

Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und -dükern

- Phase I -

Handlungsempfehlungen unter technischen
und wirtschaftlichen Aspekten

Kurzfassung



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	3
3	BETRIEBSERFAHRUNGEN DER BETREIBER	6
4	SCHADENSARTEN UND –BILDER.....	7
5	TECHNIKEN ZUR ZUSTANDSERFASSUNG.....	10
6	HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUR ZUSTANDSERFASSUNG	21
7	FAZIT	29
8	AUSBLICK	31
9	LITERATURVERZEICHNIS	32

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) Abwasserdruckleitungen [1]. Die Gesamtlänge der Abwasserdruckleitungen 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, die erforderlich sind, wenn Leitungen in ihrem Verlauf auf Hindernisse treffen wie beispielsweise Flussläufe. 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.

Im Bereich der Freigefälleleitungen gehört die (optische) Zustandserfassung zu den üblichen betrieblichen Aufgaben. 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 [3]. 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 der Planung von Druckleitungen meist nicht vorgesehen werden, fehlen Zugangsöffnungen oder diese sind nur in großen Abständen vorhanden. Hinzu kommen erschwerte Bedingungen für eine Inspektion durch Bögen, Voll- oder Teilfüllungen der Leitungen sowie Gefälle- und Steigungs-

strecken. 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 und parallel dazu die baulichen Randbedingungen von Abwasserdruckleitungen (Kapitel 2), die Betriebserfahrungen der beteiligten Netzbetreiber (Kapitel 3) sowie Schadensarten und –bilder (Kapitel 4) zusammengestellt. Anschließend fanden exemplarische Testeinsätze ausgewählter Techniken an bestehenden Druckleitungen der Betreiber statt. 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 (s. Kapitel 5), um erste Handlungsempfehlungen für die Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen ableiten zu können (s. Kapitel 6).

2 Bauliche Randbedingungen

Abwasserdruckleitungen

Abwasserdruckleitungen unterscheiden sich in zahlreichen baulichen und betrieblichen Randbedingungen von Freispiegleitungen und können daher als Sonderbauwerke der Kanalisation betrachtet werden.

Als **Leitungsmaterialien** wurden für Abwasserdruckleitungen hauptsächlich PVC, PE, Guss und Asbestzement verwendet. Abb. 1 zeigt die Auswertung einer Umfrage unter den beteiligten Netzbetreibern zur Verteilung der Leitungsmaterialien. 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 und Asbestzement durch Emschergenossenschaft und Lippeverband (EGLV) sowie den Zweckverband Ostholstein (ZVO) verursacht wird. Ohne Berücksichtigung von EGLV und ZVO erhöhen sich die Anteile der Kunststoffleitungen auf rund 76 % und für Gussleitungen auf 14 %. Asbestzement ist nur noch mit 4 % vertreten.

Die **Leitungsdurchmesser** liegen vorwiegend zwischen DN 100 und DN 400. 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. 2).

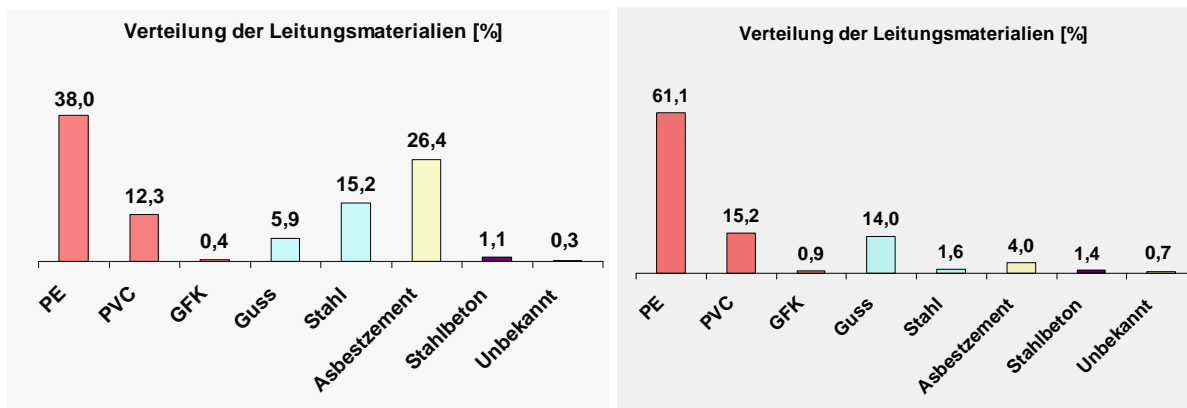


Abb. 1: Verteilung der Leitungsmaterialien bei Druckleitungen ohne Netz,
links: 22 Netzbetreiber mit Gesamtdruckleitungslänge von 910 km,
rechts: 19 Netzbetreiber mit Gesamtdruckleitungslänge von 350 km (ohne EGLV und ZVO)

