, die die qualitative Eintrittswahrscheinlichkeit wiedergeben soll.

Analog dazu ist das Schadensausmaß für die jeweilige Leitung zu bestimmen, wobei hier unterschieden werden muss, um welche Art von Kosten es sich genau handelt. Dieser Umstand ist zuvor von den einzelnen Entscheidungsträgern ausführlich zu erörtern, da das Schadensausmaß nicht nur eine Erneuerung beschreiben soll, sondern auch für mögliche Inspektionen, Sanierungen oder andere Instandhaltungsmaßnahmen genutzt werden sollte.

Basierend auf der vorangegangenen Klassifikation der Risiken im Portfolio wird die Risikosteuerung vorgenommen. Das erste Ziel der Risikosteuerung ist es, mit den zur Verfügung stehenden Möglichkeiten eine „...Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit (...) oder aber eine Begrenzung der Auswirkungen von Risiken...“ zu erreichen [12]. Um eine möglichst effiziente Arbeitsweise bei der Kontrolle des Soll/Ist-Zustands sicherzustellen, ist es empfehlenswert, ein Ziel-Risikoportfolio zu erstellen (s. Bild 7).

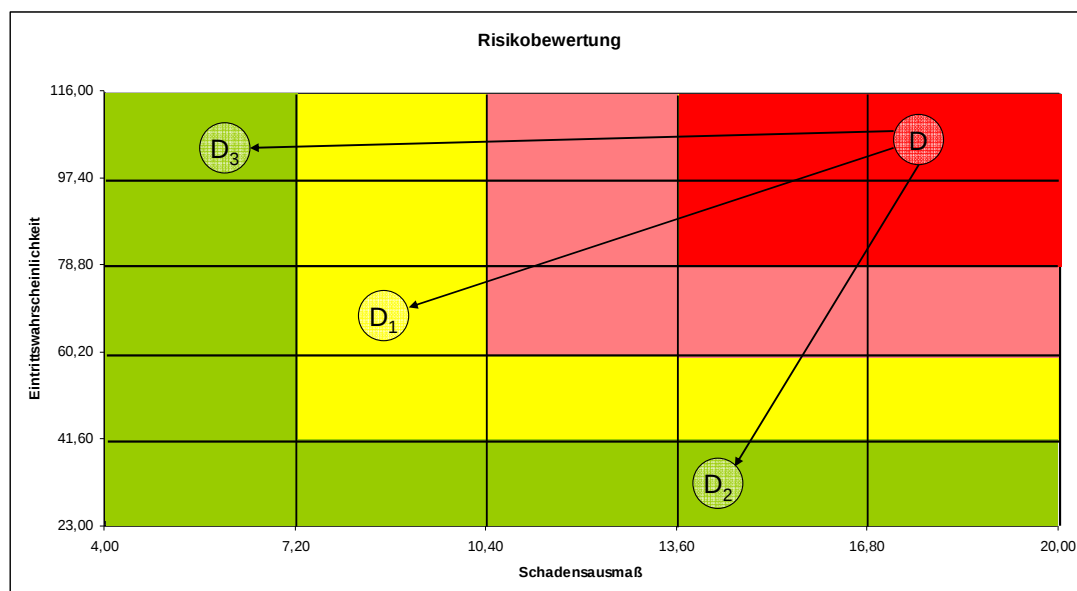


Bild 7 Ziel-Risikoportfolio

Für das Druckrohrleitungsnetz ergeben sich somit strategisch wichtige Zielformulierungen. Nach einer risikoanalytischen Betrachtung des eigenen Netzbestandes ist eine Klassifizierung der verschiedenen Druckleitungen nunmehr möglich. Der Netzbetreiber kann nach eigenem Ermessen entscheiden, ob dieser durch bestimmte Maßnahmen eine Reduzierung

des Risikos veranlassen möchte. Beispielsweise lassen sich auf Basis des Risikoportfolios verschiedene Bestandsklassen definieren, so dass ein Netzbetreiber die Möglichkeit hat, klassenweise die Risiken zu steuern.

Beispielhaft sei dies an Risiko "D2" dargestellt: Der Netzbetreiber stellt fest, dass Leitung "D" in bestimmten Bereichen sanierungsbedürftig ist. Im Normalfall würde eine vollständige Sanierung der Leitung zu bevorzugen sein. Der Netzbetreiber ermittelt mit Hilfe einer Dichtheitsprüfung, dass die gesamte Leitung keine Defizite aufweist, so dass die Dichtheit gegeben ist. Aus diesem Grunde ist eine Sanierung der gesamten Leitung nicht notwendig, so dass vielmehr nur noch die Stellen behandelt werden, die eventuelle Auswirkungen auf Standsicherheit und Betriebssicherheit haben könnten. Aus diesem Grund werden mit Hilfe der Inspektionstechniken die Stellen ausfindig gemacht, die sanierungsbedürftig sind. Dadurch dass die betreffenden Stellen saniert wurden, verringert sich die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ausfalls der Leitung. Ebenso verringert sich das Schadensausmaß, da die Leitung saniert wurde. Das Schadensausmaß bleibt jedoch insgesamt im hohen Bereich, da die Leitung augenscheinlich ein durchaus realistisches Potential weiterer Konsequenzen bietet, in naher Zukunft vollständig auszufallen.

