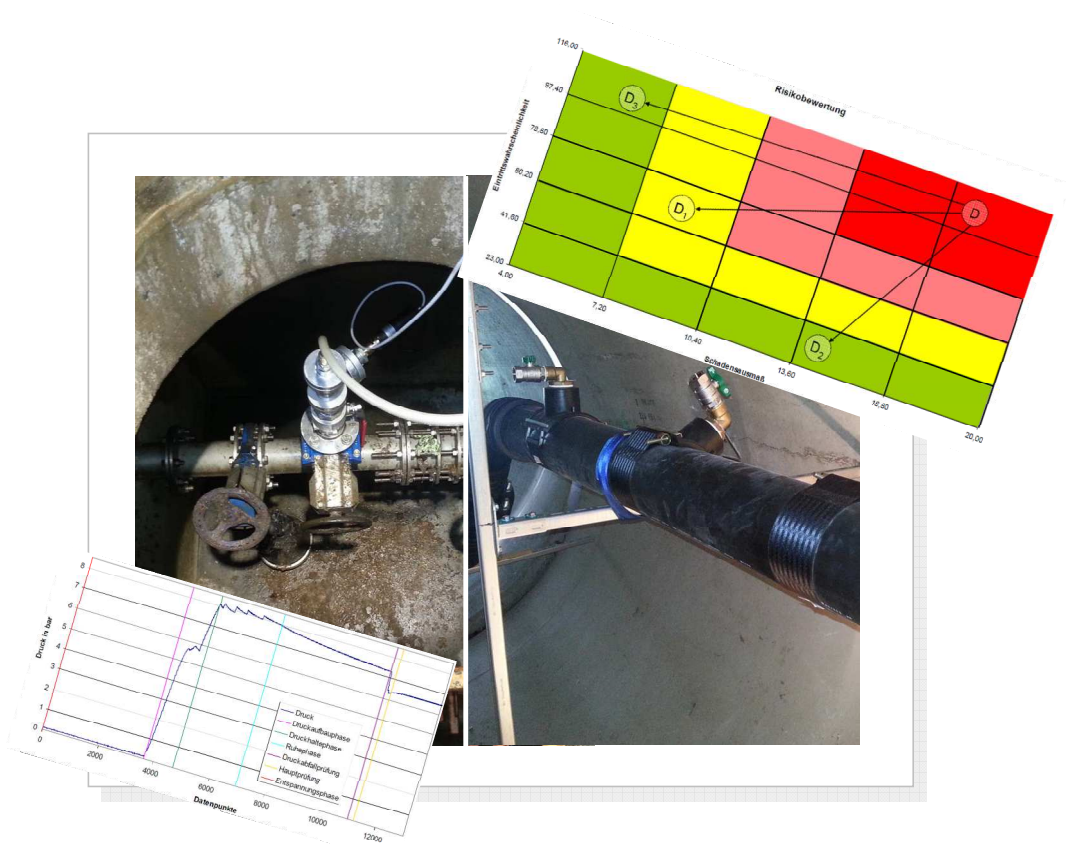


# Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und -dükern

- Phase II -

Handlungsempfehlungen unter technischen  
und wirtschaftlichen Aspekten

## Langfassung



Gelsenkirchen, September 2015



## Fördernde Stelle



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

## Bearbeitung



IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur  
Exterbruch 1  
45886 Gelsenkirchen

## Wissenschaftliche Leitung

Prof. Dr.-Ing. Bert Bosseler

## Projektleitung und Bearbeitung

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

Dipl.-Ing. Martin Liebscher

Alexander Lücke, B. Eng

Dipl.-Ing. (FH) Kathrin Sokoll

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

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

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>VERANLASSUNG, ZIELSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ERARBEITUNG EINES ANFORDERUNGSPROFILS ZUR ENTWICKLUNG ANGEPASSTER TECHNIKEN</b> .....	<b>4</b>
2.1	Workshop „Inspektionstechniken“ .....	4
2.1.1	Darstellung möglicher baulicher Randbedingungen, Vortriebsmöglichkeiten sowie Untersuchungsziele .....	4
2.1.2	Grundsätzliche Anforderungen an Inspektionstechniken.....	5
2.1.3	Wahl der Untersuchungsziele für Druckleitungen und Düker .....	7
2.2	Ergebnisse des Workshops.....	10
<b>3</b>	<b>MESSGENAUIGKEITEN AUSGEWÄHLTER INSPEKTIONSTECHNIKEN</b> .....	<b>11</b>
3.1	Kanalradar .....	11
3.1.1	Testleitung Asbestzement DN 600.....	12
3.1.2	Vergleichsmessungen an einem Asbestzement – Probestück DN 300.....	14
3.1.3	Testleitung Stahl DN 600 .....	15
3.1.4	Phenolphthalein-Test.....	17
3.1.5	Bewertung der Messergebnisse.....	18
3.2	Slofec.....	19
3.2.1	Versuchsaufbau.....	20
3.2.2	Prüfprogramm.....	22
3.2.3	Prüfergebnisse .....	23
3.2.4	Bewertung der Prüfergebnisse.....	27
3.3	Fazit und Handlungsempfehlungen .....	35
3.3.1	Bewertung der Prüfprogramme .....	35
3.3.2	Weiterer Optimierungsbedarf .....	35
<b>4</b>	<b>ZUSTANDBEWERTUNG MIT HILFE VON DICHTHEITSPRÜFUNGEN</b> .....	<b>37</b>
4.1	Allgemeines .....	37
4.2	Prüfung an Abwasserdruckleitungen im Bestand .....	41
4.3	Versuchsstrecke im IKT .....	44
4.3.1	Versuchsaufbau.....	45
4.3.2	Versuchsprogramm .....	48
4.3.3	Versuchsprüfungen .....	49
4.3.3.1	Kontraktionsverfahren nach Druckverlustmethode .....	50
4.3.3.2	Prüfung durch das IKT.....	51
4.3.3.3	Prüfung durch Dienstleister .....	59

4.3.3.4	Bewertung der Ergebnisse .....	75
4.4	Fazit und Handlungsempfehlungen .....	81
4.4.1	Empfehlungen zur Dichtheitsprüfung .....	81
4.4.2	Optimierungsbedarf im Umgang mit Dichtheitsprüfungen .....	82
<b>5</b>	<b>VORGEHENSWEISE ZUR DICHTHEITSPRÜFUNG VON ABWASSERDRUCKLEITUNGEN IM BESTAND .....</b>	<b>84</b>
5.1	Normen und Regelwerke zu Druckleitungen.....	84
5.1.1	Ergebnisse der DWA-Arbeitsgruppe ES-7.4 .....	84
5.1.2	DIN EN 805 und DVGW W 400-2 .....	87
5.1.2.1	Angewandte Verfahren für Dichtheitsprüfungen .....	87
5.1.2.2	Ablauf der Dichtheitsprüfung .....	88
5.1.2.3	Prüfung der Testleitung nach dem Kontraktionsverfahren.....	89
5.1.3	Österreichisches Regelwerk ÖVGW W 101.....	93
5.1.4	Norsk Standard NS 3551 .....	94
5.1.5	Vergleich der Normen und Regelwerke zu Druckleitungen .....	97
5.1.6	Fazit und weiterer Optimierungsbedarf .....	98
5.2	Dichtheitsprüfungen durch das IKT .....	99
5.2.1	Prüfkriterien und –randbedingungen .....	99
5.2.2	Prüfprogramm.....	100
5.2.3	Hauptprüfungen durch das IKT .....	102
5.2.4	Erweiterte Prüfungen durch das IKT .....	103
5.3	Zusammenfassung der Prüfergebnisse .....	105
5.3.1	Analyse der Ergebnisse.....	105
5.3.2	Abhängigkeit etwaiger Parameter .....	107
<b>6</b>	<b>SCHADENSRISEN .....</b>	<b>109</b>
6.1	Der Risikomanagementprozess .....	110
6.2	Risikoidentifikation.....	111
6.2.1	Anforderungen an die Risikoidentifikation.....	111
6.2.2	Methoden der allgemeinen Risikoidentifikation.....	112
6.2.3	Instrumente der Risikoidentifikation in der Baubranche.....	112
6.2.4	Qualitative Risikoanalyse .....	113
6.3	Erstellung eines Fragebogens für die Netzbetreiber zur Bestimmung der Wichtigkeit der einzelnen Risikokriterien .....	115
6.4	Teil A: Technische Einflussfaktoren .....	116
6.4.1	Festigkeits- und Werkstoffeigenschaften .....	116
6.4.2	Herstellungs- und Werkstofffehler .....	116

6.4.3	Korrosion .....	116
6.4.3.1	Abtragende Korrosion.....	117
6.4.3.2	Lochkorrosion .....	117
6.4.3.3	Spannungsrissskorrosion .....	117
6.4.4	Bodeneigenschaften und Bodenaggressivität .....	117
6.4.5	Verlegebedingungen, Montage- und Bettungsfehler, Lage der Leitung .....	117
6.4.6	Verkehrs- und Erdlasten, Belastungen aus Bodenbewegungen .....	118
6.4.7	Rohrgeometrie .....	118
6.4.8	Wasserparameter, Hydraulik und Betriebsregime .....	118
6.4.9	Witterungseinflüsse .....	119
6.4.10	Alter der Leitung .....	119
6.4.11	Durchflussmenge.....	119
6.4.12	Abwasserpumpe und Pumpdruck .....	119
6.4.13	Zugänglichkeit und Länge des relevanten Leitungsabschnittes .....	120
6.5	Teil B: Mögliche Auswirkungen auf die Umwelt .....	120
6.5.1	Bedeutung des Transportmediums .....	120
6.5.2	Anzahl angeschlossener Wirtschaftseinheiten.....	121
6.5.3	Wasserschutzgebiete .....	121
6.5.4	Örtlichkeit der betreffenden Leitung .....	122
6.5.5	Belegung des betreffenden unterirdischen Raumes .....	122
6.6	Erarbeitung einer qualitativen Bewertungsmatrix zur Abschätzung möglicher Risiken .....	122
6.6.1	Bestimmung und Priorisierung der risikorelevanten Kriterien .....	125
6.6.1.1	Bestimmung der Wichtung mittels eines Fragebogens.....	125
6.6.1.2	Bestimmung der Wichtung auf Basis multikriterieller Bewertungsverfahren.....	125
6.6.2	Bestimmung des risikorelevanten Schadensausmaßes .....	131
6.7	Vorgehensweise bei der Risikobewertung .....	132
6.7.1	Bewertung des fallspezifischen Risikos .....	132
6.7.2	Risikosteuerung.....	138
6.8	Fazit und weiteres Vorgehen.....	140
<b>7</b>	<b>HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUR ABLEITUNG VON INTERVALLEN ZUR WIEDERHOLUNGSINSPEKTION</b>	<b>141</b>
7.1	Erarbeitung eines Fragebogens zur Bestimmung des Leitungs-zustandes .....	141
7.1.1	Leitungs-Analyse für die Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit .....	142
7.1.1.1	Geometrie/Durchmesser der Druckrohrleitung.....	142
7.1.1.2	Werkstoffeigenschaften/Material der Druckrohrleitung .....	143

7.1.1.3	Alter der Druckrohrleitung.....	144
7.1.1.4	Bodeneigenschaften im Bereich der Druckrohrleitung.....	145
7.1.1.5	Montage/Bettungsfehler/Baumängel/Unterlagen der Druckrohrleitung .....	146
7.1.1.6	Lage/Verkehrseinfluss der Druckrohrleitung .....	147
7.1.1.7	Technische Randbedingungen (Pumpen, Pumpleistung etc.) der Druckrohrleitung <sup>1</sup> .....	148
7.1.1.8	Transportmedium in der Druckrohrleitung.....	148
7.1.2	Leitungs-Analyse für die Bestimmung des Schadensausmaßes.....	149
7.1.2.1	Schadensausmaß „Kosten“ .....	149
7.1.2.2	Schadensausmaß „Auswirkungen auf die Umwelt“ <sup>1</sup> .....	149
7.1.2.3	Schadensausmaß „Anzahl der angeschlossenen Haushalte/Industrie“ .....	150
7.2	Ableitung der Risikoklasse .....	151
7.2.1	Leitungen mit „keinem Handlungsbedarf“ .....	151
7.2.2	Leitungen mit „geringem Handlungsbedarf“ .....	151
7.2.3	Leitungen mit „mittlerem Handlungsbedarf“ .....	152
7.2.4	Leitungen mit „hohem Handlungsbedarf“ .....	152
<b>8</b>	<b>UMSETZUNG DER HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN BEI BETREIBERN .....</b>	<b>153</b>
8.1	Risikoanalyse von Druckleitungen der Stadt Bottrop .....	153
8.1.1	Tappenhof .....	153
8.1.1.1	Allgemeine Beschreibung der Druckleitung .....	153
8.1.1.2	Analyse der Druckleitung.....	154
8.1.1.3	Dichtheitsprüfung der Druckleitung .....	156
8.1.2	Glaserhüttenheide .....	160
8.1.2.1	Allgemeine Beschreibung der Druckleitung .....	160
8.1.2.2	Analyse der Druckleitung.....	160
8.1.3	Gesamtbewertung der Abwasserdruckleitungen .....	162
8.2	Risikoanalyse von Druckleitungen der Stadt Burscheid .....	163
8.2.1	Dürscheid .....	163
8.2.1.1	Allgemeine Beschreibung der Druckleitung .....	163
8.2.1.2	Analyse der Druckleitung.....	163
8.2.2	Heddinghofen .....	165
8.2.2.1	Allgemeine Beschreibung der Druckleitung .....	165
8.2.2.2	Analyse der Druckleitung.....	166
8.2.3	Haus Landscheid.....	168
8.2.3.1	Allgemeine Beschreibung der Druckleitung .....	168