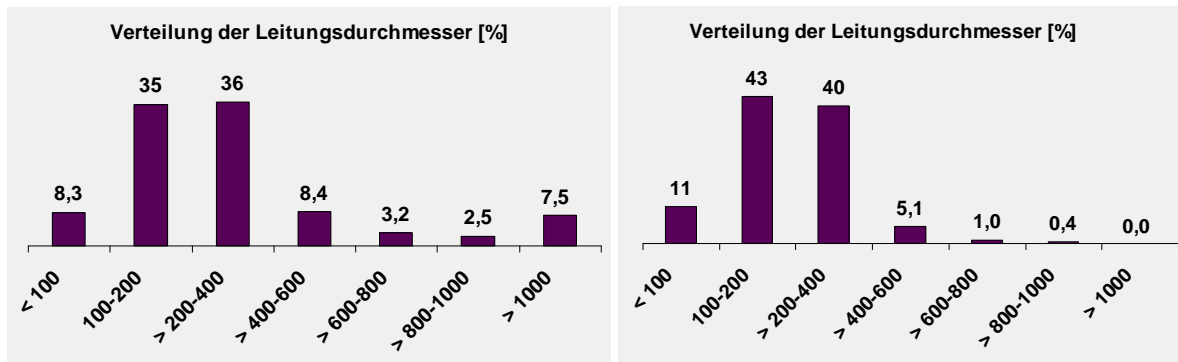


Abb. 2: Verteilung der Leitungsdurchmesser bei Druckleitungen ohne Netz, links: 22 Netzbetreiber mit Gesamtdruckleitungslänge von 910 km, rechts: 20 Netzbetreiber mit Gesamtdruckleitungslänge von 670 km (ohne EGLV)

Da Abwasserdruckleitungen flexibel hinsichtlich Topographie und Linienführung geplant werden, zeichnen sie sich im Allgemeinen durch **Bögen, Hoch- und Tiefpunkte** und eine geringe Verlegetiefe aus. Soweit **Zugangsmöglichkeiten** im Verlauf der Druckleitung vorhanden sind (vgl. Abb. 3), haben diese meist große Abstände. Weitergehende Informationen, beispielsweise zu Art und Abstand von Zugangsöffnungen sowie Ausführungsart von Bögen, können der Langfassung entnommen werden.



Abb. 3: Revisionsöffnung (li), T-Stück und Spülstutzen (mi) und Passstück (re) in Gussleitungen

Düker

Düker werden nach DWA Arbeitsblatt 112 [4] 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 [5]. 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 [4].

Hinweise zu **Bauweise und Zugangsmöglichkeiten** von Dükern finden sich im Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 157 „Bauwerke der Kanalisation“ [6]. Das Arbeitsblatt unterscheidet zwischen Dükern mit Gefälle Richtung Oberhaupt, die am Oberhaupt entleert werden können, und Dükern mit einem Tiefpunkt zwischen Ober- und Unterhaupt, die über einen Entleerschacht am Tiefpunkt entleert werden können. 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. In der Praxis finden sich darüber hinaus Dükere, die ein Hindernis mit einem Tiefpunkt ohne Entleerungsschacht unterqueren (vgl. Abb. 4). Zugangsmöglichkeiten zur Leitungen bestehen hier somit nur über das Dükerober- und -unterhaupt.