7 Handlungsempfehlungen zur Ableitung von Intervallen zur Wiederholungsinspektion

Mit Hilfe der zuvor erarbeiteten Schadenskriterien (siehe Langfassung des Abschlussberichtes) wurde ein Vorgehen erarbeitet, um die Erfahrungen der Netzbetreiber zielgenau erfassen zu können. Die Informationen wurden daraufhin systematisch in das Risikomodell integriert. Auf Basis einer Leitungsbeschreibung konnten Netzbetreiber schnell die wichtigsten Informationen somit zusammentragen. Auf Grundlage der aufgeführten Risikofaktoren sowie der dazugehörigen Leitungsanalyse war eine genaue Benennung qualitativer Eintrittswahrscheinlichkeiten möglich.

Es ist jedoch zu erwähnen, dass die im Kapitel 6 ermittelten Risikofaktoren im Rahmen der Umsetzung nochmals hinsichtlich ihrer Definition verfeinert werden mussten. Bei der Anwendung der Kriterien hatte sich ergeben, dass einzelne Netzbetreiber konstruktive Verbesserungsvorschläge gemacht haben. Diese Anmerkungen sind nunmehr in die Bearbeitung dieses Kapitels geflossen. Insgesamt wurde für jedes Risikokriterium in Abhängigkeit der Eintrittswahrscheinlichkeit eine verbale Beschreibung realisiert. Auf diese Weise hat ein Anwender die Möglichkeit, den Wert der Eintrittswahrscheinlichkeit besser einzuordnen und schließlich festzulegen.

Auf Basis des Fragenkatalogs konnten nunmehr die einzelnen Risikoklassen definiert werden. In Anlehnung an die vier Risikoklassen wurde im Anschluss daran der Handlungsbedarf definiert. Unter Berücksichtigung des Handlungsbedarfes kann ein Netzbetreiber nunmehr **individuell die Wiederholungsintervalle** bestimmen. Insgesamt sollte der Netzbetreiber jedoch stets für eine betriebliche Zustandserfassung sorgen, die risikoklassenübergreifend auf den neuesten Stand gebracht werden sollte. Hierzu sollten z.B. Kenndaten zur Leistungsfähigkeit der Leitung erfasst werden, wie Förderströme der Pumpe (MID), Druck am Pumpwerk, Förderfrequenz bzw. Umdrehungen/min, Stromaufnahme bzw. Pumpenlaufzeiten, Anfallende Abwassermenge /Füllstände der Pumpensämpfe sowie Betriebskosten.

Insgesamt bilden Inspektionsergebnisse bzw. die lückenlose Zustandserfassungen die Basis für einen reibungslosen Kanalbetrieb. Auf diese Weise lassen sich auch Sanierungsmaßnahmen besser planen.

Leitungen mit „keinem Handlungsbedarf“

Sollten sich eine oder mehrere Leitungen in dieser Klasse befinden, so sollte ein Kanalnetzbetreiber die Prüfung der gesamten Pumpentechnik vornehmen lassen (in regelmäßigen Zyklen). Zudem sollte sich der Netzbetreiber dennoch stets die Frage stellen, ob etwaige Nachrüstungen eventuell zu veranlassen sind, um bei einem Verschieben der Leitung (Risikosteuerung) in eine höhere Risikoklasse, Maßnahmen zur Inspektion veranlassen zu können. Hierzu sei z.B. erwähnt: nachträglicher Einbau von Spülanschlüssen, Kontrollschächten, Entlüftungsventilen sowie Absperrschiebern am Ende eines jeweiligen Abschnittes.

Leitungen mit „geringem Handlungsbedarf“

Sollten sich eine oder mehrere Leitungen in dieser Klasse befinden, so kann der Netzbetreiber erste Maßnahmen vornehmen. Hierzu sei bspw. die **einfache Sichtprüfung** zu nennen. Dazu blickt man von der Oberfläche aus in das Pumpwerk, die Kontrollschächte oder Übergabestationen. Auf diese Weise ist zumindest ein grober Überblick zum Zustand der Abwasserdruckleitung möglich.

Leitungen mit „mittlerem Handlungsbedarf“

Sollten sich eine oder mehrere Leitungen in diesem Bereich befinden, so kann der Netzbetreiber neben der einfachen Sichtprüfung eine **eingehende Sichtprüfung** vornehmen lassen. Dabei ist die eingehende Sichtprüfung das bevorzugte Verfahren, um den Bauzustand der Abwasserdruckleitungen zu erfassen. Im Normalfall sollten nunmehr die bereits erwähnten Inspektionstechniken zum Einsatz kommen. **Ein Optimierungsbedarf besteht jedoch nach wie vor für Abwasserdruckleitungen mit kleinem Durchmesser.** Hierzu kann schließlich eine Dichtheitsprüfung durchgeführt werden, so dass zumindest darüber eine Aussage hinsichtlich des Zustandes getroffen werden kann.