8.2.3.2	Analyse der Druckleitung.....	169
8.2.4	Elfgenweg.....	171
8.2.4.1	Allgemeine Beschreibung der Druckleitung .....	171
8.2.4.2	Analyse der Druckleitung.....	172
8.2.5	Gesamtbewertung der Abwasserdruckleitungen .....	174
8.3	Risikoanalyse von Druckleitungen der Stadt Gevelsberg .....	176
8.3.1	Rochholzallee.....	176
8.3.1.1	Allgemeine Beschreibung der Druckleitung .....	176
8.3.1.2	Analyse der Druckleitung.....	177
8.3.2	Am Schlagbaum .....	179
8.3.2.1	Allgemeine Beschreibung der Druckleitung .....	179
8.3.2.2	Analyse der Druckleitung.....	180
8.3.3	Silschede Süd.....	182
8.3.3.1	Allgemeine Beschreibung der Druckleitung .....	182
8.3.3.2	Analyse der Druckleitung.....	183
8.3.4	Gesamtbewertung der Abwasserdruckleitungen .....	185
8.4	Fazit und weiterer Optimierungsbedarf .....	186
<b>9</b>	<b>MARKTÜBERSICHT SANIERUNGSTECHNIKEN FÜR ABWASSERDRUCK-LEITUNGEN .....</b>	<b>188</b>
9.1	Reparatur.....	189
9.1.1	Quick-Lock.....	189
9.1.2	AMEX-Manschette.....	192
9.2	Renovierung / Erneuerung .....	194
9.2.1	DynTec .....	195
9.2.2	Subline.....	196
9.2.3	Slipline .....	197
9.2.4	Compact Pipe .....	198
9.2.5	D&S Gewebeslauchrelining.....	199
9.2.6	DS CityLiner .....	200
9.2.7	RS BlueLiner® .....	201
9.2.8	Swagelining-Verfahren .....	202
9.2.9	Saertex-Liner® Premium.....	203
9.2.10	Rolldown Verfahren .....	206
9.2.11	U-Liner aus PE-HD.....	207
9.2.12	Omega-Liner®.....	209

9.2.13	Zementmörtelauskleidung .....	210
9.2.14	Primus Line®.....	211
9.2.15	Berstlining (Kurz- / Langrohr) .....	213
9.3	Klassifizierung von Druckleitungslinern nach DIN EN ISO 11295:2010 .....	216
9.4	Hinweise, Fazit und Bewertungsmatrix zur Sanierungstechnik-auswahl.....	218
<b>10</b>	<b>FAZIT .....</b>	<b>224</b>
<b>11</b>	<b>AUSBLICK.....</b>	<b>227</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>229</b>
	<b>ANLAGE.....</b>	<b> </b>

## 1 Veranlassung, Zielstellung und Vorgehensweise

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

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

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

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

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

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

Das Arbeitsprogramm der **Phase II** des Vorhabens setzt sich aus insgesamt dreizehn Arbeitspaketen zusammen, die entsprechend der Prioritätensetzung des Lenkungskreises in den Blöcken A und B bearbeitet werden sollten (s. Tabelle 1).

Tabelle 1 Arbeitsprogramm der Phase II

Block A	Block B
Lenkungskreissitzungen	Lenkungskreissitzungen
Workshop „Inspektionstechniken für Abwasserdruckleitungen“	Umsetzung der Handlungsempfehlungen bei Betreibern
Messgenauigkeiten ausgewählter Inspektionstechniken	Empfehlungen zu Bestimmung von Intervallen für wiederkehrende Zustandsbewertungen
Schadensrisiken	Marktübersicht Sanierungstechniken für Abwasserdruckleitungen
Dichtheitsprüfungen an Abwasserdruckleitungen im Bestand und an einer Versuchsstrecke	Projektleitung und –steuerung
Projektleitung und –steuerung	Wissenschaftlicher Endbericht
Wissenschaftlicher Zwischenbericht	

Die wesentlichen zu erwartenden Arbeitsergebnisse der Projektphase II des Untersuchungs- und Entwicklungsvorhabens können wie folgt beschrieben werden:

- a) ein mit Netzbetreibern und der Industrie abgestimmtes **Anforderungsprofil für Inspektionstechniken** für Abwasserdruckleitungen als Anstoß für (Weiter-) entwicklungen,
- b) **Informationen zur technischen Leistungsfähigkeit** bzw. **Messgenauigkeit** vielversprechender Inspektionstechniken (z.B. Kanalradar, Wirbelstromprüftechnik),
- c) **Dokumentation** von Dichtheitsprüfungen an Abwasserdruckleitungen im Bestand sowie **Beschreibung der Versuchsstrecke**,
- d) Erarbeitung einer **zeitlich verkürzten Prüftechnik** zur Bestimmung der Dichtheit von Druckleitungen im Bestand,
- e) Zusammenstellung relevanter **Einflussfaktoren**, die zur Abschätzung bzw. zum qualitativen Vergleich der **Wahrscheinlichkeit eines Schadens- und Betriebsaus-**

**falls der Leitungen** herangezogen werden können: z.B. Rohrwerkstoff, Baujahr; Konkretisierung der Risikobeurteilung des Handlungsschemas gemäß [5],

- f) Erarbeitung eines qualitativen Risikomodells zur Priorisierung einzelner Druckleitungen,
- g) Risikoanalytische Bewertungen an ausgewählten Druckleitungen,
- h) Übersicht über derzeitige Sanierungstechniken für Druckleitungen.

## 2 Erarbeitung eines Anforderungsprofils zur Entwicklung angepasster Techniken

### 2.1 Workshop „Inspektionstechniken“

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

#### 2.1.1 Darstellung möglicher baulicher Randbedingungen, Vortriebsmöglichkeiten sowie Untersuchungsziele

Im Vorfeld wurde in Zusammenarbeit mit 9 Netzbetreibern in einer Lenkungkreissitzung ein Anforderungsprofil für Inspektionstechniken entwickelt und den Technikherstellern vorgestellt. 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.

Unter anderem wurde den Technikherstellern vorgestellt, welche Schwierigkeiten durch die baulichen Randbedingungen von Abwasserdruckleitungen beim Einsatz der Techniken zu überwinden sind, welche Vortriebsmöglichkeiten für Techniken bei der Inneninspektion in Frage kommen und welche Untersuchungsziele Inspektionen haben können:

#### *Erschwerende bauliche Randbedingungen:*

- Zugangsmöglichkeiten über beispielsweise geöffnete Flanschverbindungen in der Pumpstation, Passstücke, Spülstutzen und Revisionsöffnungen im Leitungsverlauf oder ein offenes Druckleitungsende,
- Abstände der Zugangsöffnungen von mehreren hundert Metern bis häufig mehreren Kilometern,
- Gefälle und Steigungsstrecken,
- Durchmesser DN 40 bis > DN 1000,
- unterschiedliche Füllungszustände der Leitungen (Voll-, Teilfüllung, leere Leitungsabschnitte),
- ggf. nicht vollständig entleerbare Leitungen,
- Richtungsänderungen bis zu 90°, mit teils kleineren Biegeradien,
- möglicherweise Querschnittsverminderungen.

*In Frage kommende Vortriebsmöglichkeiten für die Inspektionstechniken:*

- Einspülen mit dem Wasserstrom durch Pumpenbetrieb,
- Einziehen,
- Einsaugen,
- Einblasen,
- mit eigenem Vortrieb der Technik.

*Mögliche Untersuchungsziele:*

- Dichtheit,
- Leckageortung,
- Lageortung,
- Schäden der Rohrwand wie Korrosion und Wandstärkenverluste,
- Optischer Eindruck,
- Zustand der Innenbeschichtung / Abrieb von Korrosionsschutz,
- Ortung von Lufteinschlüssen,
- Geometrie-/Deformationsmessung / Ortung von Ablagerungen,
- Biegeradien von Bögen,
- Lagerungsdefekte der Rohrbettung.

### **2.1.2 Grundsätzliche Anforderungen an Inspektionstechniken**

Anforderungen werden in Anlehnung an die DIN 1986-30 [6] in Dichtheit, Standsicherheit und Betriebssicherheit unterteilt. Hinsichtlich der Inspektion von Abwasserdruckleitungen wurden Anforderungen an Inspektionstechniken wie bauliche Randbedingungen, Vortriebsmöglichkeiten und mögliche Untersuchungsziele mit vorhandenen Regelwerken, Normen und Arbeitsblätter abgeglichen (s. Tabelle 2). Normen und Arbeitsblätter weisen allerdings nur Informationen zum Druckprüfverfahren (Dichtheitsprüfung) sowie Anforderungen zu Messgeräten auf. Grundlegende Anforderungen an Inspektionstechniken werden dort nicht gestellt.

Die DIN EN 805 und DVGW W 400-2 für die Durchführung einer Druckprüfung werden im Kapitel 4 mit den wichtigsten Vorgehensweisen dargestellt.

**Tabelle 2 Vergleich Anforderungen an Inspektionstechniken wie bauliche Randbedingungen, Vortriebsmöglichkeiten und mögliche Untersuchungsziele mit vorhandenen Regelwerken, Normen und Arbeitsblättern**

Inspektionstechniken (ausgewählte)	IKT / Netzbetreiber			Regeln / Normen / Arbeitsblätter
	Anforderungen an die Inspektionstechniken			
	1. Vortriebsmöglichkeiten	2. Bauliche Randbedingungen	3. Untersuchungsziele	
<b>Kanalradar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Einspülen mit dem Wasserstrom durch Pumpenbetrieb</li> <li>– Einziehen</li> <li>– Einsaugen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Möglicherweise Querschnittsverminderung</li> <li>– Richtungsänderungen bis zu 90°, mit teils kleineren Biegeradien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Optische Inspektion</li> <li>– Optischer Eindruck</li> <li>– Schäden an Rohrwand wie Korrosion und Wandstärkenverluste</li> </ul>	<p>DWA-M 149-4: Zustandserfassung und –beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden: Detektion von Lagerungsdefekten und Hohlräumen mittels geophysikalischer Verfahren - <i>Durchführung einer Inspektion</i></p> <p>DWA-M 149-5 Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden: Optische Inspektion - <i>Durchführung einer Inspektion</i></p> <p>DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen - <i>Verweist auf die DIN EN 805 zur Prüfung von Druckrohrleitungen</i></p> <p>DIN EN 805: Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden: Prüfung von Rohrleitungen - <i>Anforderungen an die Durchführung einer Druckprüfung</i></p> <p>DIN EN 1986-30: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke: Instandhaltung (Kapitel 10.6) - <i>Verweist auf die oben genannten Normen</i></p> <p>DVGW Arbeitsblatt W 400-2: Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen, Teil2: Bau und Prüfung - <i>Anforderungen zu Messgeräten und Prüfverfahren</i></p>
<b>SLOFEC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Einblasen</li> <li>– Mit eigenem Vortrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ggf. nicht vollständig entleerbare Leitungen</li> <li>– unterschiedliche Füllzustände der Leitungen</li> <li>– Durchmesser DN 40 bis &gt; DN1000</li> <li>– Gefälle und Steigungsstrecken</li> <li>– Abstände der Zugangsöffnungen von mehreren hundert Metern</li> <li>– Zugangsmöglichkeiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dichtheit</li> <li>– Lageortung</li> <li>– Ortung von Lufteinschlüssen</li> <li>– Leckageortung</li> <li>– Geometrie-/Deformationsmessungen / Ortung von Ablagerungen</li> <li>– Biegeradien von Bögen</li> <li>– Lagerungsdefekte der Rohrleitungen</li> </ul>	
<b>Dichtheitsprüfung</b>				

### 2.1.3 Wahl der Untersuchungsziele für Druckleitungen und Düker

Da nicht zu erwarten ist, dass in absehbarer Zeit Techniken verfügbar sein werden, mit denen alle Untersuchungsziele abgedeckt werden können, wurden von den Netzbetreibern Prioritäten festgelegt:

#### Ranking der **Untersuchungsziele** für **Druckleitungen**:

- 1) Leckageortung (21%),
- 2) Schäden an der Rohrwand bzw. Korrosion und Wandstärkenverluste (15%),
- 3) Dichtheit (14%),  
Lageortung (14%),
- 4) Geometrie-/Deformationsmessung, Ortung von Ablagerungen (12%),  
Biegeradius von Bögen (12%),
- 5) Ortung von Lufteinschlüssen (8%),
- 6) Optischer Eindruck (3%),
- 7) Zustand der Innenbeschichtung / Abrieb von Korrosionsschutz (1%).

#### Ranking der **Untersuchungsziele** für **Düker**:

- 1) Leckageortung (26%),
- 2) Schäden an der Rohrwand bzw. Korrosion und Wandstärkenverluste (25%),
- 3) Dichtheit (18%)
- 4) Ortung von Lufteinschlüssen (10%)  
Biegeradius von Bögen (10%),
- 5) Optischer Eindruck (5%),
- 6) Lageortung (3%),  
Geometrie-/Deformationsmessung, Ortung von Ablagerungen (3%).

Auch wurde den Technikherstellern vorgestellt, welche Leitungsmaterialien, mit welchen Leitungsdurchmessern und konkreten Schäden bestehen.

Dazu wurde unter den beteiligten Netzbetreibern in der 1. Phase des Projektes eine **Umfrage** zur Erhebung der Material- und Nennweitenverteilung ihres Druckleitungsbestandes durchgeführt, an der sich 22 Betreiber beteiligten.