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

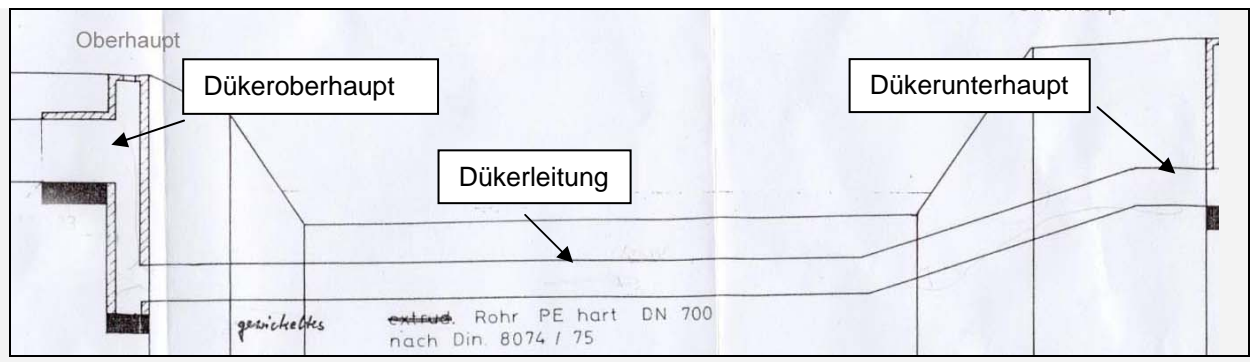


Abb. 4: Beispielhafter Längsschnitt eines Dükers [7]

3 Betriebserfahrungen der Betreiber

Wie eine Umfrage bei den beteiligten Netzbetreibern hinsichtlich **Maßnahmen zur Zustandserfassung** bei Abwasserdruckleitungen zeigte, beziehen sich Inspektions- und Wartungsarbeiten vorwiegend auf Pumpstationen, Armaturen und Be- und Entlüftungsventile. Nur in Einzelfällen wurden Druckleitungen im Bestand mittels Druckprüfung auf ihre Dichtheit untersucht oder Teilstücke von Leitungen mittels Kamera befahren, meist im Zusammenhang mit Betriebsstörungen und Reparaturmaßnahmen.

Eine Vielzahl der bestehenden Druckleitungen kann, so die Erfahrungen des Lenkungskreises, 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.

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 [8] für Druckrohr- und Dükerleitungen 30 – 50 Jahre angegeben, unabhängig vom Material. Das DWA Arbeitsblatt 116-2 [3] nennt 50 – 80 Jahre. Bei den Betreibern sind die Annahmen unterschiedlich. Hier wurden 40 Jahre bis 80 Jahre als geplante Nutzungsdauer angegeben.

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.

4 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 (vgl. Langfassung Kapitel 3).

In Tab. 1 sind mögliche Schadensarten für die hauptsächlich verwendeten Rohrwerkstoffe PE, PVC, Guss und Asbestzement zusammengestellt. Auf die Werkstoffe Stahl (s. Langfassung) und Stahlbeton wird aufgrund ihrer seltenen Verwendung an dieser Stelle nicht eingegangen. Bei **Gussleitungen** spielt Korrosion, insbesondere in Form von Graphitierung (s. Abb. 5), eine wesentliche Rolle bei den Schadensarten. 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 [9,10]. Es entsteht ein weiches, nicht tragfähiges Korrosionsprodukt, sodass der Werkstoff seine Festigkeit verliert und mechanisch nicht mehr belastbar ist [9,10]. Da das Werkstück seine Form beibehält, ist Graphitierung häufig optisch nicht zu erkennen [9,10].

Typische Schäden an **Kunststoffrohrleitungen** treten nach [11] infolge von Ermüdungserscheinungen und Kerbverhalten auf. Nach [12] kann es insbesondere bei PVC-Leitungen zu einer Versprödung des Werkstoffs und somit zu einer zunehmenden Bruchempfindlichkeit kommen. Eine Auswertung zur Schadensverteilung in Trinkwasserdruckleitungen bei vier Wasserversorgern aus dem Vereinigten Königreich [13] ergab als Hauptschadensart undichte Rohrverbindungen für PE- und PVC-Rohre und zusätzlich Längsrisse in PVC-Rohren.