Zur rechtzeitigen Aufdeckung von Schäden sollte eine **optische Inspektion alle 10 Jahre** durchgeführt werden. Sollte in dieser Zwischenzeit die Leitung in eine nächst höhere Risikoklasse fallen, so ist das **Intervall zu reduzieren** bzw. auf eine Dichtheitsprüfung zurückzugreifen.

Leitungen mit „hohem Handlungsbedarf“

Sollten sich eine oder mehrere Leitungen in diesem Bereich befinden, so kann der Netzbetreiber neben der **einfachen** und **eingehenden** Sichtprüfung eine **Dichtheitsprüfung nach dem hier entwickelten Verfahren** vornehmen lassen. Aufgrund der Tatsache dass sowohl die Ausfallwahrscheinlichkeit als auch das Schadensausmaß sehr hohe Werte aufweisen, ist eine genaue Beobachtung einer solchen Leitung unbedingt notwendig.

Zur rechtzeitigen Aufdeckung von Schäden sollte eine **Dichtheitsprüfung alle 5 Jahre** durchgeführt werden. Ebenso sollten für Leitungen mit hohem Handlungsbedarf konkrete Sanierungskonzepte vorliegen, um ein schnelles Eingreifen zu ermöglichen. Es sollten dabei folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Richtige Sanierungsmaßnahme erarbeiten (siehe auch Kapitel 9 des vorliegenden Berichtes)
- Budgetierung für Leitungen mit hohem Handlungsbedarf
- Wahl der richtigen Sanierungsalternative (Transparenz und Akzeptanz bei Bürgern)
- Einsparpotentiale berücksichtigen (z.B. Berücksichtigung etwaiger Straßenbauarbeiten, Versorgungsunternehmen)

8 Umsetzung der Handlungsempfehlungen bei Betreibern

Im Zuge dieses Kapitels wurden die einzelnen Handlungsempfehlungen nunmehr umgesetzt. Hierzu wurden für die Städte Bottrop, Burscheid sowie Gevelsberg einzelne Druckleitungen einer qualitativen Risikoanalyse unterzogen. Auf Basis der ermittelten Risikomatrix konnten schließlich weitere Handlungsempfehlungen formuliert werden. Speziell in dieser Kurzfassung wird exemplarisch die Risikoanalyse für ausgewählte Druckleitungen der Stadt Bottrop gezeigt. Hierzu wurde zunächst der Netzbetreiber der Stadt Bottrop direkt vor Ort besucht. Mit Hilfe von bestehenden Unterlagen sowie Expertengesprächen konnte eine Risikoanalyse einzelner Druckleitungen realisiert werden. Die Wichtung der Kriterien wurde dabei in Anlehnung an die Ausführungen aus Kapitel 6 nicht verändert (bis auf die Schadensausmaß-Kriterien, Wichtung 0,5). Das IKT stand bei der Beurteilung beratend zur Seite. **Die Punktevergabe erfolgte stets durch den Netzbetreiber.**

Druckleitung Tappenhof

Die zu untersuchenden Druckleitung (Alter 5 Jahre) ist eine PE-HD DA 90 / DN 80-Leitung, welche eine Gesamtlänge von ca. 45 m hat. An der westlichen Seite ist die Leitung an einer Pumpstation angeschlossen. Das östliche Ende der Leitung mündet in die Übergabestation, welche wiederum an die bestehende Transportleitung DN 450 der Emschergenossenschaft anschließt (Asbestzement).

Druckleitung Glaserhüttenheide

Die zu untersuchenden Druckleitung (Alter 23 Jahre) ist eine Stahlleitung DN 100, welche eine Gesamtlänge von ca. 280 m hat. An der westlichen Seite ist die Leitung über ein offenes Ende an einen Freigefällekanal angeschlossen. Das östliche Ende der Leitung mündet in das Schachtbauwerk.

Gesamtbewertung der Abwasserdruckleitungen

Die Ergebnisse der einzelnen Risikoanalysen pro Leitung wurden in einem weiteren Schritt in eine Risikomatrix überführt. Das Gesamtrisiko einer Leitung setzt sich aus dem Produkt Eintrittswahrscheinlichkeit x Schadensausmaß zusammen.

Leitung A: Tappenheide; Risiko = $33 * 7,5 = 248$

Leitung B: Glaserhüttenheide; Risiko = $70 * 8,0 = 560$

Die folgende Abbildung 8 zeigt, dass Leitung A insgesamt keinen Handlungsbedarf, wohingegen Leitung B einen mittleren Handlungsbedarf aufweist. Betrachtet man dabei die speziellen Randbedingungen zu Leitung B (höheres Alter, Steigung, Länge, Material etc.) so ist die qualitative Einschätzung durchaus gerechtfertigt. Für diesen speziellen Fall sollte der Netzbetreiber definitiv eine erste Inspektion/Prüfung der Leitung durchführen, um evtl. im Anschluss daran das vorliegende Risiko in eine niedrigere Risikoklasse zu bewegen.

Die ebenso **durchgeführte Dichtheitsprüfung** (siehe Bild 9) bestätigt ebenso die qualitative Einschätzung bzgl. der Leitung A, so dass weitere Maßnahmen zunächst nicht mehr getroffen werden mussten.