#### *Zusammenfassende Ergebnisse aus Phase I [5]:*

Als **Leitungsmaterialien** wurden für Abwasserdruckleitungen hauptsächlich PVC, PE, Guss und Asbestzement verwendet. Bild 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 %, so dass 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 % (s. Bild 2).

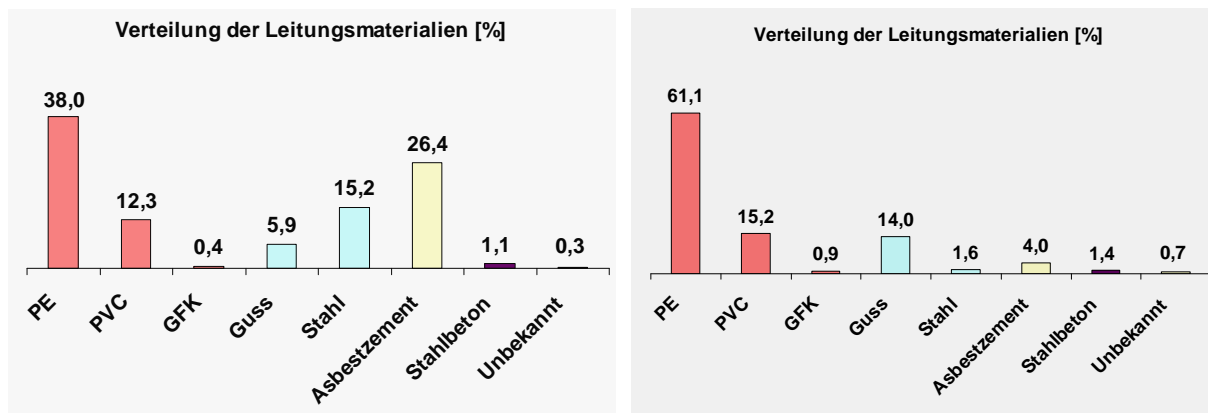


Bild 1 Verteilung der Leitungsmaterialien bei Druckleitungen ohne Netz, links: 22 Netzbetreiber mit Gesamtdruckleitungslänge von 910 km, rechts: 19 Netzbetreiber mit Gesamtdruckleitungslänge von 350 km (ohne EGLV und ZVO)

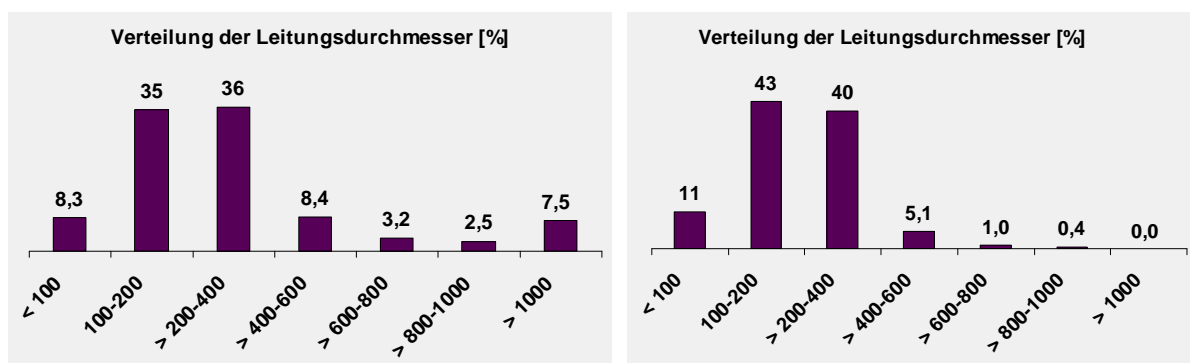


Bild 2 Verteilung der Leitungsdurchmesser bei Druckleitungen ohne Netz, links: 22 Netzbetreiber mit Gesamtdruckleitungslänge von 910 km, rechts: 20 Netzbetreiber mit Gesamtdruckleitungslänge von 670 km (ohne EGLV)

Auch wurden im Rahmen dieser Umfrage 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 einschränken. 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.

In Abwasserdruckleitungen 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, so dass eine Zustandsbewertung allein auf Basis von optischen Aufnahmen zu Fehlinterpretationen, z.B. durch den Eindruck eines scheinbar mängelfreien Zustands, führen kann.

Ergebnisse einer statistischen Erhebung des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfachs zu **Schadensursachen** an Trinkwasserhaupt- und –versorgungsleitungen abhängig vom Rohrmaterial wurden vom DVGW dargestellt (s. Bild 3). Unterschieden wird zwischen Schäden durch Fremdeinwirkungen (z.B. durch Baumaschinen), erhöhte Biegebeanspruchungen durch Bodenbewegungen, Korrosion, defekte Rohrverbindungen und werkstoff- oder konstruktionsbedingte Mängel an Leitungen und Zubehör [7]. Wie die Statistik zeigt, sind die Schadensursachen abhängig vom Material verteilt: Während bei Stahl und Duktulguss Korrosion an erster Stelle steht und bei Grauguss ein Großteil der Schäden auf Bodenbewegungen zurückgeführt wird, liegen die Ursachen bei PE, PVC und Faserzement gleichmäßiger verteilt. Zwar sind die baulichen und betrieblichen Randbedingungen von Abwasserdruckleitungen und Trinkwasserleitungen nicht identisch, insbesondere liegt bei Abwasser ein aggressiveres Fördermedium vor, jedoch werden ähnliche Materialien verwendet und Tiefenlage sowie Betriebsdrücke sind annähernd vergleichbar. Daher können aus der Statistik des DVGW zumindest Tendenzen für die typischen Schadensmechanismen eines Werkstoffs bzw. relevante Einflussfaktoren abgeleitet werden.

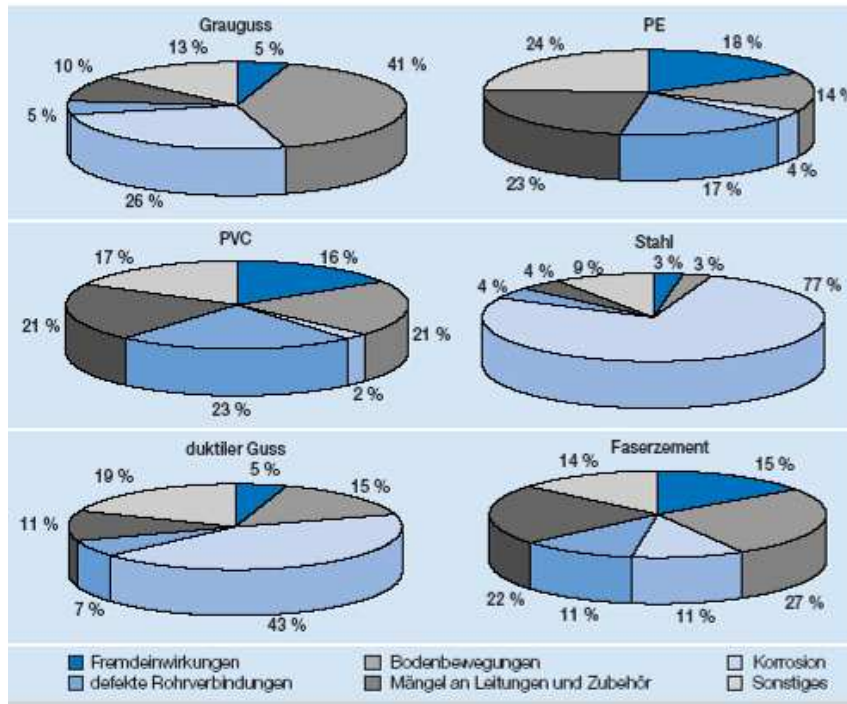


Bild 3 Prozentuale Verteilung der Schadensursachen an Haupt- und Versorgungsleitungen der Trinkwasserversorgung nach Materialarten im Auswertungszeitraum von 1997-2004 [8]

## 2.2 Ergebnisse des Workshops

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

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

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

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

### 3 Messgenauigkeiten ausgewählter Inspektionstechniken

Der Markt bietet zahlreiche Techniken für unterschiedliche Untersuchungsziele und Leitungsmaterialien. Diese wurden im Rahmen der 1. Phase des Forschungsvorhabens „Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und -dükern – Handlungsempfehlungen unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten“ zusammengetragen und beschrieben. Durch den hohen Anteil an Asbestzement-, Stahl- und Gussleitungen im Bestand wurden die Inspektionstechniken Kanalradar für Asbestzement und SloFec für Stahl/Guss ausgewählt, um diese auf ihre Genauigkeit zu überprüfen. Für die Untersuchung der Messgenauigkeit der Systeme wurden im Vorfeld Anforderungen an Inspektionstechniken gestellt. Diese wurden im Kapitel 2 behandelt und den Regeln, Normen sowie Arbeitsblättern gegenübergestellt.

Für eine Untersuchung der Messgenauigkeit wurden Testmessungen an Rohrproben durchgeführt und In-situ Einsätze der Inspektionstechniken begleitet sowie dokumentiert, welche in den folgenden Abschnitten beschrieben werden. Die Rohrproben wurden dann durch das IKT untersucht und die tatsächlichen Messwerte den Prüfergebnissen der Inspektionstechniken gegenübergestellt.

#### 3.1 Kanalradar

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

Das Radar wird mit zwei unterschiedlichen Zielstellungen eingesetzt: In der Regel soll die Rohrbettung auf Hohlräume und sonstige Lagerungsdefekte untersucht oder es sollen Eigenschaften der Rohrwand, wie Wandstärken oder Inhomogenitäten, ermittelt werden. In Abhängigkeit der Aufgabenstellung erfolgen eine Antennen- und Messkonfiguration sowie eine Festlegung der Frequenzbereiche. Bei dieser Messmethode werden mittels einer Breitband-Antenne, die auf die Rohrwand ausgerichtet wird, kurze elektromagnetische Impulse von einigen Nanosekunden Länge gesendet. Die an Schichtgrenzen reflektierten Impulse werden von derselben Antenne wieder empfangen und zeitgleich zur Inspektion in einem Radargramm dargestellt sowie für die spätere, detaillierte Auswertung als Datensatz gespeichert. Die Frequenz der ausgestrahlten elektromagnetischen Impulse liegt in Abhängigkeit der Aufgabenstellung bei Messungen aus dem Kanal heraus in einer Bandbreite von ca. 800 MHz bis 2,6 GHz. [9,10,11]

Bei einer Messung wird die Radarantenne i.d.R. in einzelnen Befahrungen auf Scheitel (12.00 Uhr), beide Kämpfer (3.00 Uhr und 9.00 Uhr) und Rohrsohle (bei Restwasser zwei Messprofile z.B. 5.00 Uhr und 7.00 Uhr) ausgerichtet (s. Bild 4). So sind im Regelfall vier bis fünf Befahrungen des zu untersuchenden Kanalabschnitts notwendig. [10,11]

Über die Untersuchung der Leitungszone auf Lagerungsdefekte und der Rohrwand auf Restwandstärken und Inhomogenitäten hinaus kann das Kanalradar lt. Anbieter auch zur

Bestimmung der Schichtdicke von Zementmörtel-Auskleidungen in Stahl- und Gussleitungen eingesetzt werden [11].

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

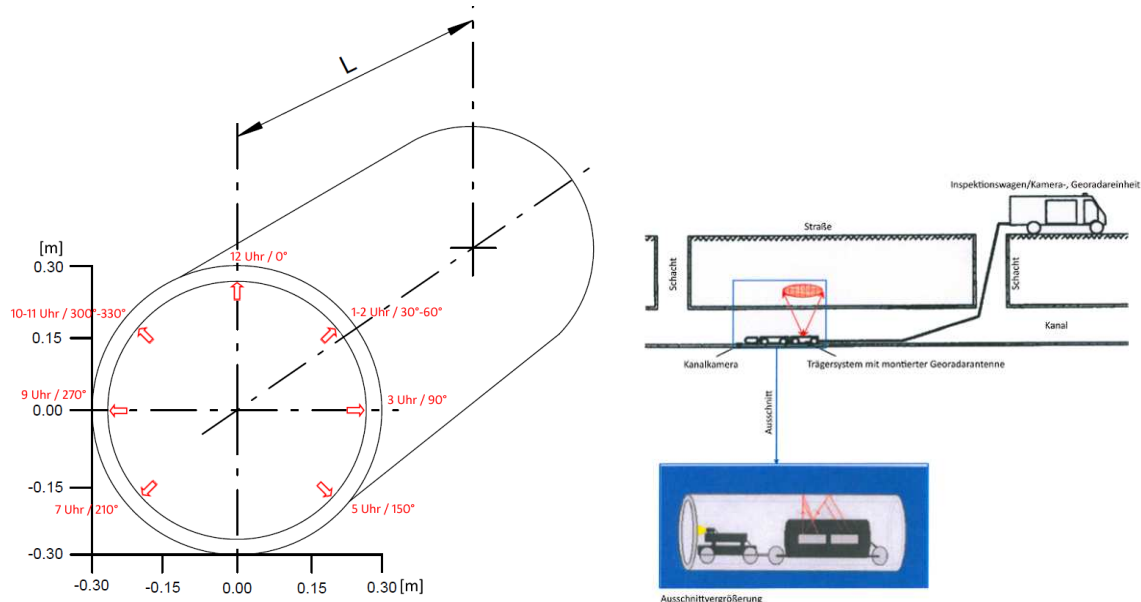


Bild 4 Befahrungslinien des Kanalaradars (links), Prinzipskizze einer Georadarbefahrung innerhalb des Kanals (rechts) [12]

Um Anhaltswerte zur Messgenauigkeit des Kanalaradars zu erhalten, sollten in Praxiseinsätzen bei der Emschergenossenschaft in Essen Teilstücke von Abwasserdruckleitungen mit dem Kanalaradar befahren und anschließend Rohrproben an Stellen genommen werden, an denen die Auswertung der Kanalaradar-Messung Schwächen der Rohrwand zeigte. Diese Proben sollten optisch untersucht und im Rahmen eines „Phenolphthalein-Tests“ mit einem pH-Indikator bestrichen werden, um ausgelaugte Bereiche des Asbestzement-Rohres zu bestimmen. Der Phenolphthaleintest wird in Abschnitt 3.1.4 näher beschrieben.