Bei **Asbestzementleitungen** sind Schäden durch Korrosion bzw. chemische Reaktionen im Zementgefüge der Rohrwand typisch, die zu einem Festigkeitsverlust und z.T. zu einem Quellen der Rohrwand führen. In der Folge können Wandstärkenverluste, Löcher, Blasenbildungen an der Rohroberfläche sowie Riss- und Scherbenbildungen auftreten. Chemische Reaktionen der Zementmatrix werden in erster Linie durch biogene Schwefelsäurekorrosion und saures oder sulfathaltiges Ab- und Grundwasser hervorgerufen. Im Zusammenhang mit biogener Schwefelsäurekorrosion sind insbesondere teilgefüllte Leitungsabschnitte oder Abschnitte mit Lufteinschlüssen gefährdet, da in diesen Bereichen der in Abwasserdruckleitungen häufig entstehende Schwefelwasserstoff ausgasen kann.

In Abb. 5 bis Abb. 8 sind beispielhafte Schadensbilder bzw. Auffälligkeiten dargestellt. Detaillierte Informationen zu werkstoffspezifischen Schadensarten in Abwasserdruckleitungen sowie weitere Schadensbilder können der Langfassung des Berichtes entnommen werden.

Tab. 1: Mögliche Schadensarten an Abwasserdruckleitungen für die hauptsächlich verwendeten Werkstoffe PE, PVC, Guss und Asbestzement

Grauguss / Duktulguss	PE und PVC	Asbestzement
<ul style="list-style-type: none"> • Korrosion innen/außen als Flächen-, Mulden-, Loch- und Narbenkorrosion und Graphitierung • undichte Verbindungen • Querbruch (Grauguss) • Schalenbruch (Grauguss) • Abrieb/Fehstellen der Innenbeschichtung • Fehlstellen im äußeren Korrosionsschutz • Längsrisse • Rundrisse (Duktulguss) • Verformung (Duktulguss) • Beschädigung durch Dritte • Leckagen (als Folge) 	<ul style="list-style-type: none"> • undichte Rohrverbindungen, • Deformationen bzw. Spannungsrisskorrosion insbesondere infolge von Punktlasten • Längsrisse • Rundrisse • Sprödbruch • Beschädigung durch Dritte • Leckagen (als Folge) 	<ul style="list-style-type: none"> • 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)



Abb. 5: Lochkorrosion in einer Grauguss-Abwasserdruckleitung (links) [14] und graphitisiertes Trinkwasser-Graugussrohr (rechts) [9]



Abb. 6: Rissbildung in einer Flanschverbindung eines PVC-Abwasserdruckrohres in der Pumpstation (links) [15], Ovalisierung (mittig) und Deformation durch Punktlast in einer PE-HD-Abwasserdruckleitung (rechts)



Abb. 7: Gequollenes Asbestzementrohr einer Abwasserdruckleitung (links, mittig) [16] und Ausschnitt eines korrodierten Asbestzementrohres einer Abwasserdruckleitung [15] (rechts)



Abb. 8: Blasenbildung (links, mittig) und Ablösen von Material (rechts) der Rohrwand einer Trinkwasser-Asbestzementleitung [17]

5 Techniken zur Zustandserfassung

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. Daher wurden die Techniken meist auf den Rohrwerkstoff Stahl und entsprechende Nennweiten, Zugangsmöglichkeiten und Bögen dieser Leitungen abgestimmt.

Im Rahmen des Projektes wurde ein Überblick zu Techniken, die prinzipiell für die Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen in Frage kommen, und ihren **Funktionsweisen, Einsatzvoraussetzungen und -kosten** zusammengestellt. Berücksichtigt wurden dabei in erster Linie marktübliche Techniken, die bereits ihre grundsätzliche Einsatzfähigkeit für Abwasserkanäle oder Versorgungs- bzw. industrielle Druckleitungen gezeigt haben. Details des Techniküberblicks können der Berichtslangfassung zu folgenden Techniken bzw. Verfahren entnommen werden:

➤ Techniken zur Innen-Inspektion

- Kanalkameras und Zusatzmodule
- Inspektionsroboter
- Inspektionsmolche
- eingespülte und gezogene Inspektionstechniken

➤ Techniken zur Außen-Inspektion

- Prüfungen an frei gelegter Rohrwand
- Prüfungen erdüberdeckter Rohre

➤ Wasserdruckprüfung

➤ Prüfungen an Werkstoffproben

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 Vollfüllung 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. 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.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass es bislang keine Techniken auf dem Markt gibt, die generell bei Abwasserdruckleitungen oder Dükern eingesetzt werden können und zugleich um-

fassende 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.