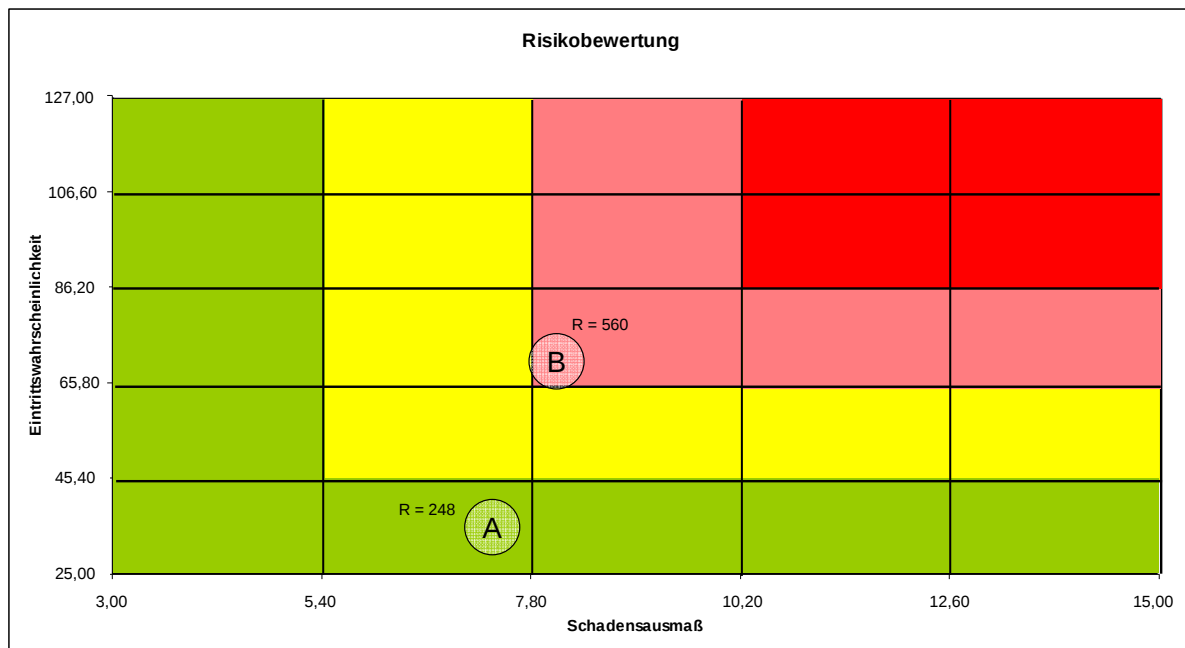


Bild 8 Risikomatrix „Bottrop“

Das entwickelte IKT-Konzept für eine vereinfachte, effektive und schnelle Dichtheitsprüfung wurde an der beschriebenen Druckleitung angewendet. Erstmals konnte das in Kapitel 4 erarbeitete **zeitlich verkürzte Prüfverfahren** angewendet werden. Nach einer Prüfzeit von ca. 30 Minuten konnte die Dichtheit der Leitung festgestellt werden. Eine ausführliche Darstellung kann der Langfassung des Abschlussberichts entnommen werden.



Bild 9 Spülstutzen im Pumpschacht (links), Drucksensor am Hochpunkt (mitte), Ausgleichsbehälter mit angeschlossenen C-Schlauch (rechts)

9 Marktübersicht Sanierungstechniken für Abwasserdruckleitungen

Für die Sanierung von Abwasserdruckleitungen ergeben sich grundsätzlich einige Schwierigkeiten. Die Untersuchungen haben bis jetzt gezeigt, dass für viele Leitungen nur unzureichende Informationen im Hinblick auf Lage und Verlauf existieren. Aus diesem Grund erschien es schwierig, Sanierungen über eine offene Bauweise zu realisieren. Im Vergleich zur offenen Bauweise zeichnen sich dagegen grabenlose Bauverfahren auch durch ökologische und ökonomische Vorteile aus.

Auf Basis einer Marktrecherche und Gesprächen mit Technikanbietern wurden mögliche Verfahren zur Sanierung von Abwasserdruckleitungen in geschlossener Bauweise und Informationen zu den Einsatzvoraussetzungen zusammengestellt.

Der Begriff Sanierung steht in der Abwassertechnik für alle Maßnahmen, die zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen dienen. In der DIN EN 752: 2008-04 wird mit Fokus Freispiegelkanäle zwischen den Sanierungsarten **Reparatur**, **Renovierung** und **Erneuerung** unterschieden [13]. **Da derzeit keine eigenen Normen oder Regelwerke für die Instandsetzung von Abwasserdruckleitungen existieren, bietet es sich an bei der Zuordnung der Techniken/Produkte auch auf die DVGW W 401 [14] für die Rehabilitation von Wasserrohrnetzen zurückzugreifen.** Dies kann allerdings zu Definitionsschwierigkeiten führen, da der Begriff "Renovierung" z.B. im DVGW-Regelwerk nicht verwendet wird und der Begriff "Sanierung" eine völlig andere Bedeutung hat.