### 3.1.1 Testleitung Asbestzement DN 600

Als Teststrecke für das Innenradar konnte eine außer Betrieb befindliche Asbestzement-Druckleitung DN 600 der Emschergenossenschaft genutzt werden. In Essen Ellermühle wurde eine 140 m lange DN 600 Asbestzement-Druckleitung vor rund 30 Jahren gebaut und wird seitdem als Transportleitung für die Entwässerung vom Pumpwerk Ellermühle in die Berne genutzt. Im Zuge von Neuverlegungen einer DN 800 Stahl- und DN 150 PE-Abwasserdruckleitung konnte die Asbestzementleitung für die Inspektion außer Betrieb genommen werden, so dass eine ausführliche Untersuchung stattfinden konnte.

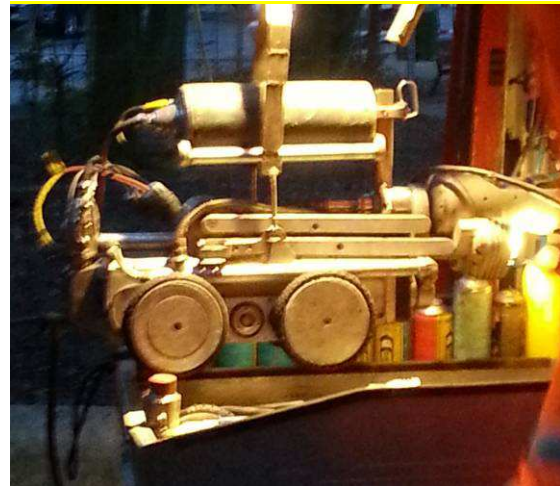
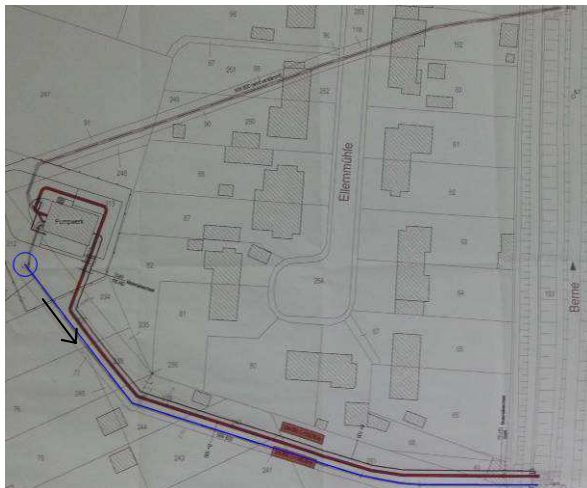


Bild 5 Lageplan der Druckleitungs-Neuverlegung (links), die Inspektionstechnik Kanalradar (rechts)

Im Vorfeld der Inspektionsmaßnahmen wurde die Leitung zunächst an der Revisionsöffnung zugänglich gemacht (s. Bild 6 rechts), mit Hilfe eines Saugfahrzeugs entleert und mit 25 bar Wasserdruck gereinigt. Für die Radarfahrt wurden eine Radarantenne (s. Bild 5 rechts) und eine Fahrwagenkamera kombiniert und über das offene Ende der Druckleitung eingefahren (s. Bild 6 links), so dass die optische Inspektion und die Radarmessung gleichzeitig stattfanden. Ziel der Inspektion war es zum einen, den Anteil der noch intakten Rohrwand bezogen auf die Ausgangswandstärke zu ermitteln, zum anderen durch die gleichzeitige optische Inspektion die Übergänge der Rohrelemente auf ihre Spaltbreite und Dichtheit zu inspizieren.

Der Frequenzbereich der Antenne wird abhängig vom Untersuchungsziel gewählt. Für diesen Anwendungsfall wurde für die Messung der Restwandstärke eine 1,9 GHz-Antenne eingesetzt.

Bei der Testleitung wurden während der Inspektion keine Auffälligkeiten auf dem Radar gesichtet, die laut Inspekteur im Zusammenhang mit einer Schadstelle/Leckage und leichten Lagerungsdefekten stehen können. Rein optisch wies die Leitung einen intakten Zustand auf. Lediglich die zwei aus Stahlrohren verlegten Bögen waren teilweise korrodiert. Diese waren mit Steckverbindungen mit der bestehenden Asbestzement-Druckleitung verbunden.

Der Zeitaufwand für die Radarmessung der Rohrwand über rund 140 m Leitungslänge mit Baustelleneinrichtung betrug rund vier Stunden. Zusätzlich entstand ein Aufwand für das Öffnen und Entleeren der Leitung.

#### *Bewertung:*

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



Bild 6 Einführung des Kanalradars in die zu prüfende Strecke (links), Öffnung der Haltung (rechts)

### 3.1.2 Vergleichsmessungen an einem Asbestzement – Probestück DN 300

Durch den Einsatz des Kanalradars bei Innen-Prüfungen von Asbestzementdruckleitungen kann eine Aussage über die Messgenauigkeit nur anhand vorhandener Ergebnisauswertungen stattfinden. Um dann gezielt detektierte schwache Wanddicken zu untersuchen, sind Bohrkernproben notwendig, welche im Nachgang mit einem pH-Indikator überprüft werden können (vgl. Abschnitt 3.1.4)

Da eine Entnahme von Bohrkernproben in der Regel nur durch Tiefbauarbeiten zu realisieren ist, jedoch kein Netzbetreiber für eine Überprüfung einer Strecke zur Verfügung gestellt hat, konnte eine Untersuchung der Genauigkeit nur anhand einer vorhandenen Rohrprobe aus Asbestzement vorgenommen werden. Dazu wurde durch die Emschergenossenschaft eine 0,5 m lange DN 300 Rohrprobe zur Verfügung gestellt.

Aufgrund der kurzen Probe war eine Innenüberprüfung durch das Kanalradar nicht möglich, so dass in diesem Fall mit einer 2,6 GHz Antenne (Prüf Schlitten) die Rohrprobe von außen im Abstand von 5,0 cm abgefahren wurde (s. Bild 7 rechts). Für ein gleichmäßiges Eintreten der Wellen in das Material musste der Prüf Schlitten gleichmäßig entlang der Probe über die markierten Linien geführt werden (s. Bild 7 links).

Die optisch leicht angegriffene AZ-Rohrprobe weist eine nominelle intakte Restwanddicke von 38 mm auf, die mit einem klassischen Messschieber ermittelt wurde.

Die Auswertung der Kanalradar-Messergebnisse wurde durch das Büro für angewandte Geophysik und Probenahmetechnik aus Sandstedt durchgeführt und dem IKT zur Verfügung gestellt [13].

Die Untersuchung der AZ-Probe fand durch das IWW - Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung statt. Dieses bearbeitet zurzeit ein Forschungsvorhaben bzgl. der Aussagekraft von Phenolphthalein bei Asbest und schließt dieses bis Ende 2014 ab. Außerdem sind nach TRGS 519 [14] hohe Arbeitssicherheitsstandards im Umgang mit Asbest zu beachten.

Zur Untersuchung der Messgenauigkeit wurden an der Rohrprobe im Bereich der festgestellten schwachen Wanddicken Bohrkerne entnommen und mit Phenolphthalein bestrichen. Die Bewertung der Messergebnisse findet im Abschnitt 3.1.5 statt.



Bild 7 Bemaßte AZ-Probe (links) und Kanalradar-Prüfslitten im Einsatz (rechts)

### 3.1.3 Testleitung Stahl DN 600

Ausgehend von den Ergebnissen der Kanalradar-Inspektion einer Druckrohrleitung im direkten Nahbereich des Pumpwerks Essen – Karnap / In der Vogelwische wurde seitens der Emschergenossenschaft eine Sanierung mittels Schlauchlining-Verfahren veranlasst. Zur Wiederherstellung und Verbesserung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit der Rohrleitung wurde hierbei der Liner mit der Rohrwand verklebt.

Betroffen ist eine Druckrohr-Leitung aus Stahl DN 600. Das Abwasser wird durch die Druckleitung über einen Deich direkt in die Emscher gepumpt (s. Bild 8).

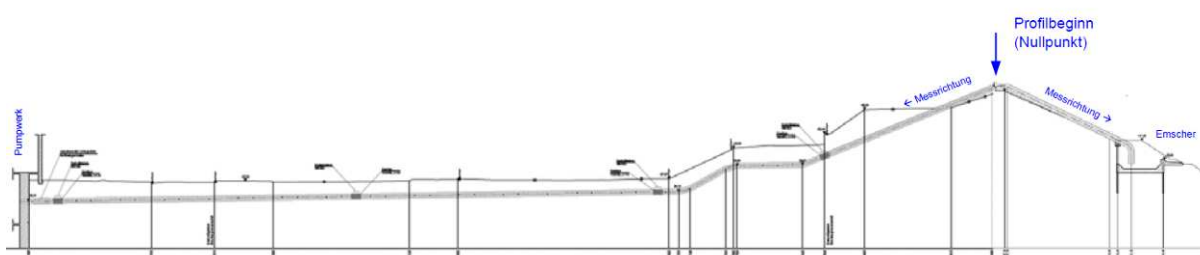


Bild 8 Einsatz des Kanalradars in Richtung Pumpwerk und Emscher [12]

Zur Beurteilung der Verbundqualität Liner / Stahl innerhalb der Leitung erfolgte der Einsatz des Kanalradars mit einer Frequenz im Bereich 1,7 GHz, um eine kontinuierliche Prüfung der Verbundqualität durchzuführen. Ziel der Untersuchung war die Detektion eventuell vorhandener Defekte innerhalb des Schichtverbunds zwischen Liner und Stahlrohrwand.

Die Messungen wurden innerhalb des Leitungsabschnittes „In der Vogelwiesche“ ausschließlich aus dem Kanal heraus durchgeführt.

Die Gesamtlänge der innerhalb der Leitungsabschnitte durchgeführten Messprofile betrug 823,2 m bei einer erfassten Gesamthaltungslänge von 1176 m Kanalisation. [12]

**Bewertung:**

Im Rahmen elektromagnetischer Vermessungen werden laut Hersteller grundsätzlich physikalische Phänomene erfasst, die in der Regel einer Verifizierung bedürfen.

Sämtliche mittels Kanalradarverfahren erfassten Verbundanomalien wurden durch eine Farbskala (s. Bild 9) definiert, um den Verlauf erkennbarer Verbundzustände für die Schadensbewertung zu kennzeichnen. Erfasste Bereiche der Sanierungszone sind somit nachvollziehbar und zusammenfassend darstellbar.

Zur Veranschaulichung der Messergebnisse wurde der Kanal in der Sohle zeichnerisch in der 6 Uhr Stellung geschnitten, entfaltet und ein 360°-Gesamtbild des erfassten Verbundgrades triangulär interpoliert und spektralanalytisch zugeordnet (s. Bild 10).

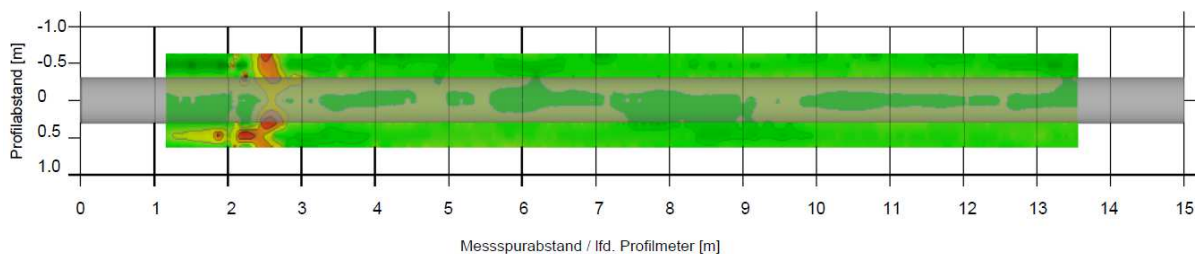
Gemäß dem Erscheinungsbild herrscht ein nahezu ungestörter, homogener Schichtverbund innerhalb des erfassten Leitungsabschnitts.

Akute Befunde im Schichtverbund stehen laut Hersteller überwiegend in Verbindung mit bautechnisch bedingten vertikalen Knickpunkten und Kontrollstutzen innerhalb des Leitungsverlaufs. Vereinzelt sind über den gesamten Haltungsbereich kleinere, lokal begrenzte potentielle Befunde (Spots) erkennbar. [12]

Zurzeit lässt sich keine klare Aussage darüber treffen, ob beispielsweise bei einem potentiellen Befund eine gestörte Verklebung oder ein Hohlraum vorliegen und durch was eine gestörte Verklebung hervorgerufen wird.