Auch wenn DIN EN 1610 [18] für die Bauabnahme-Prüfung von Abwasserdruckleitungen auf DIN EN 805 [19] verweist, so 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. 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 [20] für Prüfungen an Freispiegelleitungen im Bestand geringere Prüfdrücke angesetzt, als für die Neubauabnahme nach DWA-A 139 [21].

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. Langfassung 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. Langfassung Abschnitte 4.1.3.5, 4.1.4.2 und 4.1.4.3). Im Rahmen eines begleiteten Praxiseinsatzes des SmartBall® (s. Langfassung 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 unerkant bleiben, wenn sie von Schmutzstoffen überdeckt werden (vgl. Langfassung 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, da nicht alle Korrosionsarten bzw. Materialveränderungen optisch sichtbar sind (vgl. Kapitel 4 sowie Langfassung Kapitel 3). 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. Abb. 9 sowie Langfassung 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.



Abb. 9: Schleppkamera – Axialkamera mit Saugschirm (li, mi) und Radarantenne auf Kamerafahrgewagen (re)

Möglicherweise kann für Asbestzementleitungen ein **Kanalradar** zur Bestimmung der Dicke der noch intakten Rohrwand verwendet werden (vgl. Abb. 9 sowie Langfassung 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. Langfassung 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. Abb. 10 und Langfassung Abschnitt 6.7.1). Ebenfalls sind Molche und Roboter (vgl. Abb. 10) mit derartiger Technik verfügbar, jedoch sind diese 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. Langfassung Abschnitt 4.1.2). Darüber hinaus können auch **Rohrproben** entnommen werden und im Labor auf Korrosion und weitere Materialeigenschaften untersucht werden (vgl. Langfassung Abschnitt 4.4).



Abb. 10: Wirbelstromprüftechnik zur Außen-Inspektion (li) und Inspektionsroboter mit Wirbelstromprüfeinheit zur Innen-Inspektion (re)

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. Langfassung 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 Rohrabchnitte 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 beispielsweise bogengängige Schaumstoffmolche mit Ortungssender oder ggf. auch Georadarverfahren eingesetzt werden (zusätzlich abhängig von Faktoren wie Bodenart, Salz- und Wassergehalt). Ebenfalls ist bei ausreichender Bogengängigkeit ein Einsatz von Molchen mit Messtechniken zur Lagebestimmung denkbar.

In Tab. 2 bis Tab. 7 werden die wichtigsten Einsatzvoraussetzungen der betrachteten Inspektionstechniken 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. Detaillierte Erläuterungen zu Funktionsweisen, Einsatzgebieten und Einsatzvoraussetzungen der Techniken können der Berichtslangfassung entnommen werden (Langfassung Kapitel 4).

Tab. 2: 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	s. Langfassung, 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 (Maximale Inspektionslänge systemabhängig von 200-1.000 m) • Aussagekraft einer optischen Inspektion eingeschränkt (vgl. Kapitel 4) 	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 4) 	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 / -düker:</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. 3: 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	s. Langfassung, 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 4) 	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. 4: 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	s. Langfassung, 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 	ab ca. 15.000 €/Einsatz	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 Einsetzbarkeit aufgrund erforderlicher Vollfüllung und Mindestdruck Detektierbarkeit von Leckagen möglicherweise durch Abdichtungswirkung von Schmutzstoffen eingeschränkt (s. Langfassung Abschnitt 4.1.4.3) Düker: <ul style="list-style-type: none"> Für bauliche Randbedingungen grundsätzlich nicht geeignet 	ca. 6.000-11.000 €/Einsatz	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 	k.A.	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 4) eingeschränkt, Einsatz daher nicht empfehlenswert Düker: <ul style="list-style-type: none"> Für bauliche Randbedingungen grundsätzlich nicht geeignet 	k.A.	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 	Preisbeispiel Leitung DN 80, 420 m Länge: 2.300-3.900 €/Einsatz	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. 5: 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	s. Langfassung, 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 / -dükern: <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. Langfassung 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 das 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 / -dükern: <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. 6: 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	s. Langfassung, 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. 7: 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	s. Langfassung, 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 Rohrabschnitts 	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 	Abschreiten der Trasse mit Handkamera: 1.500 €/d Überfliegung: > 9.000 €/d	<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 	einzelne Radarantenne: 2.500 – 3.000 €/d; aufwendige Messtechnik*: 12 €/m ²	<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

6 Handlungsempfehlungen zur Zustandserfassung

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 grundsätzliches Vorgehen wird vorgeschlagen (Abb. 12):

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“ [22] 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“ [22] stützen. Da Bewertungshilfen zu Schadensrisiken bei Abwasserdruckleitungen in Abhängigkeit von Faktoren wie Material und Alter fehlen und auch 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. 11).