Die recherchierten Sanierungstechniken sind in Tabelle 5 übersichtlich dargestellt. Darüber hinaus sind diese in Anlehnung an die Klassifizierung nach DIN EN 752 aufgelistet, allerdings ohne Unterscheidung zwischen Renovierung und Erneuerung. Derzeit ist noch völlig offen, inwieweit hier überhaupt eine Unterscheidung notwendig und sinnvoll ist. Die Reihenfolge der Sanierungstechniken ist in der Darstellung willkürlich gewählt.

Die Recherche zu den gängigsten Sanierungstechniken und die Gespräche mit Herstellern zeigten, dass es eine Vielzahl an Techniken gibt, mit denen sich Sanierungen einfach und kosteneffektiv wie im Freispiegelbereich umsetzen lassen können. Bei Abwasserdruckleitungen liegen jedoch gegenüber der Freispiegelkanalisation erschwerte Randbedingungen aufgrund fehlender oder geringer Anzahl an Zugänglichkeiten, Bögen und häufig nicht exakt bekannter Leitungsverläufe sowie zum Teil kleiner Nennweiten vor. Inwieweit der Aufwand für eine Sanierung im Einzelfall vertretbar ist, hängt wesentlich von der betrieblichen Bedeutung und den möglichen Gefährdungspotenzialen ab.

In der nachfolgenden Tabelle 5 werden die wichtigsten Einsatzvoraussetzungen der vorgestellten Techniken im Sinne einer Bewertungsmatrix zusammengestellt und eine erste Einschätzung zur Anwendbarkeit für Abwasserdruckleitungen gegeben. Diese Tabellen basieren alleine auf **Anbieterinformationen** und können als Hilfestellung zur Vorauswahl einer geeigneten Technik für die Sanierung oder Erneuerung einer Abwasserdruckleitung herangezogen werden.

Einzelne **Kosten** konnten nicht in Erfahrung gebracht werden, da der Sanierungsmarkt im Bereich der Abwasserdruckleitungen zu klein und noch zu neu ist, so dass Firmen keine

pauschalen Preisangaben geben konnten. Im nächsten Schritt wäre durch das IKT **eine Prüfung der Einbaubarkeit jeder Sanierungstechnik** durchzuführen. Auf diese Weise wäre eine Beurteilung der einzelnen Techniken möglich. Ebenso könnten in einem weiteren Schritt **lebenszyklusorientierte Fallanalysen** angestrebt werden, um eine ökonomische Beurteilung einzelner Sanierungstechniken treffen zu können.

Inwieweit eine Klassifizierung von Druckleitungslinern nach DIN EN ISO 11295 möglich ist, ist unbedingt noch zu diskutieren, da nicht jede Sanierungstechnik einer Klasse eindeutig zuzuordnen ist.

Der Bereich der Sanierungstechniken speziell für Abwasserdruckleitungen weist noch einen erheblichen Untersuchungsbedarf auf. Es ist eindeutig Forschungsbedarf zu erkennen. Zum einen müssen Grundlagen für klare Regelwerke sowie Normen erarbeitet werden, zum anderen sollten die einzelnen Techniken/Produkte/Verfahren gezielt wissenschaftlich auf spezielle Anwendungsfälle bezogen untersucht werden.

Tabelle 5 Bewertungsmatrix mit Einsatzvoraussetzung und Sanierungsziel (nach Auswertung von Herstellerinformationen)

Verfahren	Material							Nennweite [DN]		Einsatzvoraussetzungen							Eigenschaften		Sanierungsziele							
	Guss	Stahl	Keramik	Beton	PVC	PE	Asbestzement	von	bis	Reinigung		außer Betriebsnahme	Entleeren	Schadposition ermitteln	Zugangs- möglichkeit			Reichweite [m]	Bögen [°]	Hydraulik	Dichtheit	Korrosion	Stand- sicherheit			
										Wasser	mechanisch				Baugrube	Schacht	Revisionsöffnung						S1	S2	S3	
Amex Manschette	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x		x				x	x	x				x
Berstlining	x	x	x	x	x	x	x	50	1000	x		x	x		x			200								
Compact Pipe	x	x	x	x				50	1000	x		x	x	x	x			600	45		x	x	x			
D&S Gewebeschlauchrelining	x	x						100	1000	x	x	x	x	x	x			250	45						x	
DS City Liner	x	x	x	x	x	x	x	200	800	x		x	x	x	x	x		300							x	
DynTec	x	x	x	x				65	1200	x		x	x	x	x			1000	90				x			
Omega-Liner	x	x	x	x	x	x	x	150	450	x		x	x	x	x	x	x	200	45				x			
Primus Line	x	x	x	x	x	x	x	150	500	x	x	x	x			x	x	2000	30			x				
Quick-Lock	x	x	x	x	x	x	x	150	700	x		x	x	x		x	x	300 - 500	-	x	x	x				x
Roll-down Verfahren	x	x	x	x	x	x	x	100	500	x		x	x		x	x	x	1000	45	x		x	x			
RS BlueLiner	x	x	x	x	x	x	x	100	1000	x		x	x					200	45				x			
Saertex-Liner Premium	x	x	x	x	x	x	x	200	1260	x		x	x			x	x	500	15		x	x	x	x		
Slipline	x	x	x	x	x	x	x	100	1200	x		x	x	x	x								x			
Subline	x	x	x	x	x	x	x	75	1200	x		x	x	x	x			1000	45		x	x				
Swagelining-Verfahren	x	x	x	x	x	x	x	80	1200	x		x	x	x	x			1000					x			
U-Liner aus PE-HD	x	x	x	x	x	x	x	100	400	x		x	x		x	x	x	600	30			x	x			
Zementmörtelauskleidung	x	x	x	x	x	x	x	80	3000	x	x	x	x		x	x			45							