**Bild 9** Spektralanalytische Zuordnung erfasster Verbundgrade [12]



**Bild 10** Draufsicht erfasster Verbunddefekte (Kanalabschnitt auf 6 Uhr → Entfaltung) mit projizierter Leitung DN 600 des 1. Vermessungsabschnittes: vertikaler Knickpunkt wird hier rot dargestellt [12]

### 3.1.4 Phenolphthalein-Test

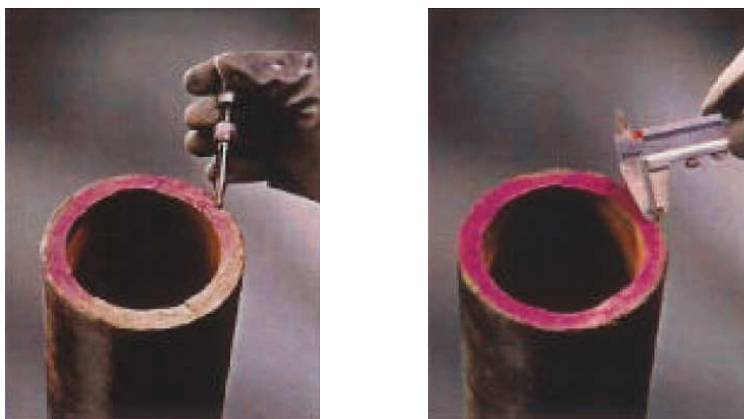
Der Feststoff Phenolphthalein ist einer der wichtigsten Indikatoren in der Chemie und Physik. Diese Indikatoren dienen dazu, gewisse Informationen, je nach ihrem Verwendungszweck bestimmt, anzuzeigen. In der Chemie gelten sie als Überwacher einer chemischen Reaktion, was durch eine Farbveränderung sichtbar ist. Phenolphthalein gehört zu den Indikatoren, mit denen man den pH-Wert bestimmter Stoffe, in dem Fall Basen, feststellt. [15] Basen sind im engeren Sinne alle Verbindungen, die in wässriger Lösung in der Lage sind den pH-Wert einer Lösung zu erhöhen.

Der Grad der Auslaugung eines AZ-Rohres kann durch einen Phenolphthalein-Test bestimmt werden. Um das Ausmaß des Auslaugens zu bestimmen, ist ein Teil der Leitung zu entfernen, so dass eine frische Bruchfläche erzeugt wird. Proben für Phenolphthalein-Tests können sein:

- AZ-Proben aus Anbohrungen,
- Rohrteile, die während der regulären Wartung entfernt werden,
- Rohrteile an Schadstellen.

Von dem zu untersuchenden Probekörper ist eine frische Bruchfläche möglichst senkrecht zu der Probekörperfläche herzustellen. Die frische Bruchfläche ist von lose anhaftenden Bestandteilen zu reinigen. Hierdurch werden Messfehler vermieden, die entstehen können, wenn lose anhaftende Bestandteile erst nach dem Ansprühen abfallen und damit die Färbung in diesen Bereichen verloren geht [16].

Die Phenolphthalein-Lösung wird mit einer Tropfflasche über den gesamten Querschnitt der Rohrwand aufgebracht. Bereiche, in denen der pH-Wert größer als 8,3 ist, nehmen die Farbe Lila an. Bereiche, in denen der pH-Wert kleiner ist als 8,3, bleiben farblos oder grau (s. Bild 11). Ein pH-Wert von weniger als 8,3 zeigt ausgelaugten Asbestzement an [17]. Hier wäre der für Statik des Rohres benötigte Zementanteil in der Asbest / Zement Matrix ausgewaschen.



*Bild 11 Bestimmung des Grades der Auslaugung von Asbestzement mit dem Phenolphthalein-Test [17]*

Anschließend können mit einer Schieblehre die Dicke der ausgelaugten Abschnitte und die Gesamtdicke der Rohrwand bestimmt werden (s. Bild 11).

Der Phenolphthalein-Test eignet sich für den vorliegenden Anwendungsfall, da dieser mit einfachsten Hilfsmitteln durchgeführt werden kann. Im Bereich der Wasserversorgung sind Mitarbeiter mit der Prüfung und den Arbeitsschutzbestimmungen vertraut. Der pH-Test wird überwiegend direkt auf der Baustelle durchgeführt, da zum einen frische Schnittkanten benötigt werden und zum anderen die Arbeitssicherheitsanforderungen leichter als unter Laborbedingungen einzuhalten sind [16].

Wird der Phenolphthalein-Test zur Überprüfung des Ausmaßes der Auslaugung von Asbestzement eingesetzt, müssen folgende Kriterien beachtet werden:

- die Haltung muss für eine Probenentnahme außer Betrieb genommen werden,
- das Rohr wird durch eine Probeentnahme punktuell beschädigt,
- für eine Wiederinbetriebnahme der Haltung muss an der Probenentnahmestelle eine Reparatur durchgeführt werden,
- der Phenolphthalein-Test muss unmittelbar an der frischen Bruchfläche durchgeführt werden.

Phenolphthalein ist bereits aus Schulzeiten bekannt. 2009 erhielt die Chemikalie eine Legal-einstufung nach Anhang VI der CLP (Classification, Labelling and Packaging) Verordnung [18]. Der Stoff wird demnach als krebserzeugend sowie möglicherweise mutagen und reproduktionstoxisch ausgewiesen. Beim Umgang mit Phenolphthalein sind Haut- und Augenkontakt sowie das Einatmen der entstehenden Dämpfe zu vermeiden. Dazu muss eine passende Schutzausrüstung getragen und für ausreichend Belüftung gesorgt werden [19].

### 3.1.5 Bewertung der Messergebnisse

Für eine Bestimmung der Genauigkeit wurde das Prüfergebnis des Kanalradars mit Untersuchungen an einer Bohrkernprobe durch das IWW verglichen.

Für die Messungen durch den Einsatz des Kanalradars wurde eine intakte Wanddicke von 38 mm als Referenz angenommen. Diese spiegelte sich in der Auswertung durch das Büro für angewandte Geophysik und Probenahmetechnik. Es ergab sich eine schwankende Restwanddicke von 32 mm bis 37 mm (s. Bild 12).

Anhand der grafischen Auswertung wurden nun zwei Stellen, welche schwache Wanddicken aufgewiesen haben, für Bohrkernproben ausgewählt. Diese wurden im Anschluss mit Phenolphthalein an der frischen Schnittkante bedeckt (s. Bild 13). Es war zu erkennen, welche Bereiche der Bohrproben schwachen und welche starken Asbestzement aufweisen. Die ausgelaugten Bereiche der Asbestzement Matrix nahmen die Farbe helllila an. Lila gekennzeichnete Flächen weisen einen guten Zustand auf, so dass in diesem Fall von einer Restwandstärke zwischen 35 mm und 37 mm ausgegangen werden konnte. Die Messung mittels Kanalradar ließ demgegenüber auf eine intakte Restwanddicke von 33,5 mm schließen.

Die Ergebnisse der Phenolphthalein-Tests und die Ergebnisse aus den Kanalradar-Messungen lassen auf ähnliche Größenordnungen der Restwanddicke schließen. Grundsätzlich ist der Abschluss des Forschungsvorhabens des IWW abzuwarten (voraussichtlich

Ende 2014), um eine fundierte Aussage über den Einsatz von Phenolphthalein bei Asbestzement zu erzielen und damit auch die Kanalradar-Messungen zu bewerten.

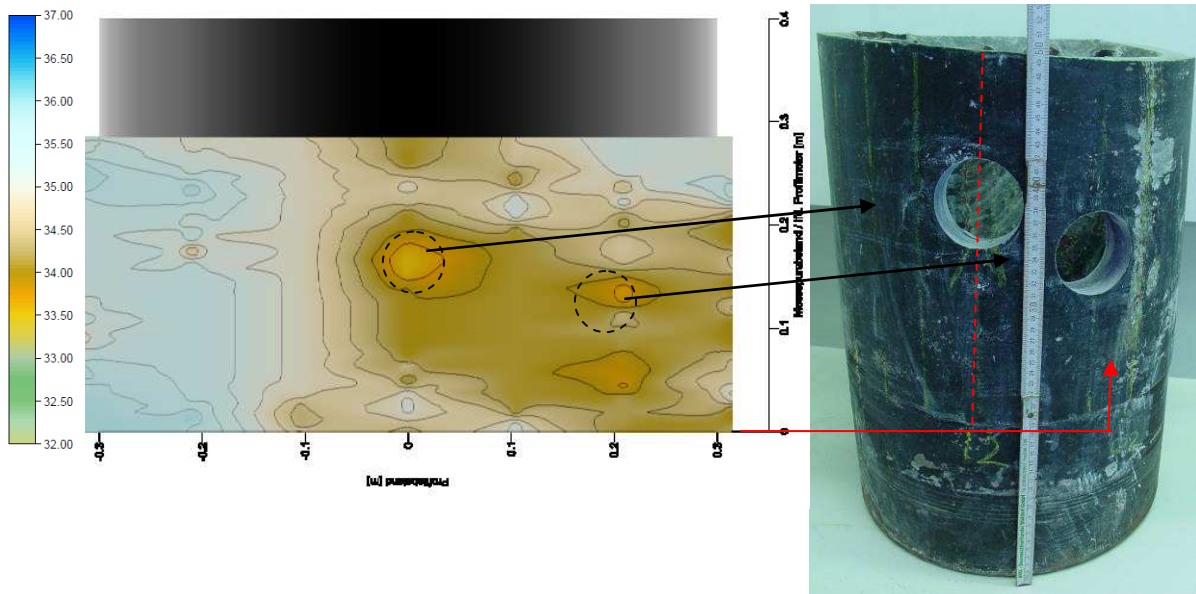


Bild 12 Draufsicht erfasster gesunder AZ-Mächtigkeit (Kanalschnitt auf 6 Uhr -> Entfaltung) mit projizierten DRL DN 300 – Kanalsegment 2,6 GHz – Messung (links) [13]; Position der entnommenen Bohrkernprobe zur Überprüfung der Genauigkeit (rechts)

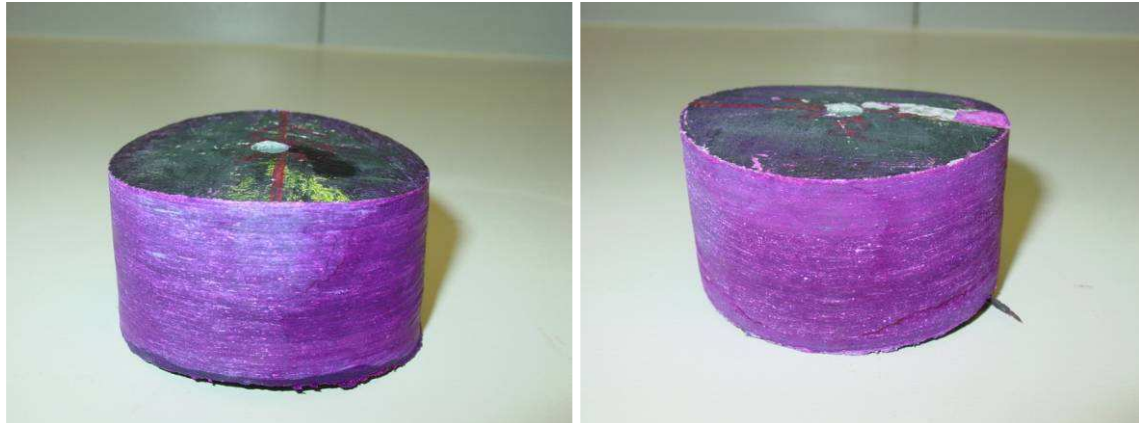


Bild 13 mit Phenolphthalein geprüfte Bohrkern

### 3.2 Slofec

Das SLOFEC™ Scannergerät wurde nach Angaben des Herstellers zur Prüfung industrieller Anlagen, z.B. Leitungen, Tanks und Kessel, entwickelt und arbeitet in Kombination aus einem Magnetfeld mit einer Wirbelstromprüftechnik [5]. Es wird eingesetzt, um Materialverluste, vor allem durch Korrosion, an der Materialober- und -unterseite bzw. an der äußeren und inneren Rohroberfläche zu bestimmen. Geprüft werden können ferromagnetische Rohre (Guss, Stahl) ab einem Nenndurchmesser von DN 250. Mit dem Gerät werden sprunghafte Änderungen der Wanddicke ab 20% Wandschwächung detektiert, Flächenkorrosion oder langsam einlaufende Korrosion können entsprechend nicht erfasst werden. Als Ergebnis wird

bezogen auf die Ausgangsdicke der prozentuale Anteil der noch vorhandenen Wanddicke ausgegeben. Im Regelfall wird das SLOFEC™-Gerät an einer Referenzprobe kalibriert (z.B. Rohrhalbschale mit definierten Fehlstellen gleichen Rohrwerkstoffs). In der Praxis werden teilweise zusätzlich Ultraschallgeräte eingesetzt, um absolute Wandstärken zur Kalibrierung des SLOFEC™ und an auffälligen Stellen zu messen. Bild 14 zeigt den schematischen Aufbau des Prüfsystems.