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 [23,24]. 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 [25,26]. Allerdings sind beim aggressiveren Medium Abwasser höhere Raten für die Innenkorrosion wahrscheinlich [25,26].

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 Geländeoberfläche,
- 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 geringen 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. 11). 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. 11 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.

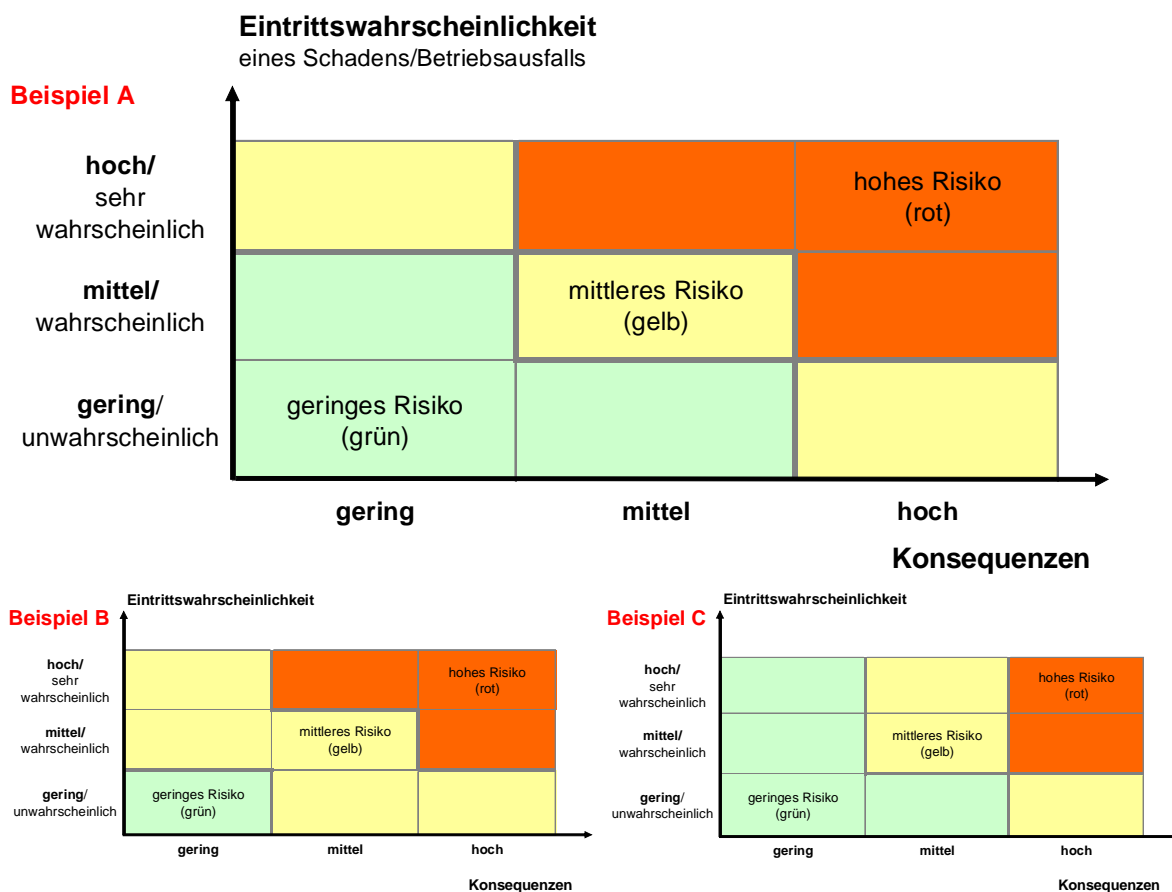


Abb. 11: Beispiele für Risikomatrizen zur Risikobewertung

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 gesteigener 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. Langfassung 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. [27]), 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 einer bestehenden Leitung 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. Kapitel 5) 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. 12 dargestellte Ablaufschema fasst das vorgeschlagene Vorgehen zur Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen zusammen. Da die Basisfaktoren zur Risiko-bewertung, wie Zustand der Leitung, Zahl der Anschlussnehmer und Sicherheitsanforderungen des Betreibers, **Änderungen** unterliegen, sollte in angemessenen Intervallen eine Neubewertung vorgenommen werden.