10 Fazit

Die Phase I des Forschungsvorhabens „Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und -dükern – Handlungsempfehlungen unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten“ hatte gezeigt, dass kaum Techniken verfügbar sind, mit denen sich Inspektionen von Abwasserdruckleitungen umsetzen lassen. Aus diesem Grund wurde im Rahmen der Phase I des Forschungsvorhabens ein auf die derzeitige Technik abgestimmtes Vorgehen zur Zustandserfassung entwickelt. **In Phase II sollten diesbezüglich die offenen Fragestellungen beantwortet werden.**

Während eines Workshops stellten sowohl Technikhersteller als auch Kanalnetzbetreiber konkrete Anforderungen an Inspektionstechniken. Nach Auswertung aller Ergebnisse und Bewertungen spielten zu diesem Zeitpunkt die Aspekte **Leckageortung, eventuelle Schäden an der Rohrwand sowie Dichtheit einer Leitung** eine entscheidende Rolle.

Nach Abwägung aller Ergebnisse und Bewertungen hatte sich der Lenkungskreis für die weitere Untersuchung folgender Messverfahren entschieden.

- Material Stahl: **Kanalradar, SLOFEC**
- Material Gusseisen: **SLOFEC**
- Material Asbestzement: **Kanalradar, Phenolphthalein**
- Material Kunststoff: **Bau einer Teststrecke und Inspektion über Dichtheitsprüfungen**

Die Nutzung des **Kanalradars** ist grundsätzlich für **Asbestzementleitungen** möglich. Wanddickenschwächungen sowie Fehlstellen im Material werden durch das Kanalradar gefunden.

Bei der Nutzung des **SloFec-Verfahrens** konnten sowohl sprunghafte Wanddickenänderungen als auch flach einlaufend simulierte Korrosionsstellen bei **Stahl und Guss** detektiert werden. Die Anwendung der Inspektionseinheit am Material Stahl brachte nahezu eine hohe **Messgenauigkeit** von mit sich. Im Vergleich zu der Prüfung mit Stahl brachte die Anwendung an Guss zwar eine exakte Lagebestimmung mit sich, wies aber **Differenzen bei der Bestimmung der Fehlertiefen** auf.

Zur Bewertung von Dichtheitsprüfungen wurde am IKT eine ca. **27m lange Teststrecke aus PE-HD** errichtet, die hinsichtlich verschiedener Parameter auf Dichtheit geprüft wurde. Ziel war es, die derzeit gängigen Normen und Regelwerke auf Abwasserdruckleitungen zu adaptieren. Da die Regelwerke nur für den Neubau von Trinkwasserdruckleitungen ausgelegt sind, wurde ein umfangreiches Prüfprogramm erarbeitet, um schließlich eine Handlungsempfehlung für die Durchführung von Dichtheitsprüfungen zu formulieren. Dieses erste Prüfprogramm beinhaltete eine Beurteilung des Prüfvorgangs einzelner Dienstleister sowie die Kalibrierung der gesamten Leitung:

- Während der Prüfungen durch die Dienstleister konnte festgestellt werden, dass **3 der 4 Dienstleister unzureichende Kenntnisse über die Art der Durchführung von Dichtheitsprüfungen sowie die Interpretation der Ergebnisse haben.**

- Im Rahmen des Prüfprogramms konnte die **zeitliche Durchführung einer Dichtheitsprüfung auf ein Zehntel der ursprünglichen Zeit reduziert werden**. Die Ergebnisse ließen dabei dennoch eine Beurteilung der Dichtheit einer Leitung zu. Folglich ist die Durchführung einer solchen verkürzten Dichtheitsprüfung mit einer zeitlich sehr geringen Unterbrechung des Betriebes möglich.
- Leckagen können bei korrekter Interpretation der Ergebnisse sehr schnell festgestellt werden.
- Der Prüfdruck muss nicht zwangsläufig über dem Betriebsdruck liegen. Die Versuche haben gezeigt, dass **trotz unterschiedlicher Drücke eine Aussage hinsichtlich der Dichtheit getroffen werden kann. Demnach ist für eine Prüfung stets der Betriebsdruck als Prüfdruck heranzuziehen**.

Die Phase II des Forschungsprojektes hat des Weiteren gezeigt, dass erste **Hinweise zur Risikobeurteilung von Abwasserdruckleitungen** erarbeitet werden konnten. Mit Hilfe der am Lenkungskreis beteiligten Netzbetreiber konnten Risiken und mögliche Schadensausmaße nicht nur zusammengestellt, sondern auch priorisiert werden. Netzbetreiber können nunmehr mit Hilfe der erarbeiteten Kriterien sowie der Bewertungsvorschläge eigene Leitungsabschnitte definieren, die für weitere Maßnahmen herangezogen werden sollen. Auf diese Weise können Netzbetreiber **nachhaltig und lebenszyklusorientiert gezielte Instandhaltungsstrategien** formulieren, so dass etwaige Budgetplanungen angepasst werden können.