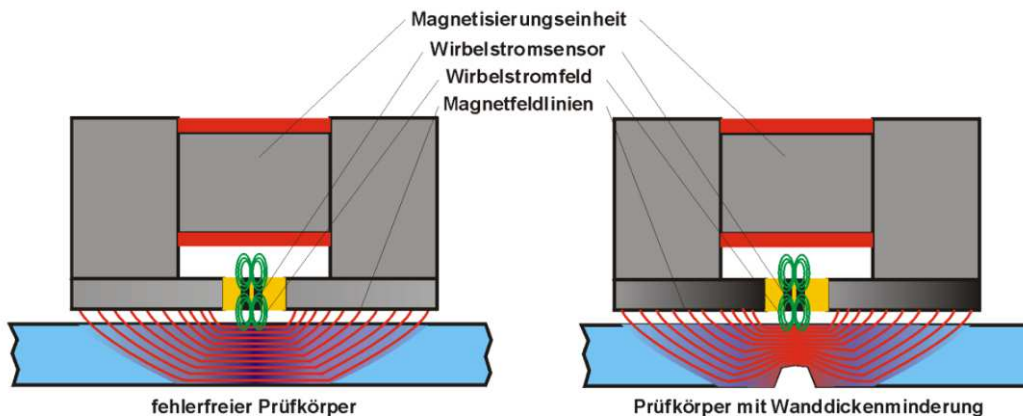


Bild 14 Arbeitsprinzip des SLOFEC – Verfahrens [20]

Das SLOFEC-Prüfverfahren wird zur Inspektion von außen und innen eingesetzt. Bei nicht molchbaren Leitungen kann zur Messung ein Prüfschlitten in Bahnen längs zur Rohrachse händisch über die Leitung gerollt werden. Dazu muss ein 5 m langes Teilstück freigelegt werden. Bei molchbaren Leitungen findet eine Prüfung von innen durch den Einsatz von SLOFEC in Kombination mit dem Kanalroboter statt. Dieser bewegt sich aufgrund eines eigenen Antriebes selbst durch den Kanal. Die Abwasserdruckleitung ist dazu außer Betrieb zu nehmen, wohingegen eine Prüfung mit dem Schlitten während des laufenden Betriebes durchgeführt werden kann.

Um nun die Messgenauigkeit der Technik zu überprüfen, wurden Prüfungen an Probekörpern im IKT durchgeführt. Eine In-situ-Untersuchung konnte aufgrund erschwerter Randbedingung nicht durchgeführt werden, da dazu eine Zerstörung der geprüften Haltung notwendig gewesen wäre, um eine Rohrprobe zu entnehmen.

### 3.2.1 Versuchsaufbau

Geprüft wurden zwei Probekörper, die jeweils eine Länge bis zu 3 m aufwiesen.

Um eine Überprüfung der Messgenauigkeit des SLOFEC-Prüfverfahren durchzuführen, wurden zwei Probekörper unterschiedlicher Materialien auf sprunghafte Fehler in den Wandungen untersucht. Dazu wurden jeweils ein Stahl- und ein Guss-Probekörper mit Löchern verschiedenen Durchmessers und Tiefe sowie mit Rissen und einer simulierten Flächenkorrosion präpariert. Die Stahlprobe wurde durch die ausführende Firma KontrollTechnik bearbeitet, die Gussprobe durch das IKT.

Tabelle 3 Eigenschaften der Probekörper aus Stahl und duktilem Guss

<b>Bezeichnung</b>	:	Stahlrohr DN 300
		Gussrohr DN 300
<b>Durchmesser</b>	:	DN 300
<b>Probenlänge</b>	Stahl :	1 m
	Guss :	3 m
<b>Nennwanddicke</b>	Stahl :	10 mm
	Guss :	5,6 mm
<b>Werkstoff</b>	Stahl :	1.0570
	Guss :	GJS /Gusseisen mit Kugelgraphit
<b>Beschichtung</b>	Stahl :	ohne
	Guss :	ca. 4 mm Zementmörtelauskleidung

Die Probekörper wurden auf Paletten platziert, um die SLOFEC-Prüfeinheit in die Teilabschnitte einzuziehen. Durch die im Vorfeld gekennzeichneten Rohrpositionen (Scheitel und Sohle) soll eine genaue Zuordnung zwischen den hinzugefügten und gemessenen Leckagen möglich sein. Dies hat zur Folge, dass zusätzlich zur Tiefen- und Breitenbestimmung der Leckagen auch eine genaue Lagebestimmung gegeben wird.



Bild 15 Präpariertes Stahlrohr der Firma KontrollTechnik GmbH mit Fehlernummern

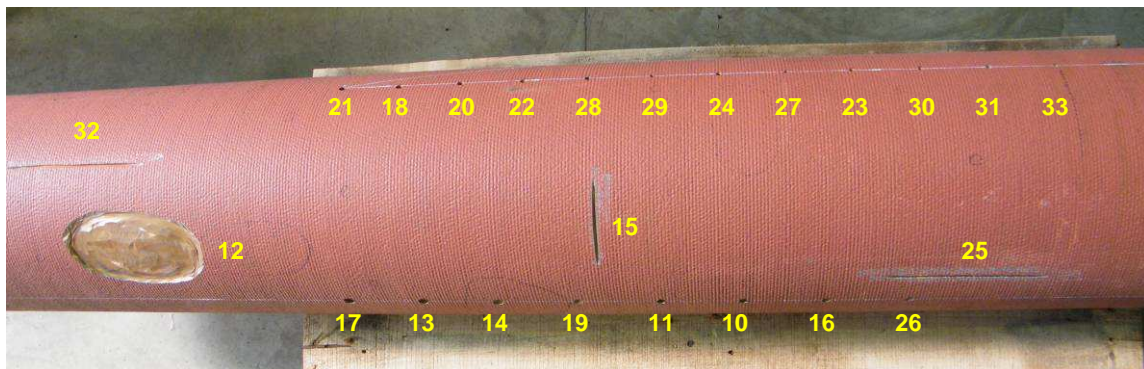


Bild 16 Präpariertes Gussrohr mit markierten Fehlernummern, bereitgestellt durch das IKT

Das präparierte Stahlrohr (s. Bild 15) weist an der Fehlernummer 1 eine Durchbohrung  $\varnothing$  5 mm über die gesamte Wanddicke von 10 mm auf. Die Fehlernummern 2 bis 9 weisen Bohrungen unterschiedlichen Durchmessers (10-15 mm) und Tiefe (1,98-7,96 mm) auf.

Dem präparierten Gussrohr (s. Bild 16) wurden an den Fehlernummern 25 und 32 Längsrissse sowie an der Fehlernummer 15 ein Querriss hinzugefügt. Einen flächigen Abtrag zur Darstellung einer Flächenkorrosion stellt die Fehlernummer 12 dar. Die übrigen Fehlernummern weisen analog zum Stahlrohr Bohrungen unterschiedlicher Breiten und Tiefen auf.

In der Tabelle 4 sind die Fehlertypen der präparierten Rohrproben dargestellt.

Tabelle 4 Fehlerliste der präparierten Fehlertypen (AS - Anbohrung Außenseite, DB - Durchbohrung, Durchmesser in mm)

Fehler Nr.	Probe	Fehlertyp	Fehler Nr.	Probe	Fehlertyp
1	Stahl	DB 5,0 mm	10	Guss	AS 10,0 mm
2	Stahl	AS 10,0 mm	11	Guss	AS 10,0 mm
3	Stahl	AS 15,0 mm	12	Guss	Flächenkorrosion
4	Stahl	AS 10,0 mm	13	Guss	AS 13,0 mm
5	Stahl	AS 15,0 mm	14	Guss	AS 13,0 mm
6	Stahl	AS 15,0 mm	15	Guss	Querriss
7	Stahl	AS 10,0 mm	16	Guss	AS 10,0 mm
8	Stahl	AS 15,0 mm	17	Guss	AS 13,0 mm
9	Stahl	AS 10,0 mm	18	Guss	AS 8,0 mm
			19	Guss	AS 13,0 mm
			20	Guss	AS 8,0 mm
			21	Guss	AS 8,0 mm
			22	Guss	AS 8,0 mm
			23	Guss	AS 6,5 mm
			24	Guss	AS 6,5 mm
			25	Guss	Längsriss
			26	Guss	AS 10,0 mm
			27	Guss	AS 5,0 mm
			28	Guss	AS 6,5 mm
			29	Guss	AS 5,0 mm
			30	Guss	AS 5,0 mm
			31	Guss	AS 6,5 mm
			32	Guss	Längsriss
			33	Guss	AS 5,0 mm

### 3.2.2 Prüfprogramm

Die Probekörper wurden in der IKT-Versuchshalle mit dem SLOFEC-Prüfsystem befahren und die Messergebnisse durch das IKT durch folgende Methoden auf ihre Genauigkeit überprüft:

- Sprunghafte Wanddickenänderungen wurden mit einer Schieblehre auf ihre Tiefe und Breite vermessen.

- die Lagen der Leckagen wurden von einem festgelegten Fixpunkt aus vermessen.
- von den langsam einlaufenden Wanddickenänderungen wurden Gipsabdrücke genommen. Diese werden abgetastet und ausgewertet.

Bei dem Einsatz der Prüftechniken von innen fallen laut dem Hersteller an den Rändern Totzonen (ca. 300 mm) an. Dies liegt an der Einzugslänge der Prüftechnik und wurde bei der Rohrpräparation mit berücksichtigt.

Die Prüfungen wurden in zwei Prüfbereiche gestaffelt:

- A. Prüfungen an dem Guss-Probekörper DN 300 von innen
- B. Prüfungen an dem Stahl-Probekörper DN 300 von innen

Für diese beiden Prüfbereiche wurde anschließend bewertet, inwieweit die folgenden Prüfziele erreicht werden konnten:

- Detektion von innen ersichtlicher sprunghafter Wanddickenänderungen
- Detektion von innen ersichtlicher langsam einlaufender Korrosion (dargestellt durch langsam einlaufende Wanddickenänderung)
- Detektion der Leckagegröße
- Detektion der exakten Lage der Leckage
- Detektion von Längsrissen
- Detektion von Querrissen.

Die Proberohre wurden mehrfach durchfahren, um einen Rückschluss auf die Wiederholbarkeit zu ziehen und das SLOFEC-Prüfgerät ggf. auf das zu prüfende Material zu kalibrieren.

Das Gesamtschadensbild und die Einzelprotokolle mit Scanbildern für jeden geschädigten Abschnitt der Rohrleitung, getrennt für Innen- und Außenseitenkorrosion in Farbdarstellung, wurden durch die Firma KontrollTechnik zur Verfügung gestellt, damit im Anschluss eine Aussage über die Messgenauigkeit dieser Technik getroffen wird.

### 3.2.3 Prüfergebnisse

Zur Überprüfung der Messgenauigkeit des SloFec-Verfahren kam die Prüfeinrichtung ohne Vortriebseinrichtung (Kanalroboter) zum Einsatz (s. Bild 17 links). Als zu prüfende Haltungen standen Rohrproben von 2 m (Stahl) bzw. 3 m (Guss) Länge zur Verfügung. Durch diese Rohre wurde das System mit gleichbleibender Geschwindigkeit gezogen, bis die Sensoren das Probenende erreichten.

Auf dem Bild 17 rechts ist die Messtechnik zur Steuerung und Auswertung der SloFec-Prüfung dargestellt. Die Magnetisierung fand über einen Elektromagneten über die SloFec-Einheit statt, was bedeutet, dass die erforderliche Magnetisierung der Rohrproben nur für die Prüfung aktiv ist. Nach Beendigung der Prüfung wurde der Elektromagnet deaktiviert und die Rohrproben nahmen Ihren Urzustand wieder an. Während einer Prüfung war es auch über ein installiertes Kamerasystem möglich, diese optisch zu beobachten. Die Rohrproben aus

Stahl und Guss wurden nacheinander geprüft. Zur Kalibrierung wurde auf je eine Referenzprüfung mit gleicher Materialeigenschaft zurückgegriffen.



Bild 17 SloFec-Prüfsystem ohne Antrieb (links), Messtechnik zur Auswertung einer Prüfung (rechts)

Laut der Firma KontrollTechnik GmbH ergab sich folgende Auswertung [21]:

### Prüfumfang

Es wurden Rohrabschnitte aus Stahl (1.0570) und duktilem Guss (GJS) gescannt. Der Rohrabschnitt aus Guss ist innen mit einer ca. 4 mm starken Zementmörtelauskleidung beschichtet. Bei der Untersuchung sollte das Detektionsvermögen des Wirbelstrommolchs mit Blick auf die in den Prüfkörpern angeordneten Leckagen ermittelt werden.

### Prüfergebnis

Beim Stahlrohr konnten alle Testfehler vom Prüfmolch detektiert und auch entsprechend ihrer Tiefe und Größenausdehnung sicher bewertet werden.

Beim Gussrohr wurden fast alle Testfehler detektiert und auch in ihrer Tiefen- und Größenausdehnung sicher erfasst. Einzig die achsparallelen Testfehler konnten aufgrund der Sondenordnung und Prüfrichtung nicht detektiert werden. Fehler im Durchmesser kleiner 5 mm und einer Tiefe kleiner 30% können aufgrund ihres sehr geringen Fehlervolumens mit einer normalen Geräteeinstellung nicht sicher detektiert werden. Um solch kleine Fehler sicher zu erfassen, ist die Geräteeinstellung auf kleine Fehler anzupassen. Im Umkehrschluss werden jedoch dann die übrigen größeren Fehler mit einer geringeren Genauigkeit erfasst.

Die nachfolgenden Scanreporte (s. Bild 18) stellen die Fehlertiefen anhand einer festgelegten Farbpalette über die Projektion der Rohrmantelfläche (Schnitt bei 12.00 Uhr) dar. Aufgrund des vorgezogenen Lagesensors am Kopf der Inspektionseinheit wurde nur der graue Bereich überprüft.