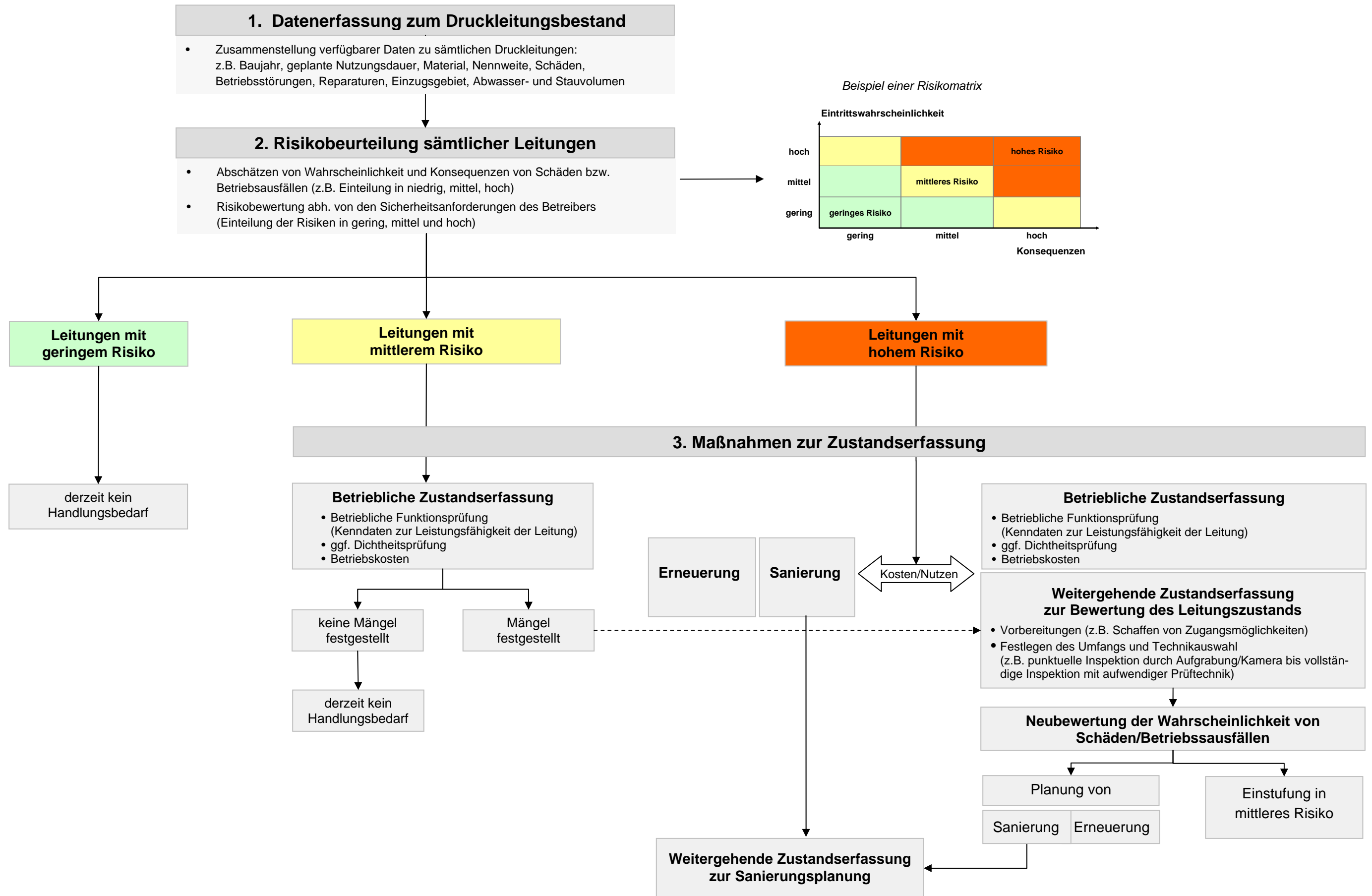


Abb. 12: Handlungsschema für die Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen

7 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 [28]). 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 Gefällestrecken, ebenso wie aufwendige oder eingeschränkte Entleerungsmöglichkeiten von Druckleitungen zu nennen.