- Leitungen können mit Hilfe der erarbeiteten **Risikomatrix** bewertet werden. Hierzu wurde ein Fragebogen erstellt, welcher sowohl Kriterien zur Eintrittswahrscheinlichkeit als auch die Schadensausmaße berücksichtigt. Der Kanalnetzbetreiber erhält einen grafischen Überblick über den Handlungsbedarf der einzelnen Leitungen.
- Die vier Risikoklassen definieren hierbei den Handlungsbedarf von "Kein Handlungsbedarf" bis zu "Hoher Handlungsbedarf". Je nachdem in welcher Klasse sich eine Leitung befindet, ist zwischen **einfacher** und **eingehender** Sichtprüfung sowie einer **Dichtheitsprüfung nach dem neu entwickelten Verfahren** zu unterscheiden.
- **Kenndaten zur Leistungsfähigkeit** der Leitung sollten grundsätzlich erfasst werden, um z.B. die richtige Sanierungsmaßnahme, die Budgetierung für Leitungen mit hohem Handlungsbedarf, die Wahl der richtigen Sanierungsalternative (Transparenz und Akzeptanz bei Bürgern) sowie die Berücksichtigung von Einsparpotentialen (z.B. Straßenbauarbeiten, Versorgungsunternehmen) zu erarbeiten.

Exemplarisch wurde das Risikomodell an Leitungen von drei Kanalnetzbetreibern angewendet. Hierzu wurde darauf geachtet, dass unterschiedliche Leitungen im Hinblick auf Alter, Material, Länge etc. herangezogen werden, um eine Heterogenität der Bewertung zu gewährleisten. Im Ganzen konnte davon ausgegangen werden, dass eine Bewertung des Leitungsbestandes mit einem relativ geringen Aufwand garantiert werden konnte.

- Mit Hilfe des Fragebogens (Kriterien und Schadensausmaße) sowie der dazugehörigen Bewertungspunkte ist eine **Klassifizierung der Leitungen** möglich. Hierbei sei aber anzumerken, dass es sich stets um beispielhafte Beschreibungen der Eintrittswahrscheinlichkeiten und des Schadensausmaßes handelt. Den Beschreibungen lie-

gen keine statistischen Daten zugrunde, so dass diese nur für den vorliegenden Fall zu nutzen sind.

- Die Gewichtung der einzelnen Kriterien erfolgt entweder über
 - a) die **in diesem Bericht genutzte Gewichtung**,
 - b) eine **individuell vorgenommene Gewichtung** (Punkte von 1 bis 5) oder
 - c) einer **multikriteriell errechneten Gewichtung**, die auf einem paarweisen Vergleich der Kriterien beruht. Dabei erhält man eine auf 100% normierte Rangfolge der Kriterien.
- Die Stadt Bottrop stellte **Informationen zu zwei Leitungen** zur Verfügung. Bei einer Leitung konnte sogar vor Ort **erstmalig das neue verkürzte Vorgehen zur Dichtheitsprüfung** angewendet werden.
- Die Stadt Burscheid stellte Informationen über insgesamt **vier Leitungen** zur Verfügung, die anschließend in eine Risikobewertung mündeten.
- Die Stadt Gevelsberg bereitete Informationen über **drei Leitungen** vor. Interessant war hierbei, dass eine Leitung in naher Zukunft erneuert werden soll, da diverse Schäden bekannt sind und der Verlauf der Leitung gänzlich unbekannt ist. Aus diesem Grund war es möglich, explizit für diese Leitung, eine Risikosteuerung vorzunehmen, so dass die Leitung in eine **niedrigere Risikoklasse** bewegt werden konnte.

Im Zuge des Forschungsprojektes wurde somit ein Vorgehen entwickelt, das den Netzbetreibern **einen Weg zur Risikoklassifizierung, Risikobewertung sowie Risikosteuerung** aufzeigt. Die Umsetzung dieses Vorgehens sowie die Darstellung von Sanierungstechniken mit Angaben zu Einsatzbereichen und Einsatzvoraussetzungen runden dieses Bild ab.

11 Ausblick

Mit Abschluss des Projektes der Phase II konnten Netzbetreibern mehrere Handlungsempfehlungen an die Hand gegeben werden, um das eigene Abwasserdruckleitungsnetz hinsichtlich auftretender Risiken beurteilen zu können. Insgesamt besteht jedoch weiterer Optimierungsbedarf, d.h. auch Bedarf für weitergehende Untersuchungen, der wie folgt zusammengefasst werden kann:

Die beiden untersuchten Inspektionstechniken eignen sich grundsätzlich für bestimmte Rohrmaterialien. Dennoch ist der Rohrdurchmesser auf Rohre mit Mindestnennweiten von DN200 bzw. DN250 begrenzt. Damit ist eine Innenprüfung für kleine Rohre, die durchaus **im privaten Bereich** vorkommen, nicht möglich. Eine Prüfung von Techniken, die den hier untersuchten Inspektionssystemen ähneln, sollte in einem weiteren Schritt **für kleine Durchmesser** sowie für einen **Einsatz während des Betriebes** forciert werden.