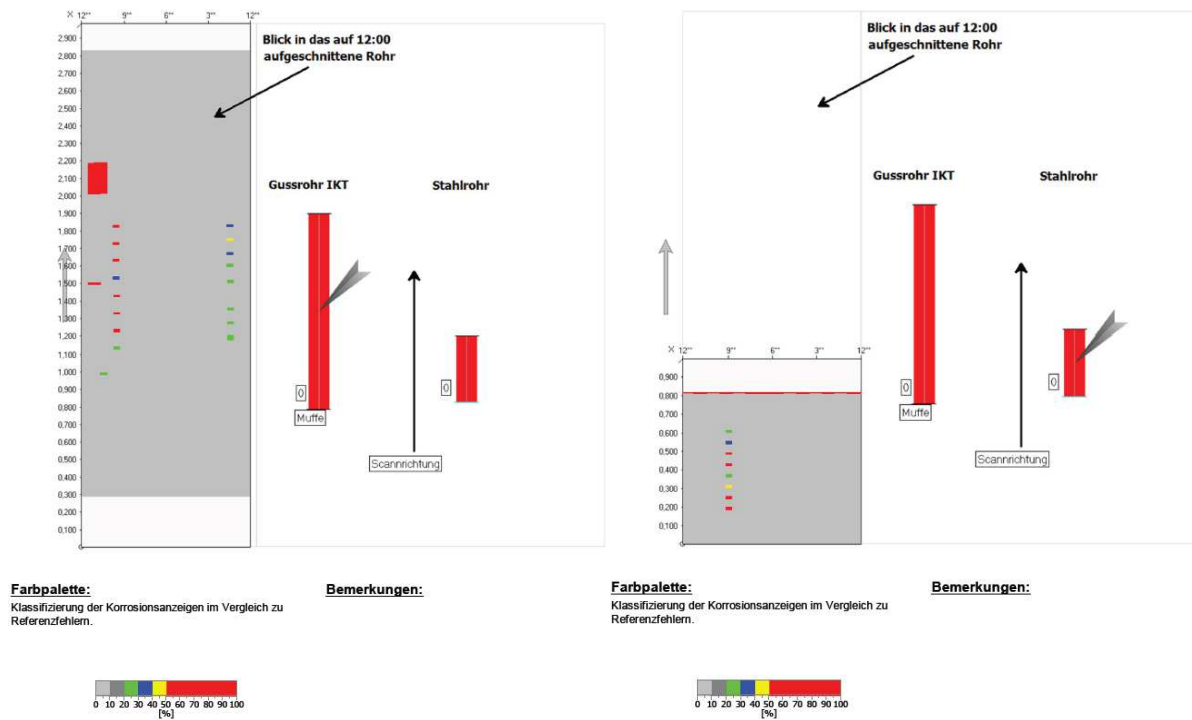


Bild 18 Scan Report zur Gussprobe mit Zementmörtelauskleidung (links) und Stahlprobe (rechts) [21]

Darüber hinaus wurde der Lagewinkel der hinzugefügten Leckagen, relativ zur 12:00 Uhr Stellung der SloFec-Prüfeinheit, gemessen. Die Größe der Leckage wurde durch die Wirbelstromsensoren bestimmt. Eingesetzt wurden Sensoren mit einer Breite von 35 mm. Ebenso wurde die prozentuale Fehlertiefe zur Wanddicke des jeweiligen Materials in Abhängigkeit der gemessenen Amplituden der Wirbelstrommessung gemessen (s. Tabelle 5).

Tabelle 5 Anzeigeliste der gefundenen Fehler [21]

	Rohr- abschnitt	Pos	Größe [mm]	Tiefe	Ebene	Typ	Methode	Bemerkung
1	Stahl	X: 0,816 m Y: 06:00	X: 10 mm Y: 962 mm	100%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	28 Bohrungen
2	Stahl	X: 0,429 m Y: 09:00	X: 11 mm Y: 34 mm	81%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
3	Stahl	X: 0,193 m Y: 09:00	X: 16 mm Y: 34 mm	80%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
4	Stahl	X: 0,489 m Y: 09:00	X: 9 mm Y: 34 mm	60%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
5	Stahl	X: 0,252 m Y: 09:00	X: 15 mm Y: 34 mm	60%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
6	Stahl	X: 0,311 m Y: 09:00	X: 16 mm Y: 34 mm	40%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
7	Stahl	X: 0,548 m Y: 09:00	X: 11 mm Y: 34 mm	39%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
8	Stahl	X: 0,370 m Y: 09:00	X: 14 mm Y: 34 mm	22%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
9	Stahl	X: 0,608 m Y: 09:00	X: 12 mm Y: 34 mm	21%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
10	Guss	X: 1,328 m Y: 09:30	X: 9 mm Y: 34 mm	90%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
11	Guss	X: 1,427 m Y: 09:30	X: 10 mm Y: 34 mm	85%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
12	Guss	X: 2,097 m Y: 11:00	X: 181 mm Y: 103 mm	77%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Flächiger Abtrag
13	Guss	X: 1,725 m Y: 09:30	X: 13 mm Y: 34 mm	75%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
14	Guss	X: 1,630 m Y: 09:30	X: 10 mm Y: 34 mm	68%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
15	Guss	X: 1,498 m Y: 11:00	X: 9 mm Y: 69 mm	60%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Querriss
16	Guss	X: 1,231 m Y: 09:30	X: 14 mm Y: 34 mm	58%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
17	Guss	X: 1,824 m Y: 09:30	X: 14 mm Y: 34 mm	56%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
18	Guss	X: 1,749 m Y: 01:30	X: 12 mm Y: 34 mm	42%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
19	Guss	X: 1,530 m Y: 09:30	X: 15 mm Y: 34 mm	39%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
20	Guss	X: 1,669 m Y: 01:30	X: 10 mm Y: 34 mm	35%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
21	Guss	X: 1,827 m Y: 01:30	X: 10 mm Y: 34 mm	32%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
22	Guss	X: 1,603 m Y: 01:30	X: 15 mm Y: 34 mm	28%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
23	Guss	X: 1,190 m Y: 01:30	X: 28 mm Y: 34 mm	27%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
24	Guss	X: 1,353 m Y: 01:30	X: 9 mm Y: 34 mm	25%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
25	Guss	X: 0,990 m Y: 10:30	X: 12 mm Y: 34 mm	24%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Startsignal Längsriss
26	Guss	X: 1,135 m Y: 09:30	X: 17 mm Y: 34 mm	24%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
27	Guss	X: 1,274 m Y: 01:30	X: 12 mm Y: 34 mm	24%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung
28	Guss	X: 1,510 m Y: 01:30	X: 13 mm Y: 34 mm	23%	Rohrauße Rohrauße	Pitting Corrosion Pitting Corrosion	SLOFEC SLOFEC	Bohrung

### 3.2.4 Bewertung der Prüfergebnisse

#### A. Prüfungen an dem Guss-Probekörper DN 300 von innen

Im ersten Schritt wurden für die Gussprobe die Entfernung und Lage der jeweiligen Leckage zur Startposition der SloFec-Prüfeinheit betrachtet. Dazu wurden die gemessenen Fehler durch SloFec der tatsächlichen gemessenen durch das IKT gegenübergestellt und eine Abweichung dieser beiden als prozentualer Anteil ermittelt (s. Tabelle 6).

Bei näherer Betrachtung der Lage (Y Position durch Uhrzeit dargestellt) fällt auf, dass keine Abweichungen vorhanden sind. Die Fehler 29-33 weisen allerdings einen Wert von 100% auf, aufgrund der Tatsache dass diese nicht detektiert werden konnten.

Analog zur Abweichung der Lage weist auch die Abweichung der Entfernung bei den Fehlern 29-33 einen Wert von 100% auf und kommt genau wie zuvor durch nicht erkannten Fehler zustande. Eine Auswertung der Entfernungsabweichung der Fehler-Nr.10-28 ergab eine Ungenauigkeit von minimal 0% bis maximal 0,94% (Fehler-Nr. 22). Die maximale Abweichung betrug damit absolut 5 mm. Augenscheinlich stieg die Fehlerempfindlichkeit mit geringerer Fehlertiefe (s. Tabelle 7).

Die gemessenen Abweichungsergebnisse, in Abhängigkeit zur tatsächlichen Entfernung, werden in Bild 19 dargestellt. Zu sehen sind die zwei nahezu deckungsgleichen laufenden Messreihen. Der unruhige Verlauf kommt durch die nach Fehlernummern sortierte Tabelle zustande.

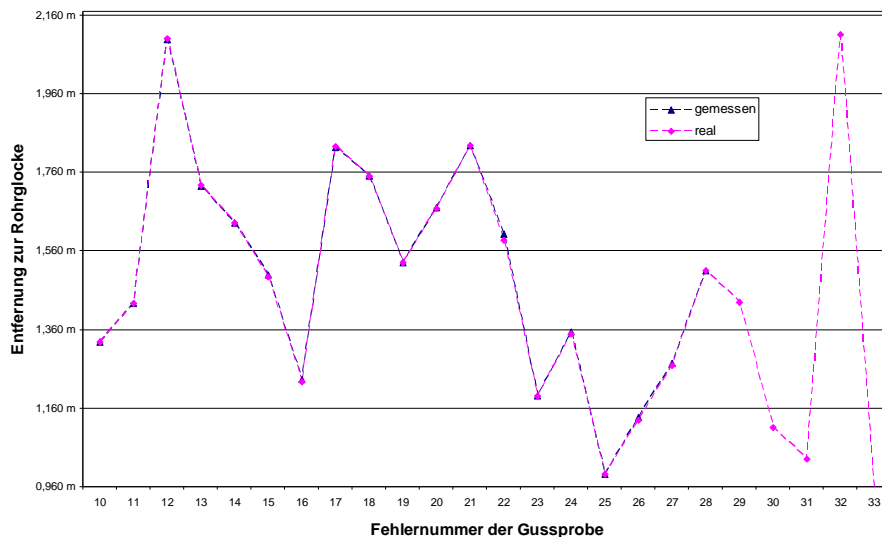


Bild 19 Diagramm: Abweichung der gemessenen zur tatsächlichen Entfernung bei Guss

Tabelle 6 Tatsächlich gemessene und durch das SloFec-Verfahren gemessene Fehlerentfernung, Fehlerlage und jeweilige Abweichung bei Guss

Fehler Nr.	Probe	Entfernung [m]			Lage		
		SloFec gemessen	tatsächlicher Messwert	Abweichung [%]	SloFec gemessen	tatsächlicher Messwert	Abweichung [%]
10	Guss	X: 1,328 m	X: 1,327 m	0,08 %	Y: 09:30	Y: 09:30	0,00 %
11	Guss	X: 1,427 m	X: 1,426 m	0,07 %	Y: 09:30	Y: 09:30	0,00 %
12	Guss	X: 2,097 m	X: 2,099 m	0,10 %	Y: 11:00	Y: 11:00	0,00 %
13	Guss	X: 1,725 m	X: 1,726 m	0,06 %	Y: 09:30	Y: 09:30	0,00 %
14	Guss	X: 1,630 m	X: 1,630 m	0,00 %	Y: 09:30	Y: 09:30	0,00 %
15	Guss	X: 1,498 m	X: 1,495 m	0,20 %	Y: 11:00	Y: 11:00	0,00 %
16	Guss	X: 1,231 m	X: 1,228 m	0,24 %	Y: 09:30	Y: 09:30	0,00 %
17	Guss	X: 1,824 m	X: 1,826 m	0,11 %	Y: 09:30	Y: 09:30	0,00 %
18	Guss	X: 1,749 m	X: 1,749 m	0,00 %	Y: 01:30	Y: 01:30	0,00 %
19	Guss	X: 1,530 m	X: 1,529 m	0,07 %	Y: 09:30	Y: 09:30	0,00 %
20	Guss	X: 1,669 m	X: 1,668 m	0,06 %	Y: 01:30	Y: 01:30	0,00 %
21	Guss	X: 1,827 m	X: 1,827 m	0,00 %	Y: 01:30	Y: 01:30	0,00 %
22	Guss	X: 1,603 m	X: 1,588 m	0,94 %	Y: 01:30	Y: 01:30	0,00 %
23	Guss	X: 1,190 m	X: 1,190 m	0,00 %	Y: 01:30	Y: 01:30	0,00 %
24	Guss	X: 1,353 m	X: 1,349 m	0,30 %	Y: 01:30	Y: 01:30	0,00 %
25	Guss	X: 0,990 m	X: 0,992 m	0,20 %	Y: 10:30	Y: 10:30	0,00 %
26	Guss	X: 1,135 m	X: 1,128 m	0,62 %	Y: 09:30	Y: 09:30	0,00 %
27	Guss	X: 1,274 m	X: 1,269 m	0,39 %	Y: 01:30	Y: 01:30	0,00 %
28	Guss	X: 1,510 m	X: 1,508 m	0,13 %	Y: 01:30	Y: 01:30	0,00 %
29	Guss	X:	X: 1,429 m	100,00 %	Y:	Y: 01:30	100,00 %
30	Guss	X:	X: 1,110 m	100,00 %	Y:	Y: 01:30	100,00 %
31	Guss	X:	X: 1,029 m	100,00 %	Y:	Y: 01:30	100,00 %
32	Guss	X:	X: 2,110 m	100,00 %	Y:	Y: 01:00	100,00 %
33	Guss	X:	X: 0,950 m	100,00 %	Y:	Y: 01:30	100,00 %

Neben der Prüfung auf Lage und Entfernung der zusätzlich angeordneten Leckagen wurde außerdem die wichtigste Messgröße analysiert – die Fehlertiefe. Bedingt durch diese Messgröße soll bei einer Prüfung einer Abwasserhaltung entschieden werden, ob eine Sanierung, Erneuerung oder Renovierung notwendig ist, oder ob der Schaden eine geringe Gefahr für einen Ausfall darstellt.