Vor diesem Hintergrund wurde ein Überblick zu **alternativen Inspektionstechniken** mit Funktionsweisen, Einsatzvoraussetzungen, Kosten und Hinweisen zur Einsetzbarkeit in Abwasserdruckleitungen zusammengestellt (vgl. Langfassung Kapitel 5). 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 Ein-

zelfall 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, d. h. dem Risiko, von Schadensfällen bzw. Betriebsstörungen orientiert (s. Kapitel 6). Ein übersichtliches Handlungsschema zeigt einen Weg zur Risikobeurteilung und Zustandserfassung ihres Druckleitungsbestandes auf. Die Erstbewertung von möglichen Techniken zur Zustandserfassung in Kapitel 5, mit Angaben zu Einsatzbereichen, Einsatzvoraussetzungen und Kosten, rundet dieses Bild ab.

8 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 Fahrzeugkameras 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 Freispiegelleitungen, beispielsweise aufgrund fehlender Zugangsmöglichkeiten oder Entlüftungsmöglichkeiten. Eigene technische Regelungen für die Prüfung bestehender erdüberdeckter Abwasserdruckleitungen existieren nicht. In der DIN EN 1610 [18] wird lediglich für die Bauabnahme auf das Prüfverfahren für Trinkwasserleitungen nach DIN EN 805 [19] 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 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.

9 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] DWA-A 116-2: Besondere Entwässerungsverfahren, Teil 2: Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. DWA, Hennef, Mai 2007
- [4] DWA-A 112: Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Sonderbauwerken in Abwasserleitungen und –kanälen. DWA, Hennef, August 2007
- [5] DIN 4054: Abwassertechnik – Grundbegriffe. Beuth Verlag, Berlin, August 2003
- [6] ATV-DVWK-A 157: Bauwerke der Kanalisation. November 2000
- [7] Bosseler, B; Bennerscheidt, C.: Einsatz der Ejektortechnik bei der Dückerreinigung und -inspektion. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, Juni 2004
- [8] Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien), Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 2005
- [9] 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
- [10] Information der Freien Enzyklopädie Wikipedia unter [http://de.wikipedia.org/wiki/Spongiose_\(Korrosion\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Spongiose_(Korrosion)), November 2010
- [11] 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.
- [12] 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.; Gaebelain, W.; Sommer, J.; Möller, W.; Schlosser, H.-U.; Böhme, A.; Kröfges, W.: Sanierung Städtischer Wasserversorgungsnetze – Strategien, Verfahren, Fallbeispiele der Rehabilitation, Verlag Bauwesen, Berlin, 2000
- [13] 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, Clombus (Ohio, USA), 2010
- [14] Information der Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg, Juni 2010
- [15] Information der Technischen Werke Emmerich am Rhein GmbH, Emmerich am Rhein, Juni 2010
- [16] Information des Zweckverband Ostholstein (ZVO Entwässerung), Sierksdorf, Juli 2010
- [17] Information der Fa. M.J. OOMEN BV Sprundel (Niederlande), November 2010
- [18] DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen. Beuth Verlag, Berlin, Oktober 1997

-
- [19] DIN EN 805: Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag, Berlin, März 2000
 - [20] 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
 - [21] DWA-A 139: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen. DWA, Hennef, Juni 1998
 - [22] ISO 31000: Risk management – Principles an guidelines, November 2009
 - [23] 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
 - [24] Auskunft des Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau FITR gGmbH, Weimar, Juni/November 2010
 - [25] Auskunft Compagnie de Saint-Gobain Zweigniederlassung Deutschland, Juni 2010
 - [26] Auskunft des IWW Rheinisch Westfälisches Institut für Wasser, Biebesheim, Juni 2010
 - [27] Bosseler, B; Harting, K.: Abwasserdruckleitungen – Möglichkeiten und Verfahren zur Reinigung. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, Dezember 2006
 - [28] 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