Ebenso konnte festgestellt werden, dass zumeist auf Seiten des Kanalnetzbetreibers teilweise das Wissen über den Einsatz von Inspektionstechniken fehlt. Netzbetreiber sollten hinsichtlich des **Einsatzes solcher Techniken geschult** werden, so dass Netzbetreiber und (im Hinblick auf private Leitungen) auch Privatpersonen ausreichend über die Einsatzmöglichkeiten der Inspektionstechniken informiert werden.

Bezüglich der Durchführung der Dichtheitsprüfungen konnte festgestellt werden, dass einige Dichtheitsprüfer keine korrekte und aussagekräftige Prüfung durchführen konnten. Aus diesem Grund sollten **Netzbetreiber zum besseren Verständnis der Ergebnisse als auch Dienstleister im Hinblick auf die korrekte Ausführung von Dichtheitsprüfungen geschult werden**. Hierzu sind spezielle Kenntnisse in Bereichen wie Materialkunde/Baustofftechnik, Hydraulik, Regelwerke, Messtechnik und Sicherheit zu erweitern.

Des Weiteren ist die Erarbeitung einer **zeitlich verkürzten Dichtheitsprüfung für weitere Materialien wie z.B. Stahl, Guss oder Beton** sinnvoll. Hierzu sollten kleinere Teststrecken gebaut werden, um eine ähnliche Vorgehensweise wie für Kunststoffleitungen zu entwickeln. Auf diese Weise wären Dichtheitsprüfungen im Bestand für einen Großteil der Leitungen möglich.

In Bezug auf Risikoanalysen des Leitungsbestandes sind ebenso weitere Untersuchungen notwendig. Insbesondere ist die Kopplung aus **Priorisierung der Leitungen sowie Budgetierung für weitere Maßnahmen als sehr wichtig** einzustufen. Folglich ist eine noch exaktere Beurteilung möglich, so dass auch auf **Nachhaltigkeitsaspekte** eingegangen werden kann. Für eine bessere Planung innerhalb des Kanalnetzbetreibers sollten **finanzielle Aspekte unter Berücksichtigung risikorelevanter und lebenszyklusorientierter Fragestellungen** integriert werden.

Schließlich erweist sich der **Markt der Sanierungstechniken derzeit als sehr heterogen**. Derzeit gibt es kaum Erfahrungen zu konkreten Sanierungsmaßnahmen. Insbesondere ist offen, **inwieweit eine Klassifizierung von Druckleitungslinern nach DIN EN ISO 11295 möglich ist, da nicht jede Sanierungstechnik einer Klasse eindeutig zuzuordnen ist**. Der Bereich der Sanierungstechniken speziell für Abwasserdruckleitungen weist noch einen erheblichen Nachholbedarf auf. Zum einen müssen klare Regelwerke sowie Normen erarbei-

tet werden, zum anderen sollten die einzelnen Techniken/Produkte/Verfahren gezielt wissenschaftlich auf spezielle Anwendungsfälle bezogen untersucht werden.

Im Idealfall sollten im Zuge von IKT-Warentests spezielle Sanierungstechniken direkt an Testleitungen ausgeführt und deren Leistungsfähigkeit vergleichend bewertet werden.

Literaturverzeichnis

- [1] 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.
- [2] Bosseler, B.; Birkner, T.; Sokoll, O.; Brüggemann, T.: Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) bei kommunalen Netzbetreibern und Wasserbehörden in NRW. IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, Dezember 2003.
- [3] DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen, Beuth Verlag, Berlin, Oktober 1997.
- [4] DIN EN 805: Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag, Berlin, März 2000.
- [5] Bosseler, B.; Harting, K.: Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und –dükern, Phase I : Handlungsempfehlungen und technischen und wirtschaftlichen Aspekten, i. A. des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen; Gelsenkirchen, Februar 2011.
- [6] DIN EN 1986: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 30: Instandhaltung, Beuth Verlag, Berlin, Februar 2012.
- [7] DIN EN 1671: Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag, Berlin, August 1997.
- [8] 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.
- [9] Gleißner, W.: Grundlagen des Risikomanagements im Unternehmen. München: Vahlen Verlag, 2008.
- [10] Kamarianakis, Sissis: Ein multikriterielles fuzzy- und risikobasiertes Entscheidungsmodell für die Planung unterirdischer Infrastruktur. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Shaker Verlag, 2013.
- [11] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisation. Verlag Ernst & Sohn, 3. Auflage, Berlin 1999.
- [12] Leibundgut, E.: Risk Management System – Risikofrüherkennung. URL: http://www.rmrisk.ch/49291/pdf_files/rmsimagebrochure.pdf.
- [13] DIN EN 752: 2008-04: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag, Berlin, April 2008.
- [14] DVGW W 401: 1997-09 „Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserrohrnetzen“. Bonn: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., 1997.