Dazu wurden die präparierten Fehler in der Gussprobe, wie auch bei der Bestimmung der anderen Messgrößen, mit dem SloFec-Verfahren aufgenommen und mit den tatsächlich gemessenen Werten verglichen und bewertet. Die Bewertung wurde in zwei Bereiche unterteilt. Aufgrund der vorhandenen Zementmörtelauskleidung wurden die tatsächlich gemessenen Werte zum einen auf die vollständige Rohrwanddicke von 9,6 mm (Dicke Gussrohr 5,6 mm + Zementauskleidung 4 mm) und zum anderen auf die reine Gussrohrwanddicke von 5,6 mm bezogen (s. Tabelle 7). Bei näherer Betrachtung der Ergebnisse fällt zunächst auf, dass ein Teil der präparierten Leckagen durch das SloFec-Verfahren nicht erkannt wurden. Auffällig ist dabei, dass es sich hauptsächlich um Leckagen < 6,5 mm Durchmesser und einen Längsris (Fehler-Nr. 32) mit einer flach einlaufenden Fehlertiefe handelt. Generell lassen sich laut

Hersteller Längsrisse und langsam einlaufende Fehler nur sehr schwer erkennen. Das liegt in erster Linie an der axialen Prüfrichtung des SloFec-Verfahrens. Mit diesem Prüfverfahren in axialer Prüfrichtung können lediglich *Quer*risse besser erkannt werden. Im Gegensatz dazu kann eine radiale Anordnung der Prüfrichtung *Längs*risse wesentlich besser detektieren. Die zwei Sensorenreihen sind zwar im Kreis versetzt angeordnet, jedoch besteht die Möglichkeit, dass nur einer der zwei Sensoren bei einer axialen Prüfung einen Längsriss erkennt und dementsprechend darstellt. Erst nach mehreren Durchläufen auf Basis mehrerer Sensoren ergibt sich eine höhere Messgenauigkeit.

Wird nun die Fehlertiefe (Wanddicken 9,6 mm und 5,6 mm) in Abhängigkeit der Fehlernummern dargestellt, so ist eine sehr schwankende Fehlertiefe zu erkennen (s. Bild 20). Laut Hersteller bezieht sich die gemessene Fehlertiefe auf eine Rohrwandstärke von 5,6 mm. Bezogen zu einer Rohrwandstärke von 9,6 mm zeigt sich allerdings eine bessere Korrelation, insbesondere im Bereich der Fehlernummern 17 bis 26. Diese Messreihe weist auch keinen Fehler > 100% auf. Alle Leckagen tiefer der Rohrwanddicke von 5,6 mm müssten somit durch das SloFec-Verfahren mit einer Fehlertiefe von 100% detektiert werden. Bei drei solcher Leckagen (Fehler Nr. 17, 27, 28) führte die SloFec-Messung allerdings zu einem falschen Ergebnis.

Tabelle 7 Tatsächlich gemessene und durch das SloFec-Verfahren erkannte Fehlertiefen bei Guss

Fehler Nr.	Probe	Fehlertyp	Fehlertiefe				
			tatsächlich in mm	gemessen in mm	gemessen in %	bezogen auf Wanddicke 5,6mm	bezogen auf Wanddicke 9,6mm
10	Guss	AS 10,0 mm	3,42	9	90 %	61,1 %	35,6 %
11	Guss	AS 10,0 mm	5,48	10	85 %	97,9 %	57,1 %
12	Guss	Flächenkorrosion	3,60	181	77 %	64,3 %	37,5 %
13	Guss	AS 13,0 mm	2,85	13	75 %	50,9 %	29,7 %
14	Guss	AS 13,0 mm	1,26	10	68 %	22,5 %	13,1 %
15	Guss	Querriss	3,78	9	60 %	67,5 %	39,4 %
16	Guss	AS 10,0 mm	1,51	14	58 %	27,0 %	15,7 %
17	Guss	AS 13,0 mm	7,90	14	56 %	141,1 %	82,3 %
18	Guss	AS 8,0 mm	4,59	12	42 %	82,0 %	47,8 %
19	Guss	AS 13,0 mm	1,36	15	39 %	24,3 %	14,2 %
20	Guss	AS 8,0 mm	2,82	10	35 %	50,4 %	29,4 %
21	Guss	AS 8,0 mm	5,53	10	32 %	98,8 %	57,6 %
22	Guss	AS 8,0 mm	1,39	15	28 %	24,8 %	14,5 %
23	Guss	AS 6,5 mm	2,63	28	27 %	47,0 %	27,4 %
24	Guss	AS 6,5 mm	5,09	9	25 %	90,9 %	53,0 %
25	Guss	Längsriss	3,54	12	24 %	63,2 %	36,9 %
26	Guss	AS 10,0 mm	1,08	17	24 %	19,3 %	11,3 %
27	Guss	AS 5,0 mm	5,94	12	24 %	106,1 %	61,9 %
28	Guss	AS 6,5 mm	6,38	13	23 %	113,9 %	66,5 %
29	Guss	AS 5,0 mm	6,97	<b>Fehler konnten durch das SloFec-Verfahren nicht erfasst werden</b>		124,5 %	72,6 %
30	Guss	AS 5,0 mm	3,38		60,4 %	35,2 %	
31	Guss	AS 6,5 mm	1,82		32,5 %	19,0 %	
32	Guss	Längsriss	3,07		54,8 %	32,0 %	
33	Guss	AS 5,0 mm	1,55		27,7 %	16,1 %	

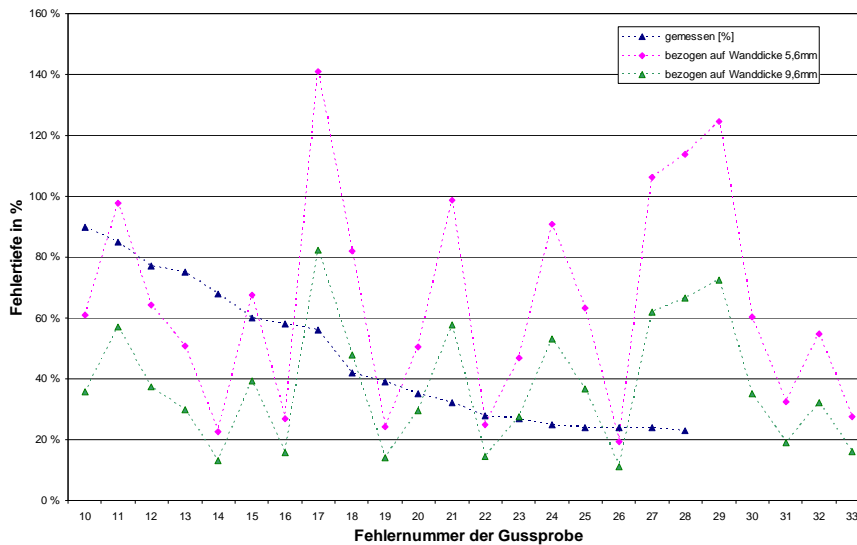


Bild 20 Diagramm: Fehlertiefe bei Guss

Damit eine Aussage über die minimal zu detektierende Fehlerbreite getroffen werden kann, lassen sich die gemessenen Daten in fünf Diagramme mit den Fehlerbreiten 5,0, 6,5, 8,0, 10,0 und 13,0 mm darstellen (s. Bild 21). Bezüglich der Fehlerbreiten von 5,0 und 6,5 mm ist augenscheinlich eine starke Abweichung vom gemessenen Wert bis hin zu einer fehlenden Detektierung zu erkennen. Bei größeren Fehlerbreiten liegt zwar auch eine starke Abweichung zum gemessenen Wert vor, allerdings werden alle weiteren Fehler detektiert, die der Gussprobe hinzugefügt wurden.

Des Weiteren wird deutlich, dass gerade die detektierten Fehler mit einer geringen Fehlertiefe eher an den tatsächlich gemessenen Werten liegen, wohingegen diese Beobachtung für die Werte mit höheren Fehlertiefen nicht zu machen ist. Besonders auffällig ist dieser Aspekt gerade bei Fehlern mit einer Fehlerbreite von mindestens 10 mm Durchmesser.

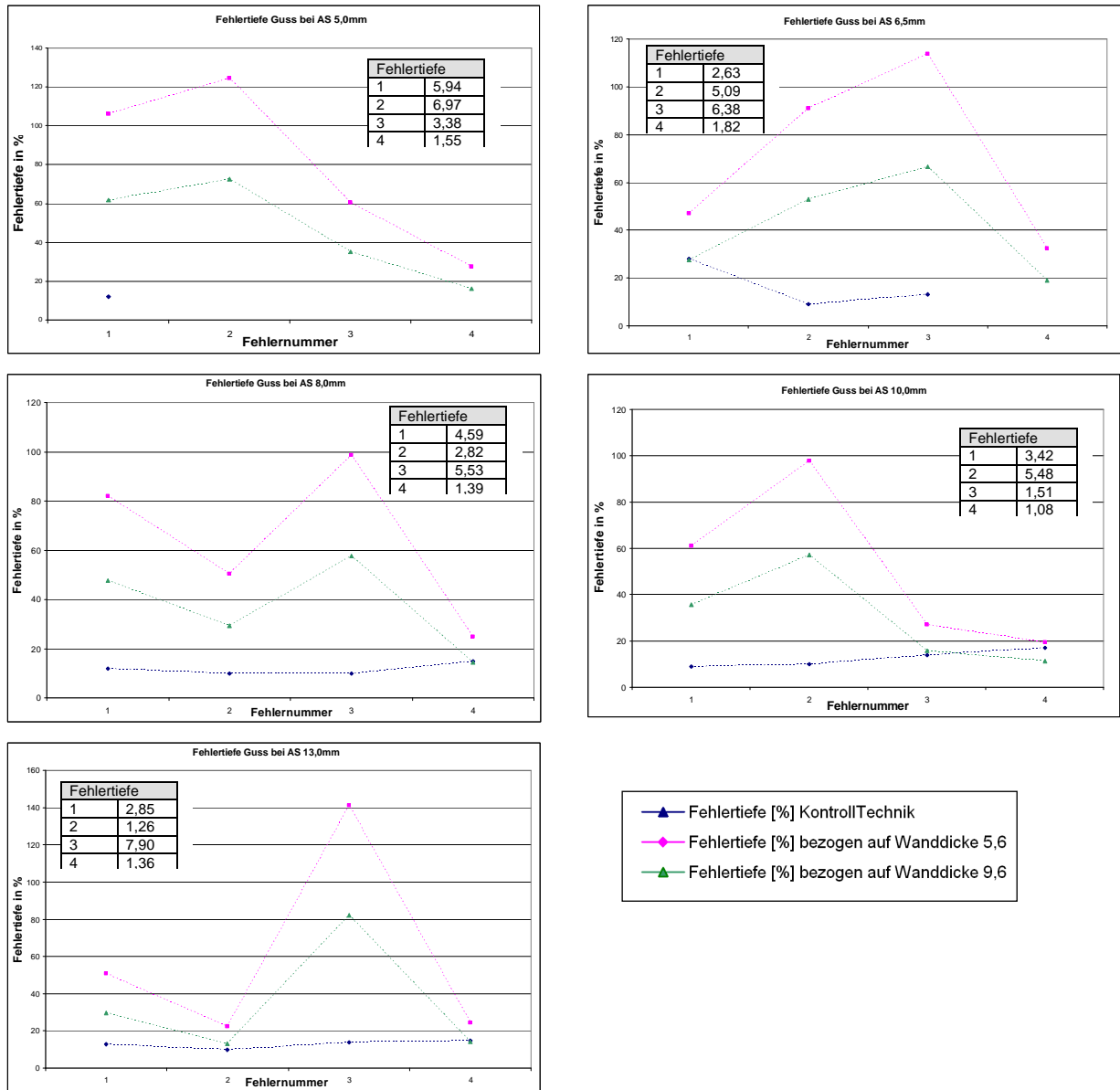


Bild 21 Diagramme zu den prozentual gemessenen Fehlertiefen bezogen auf die Wandstärken 5,6mm und 9,6mm bei Guss

Zuletzt lassen sich die Prüfungshandlungen beantworten bzw. bewerten (s. Tabelle 8). Negativ fällt nur die Position AE aus, wobei dies lediglich an der axialen Prüfrichtung liegt.

Tabelle 8 Untersuchung an dem Guss-Probekörper von innen

Pos.	Prüfungshandlung	Ergebnis	Datum
AA	Detektion von innen ersichtlicher sprunghafter Wanddickenänderungen	möglich	30.04.2014
AB	Detektion von innen ersichtlicher langsam einlaufender Korrosion (dargestellt durch langsam einlaufende Wanddickenänderung)	möglich	30.04.2014
AC	Detektion der Leckagegröße	möglich	30.04.2014
AD	Detektion der exakten Lage der Leckage	möglich	30.04.2014
AE	Detektion von Längsrissen	nicht möglich	30.04.2014
AF	Detektion von Querrissen.	möglich	30.04.2014

**B. Prüfungen an dem Stahl-Probekörper DN 250 von innen**

Analog zur Analyse der Gussprobe wurden dementsprechend bei der geprüften Stahlprobe zuerst die Entfernung und Lage der jeweiligen Leckage zur Startposition der SloFec-Prüfeinheit betrachtet (s. Tabelle 9).

Tabelle 9 Tatsächlich gemessene und durch das SloFec-Verfahren erkannte Fehlerentfernung, Fehlerlage und jeweilige Abweichung bei Stahl

Fehler Nr.	Probe	Entfernung [m]			Lage		
		gemessen	tatsächlicher Messwert	Abweichung [%]	gemessen	tatsächlicher Messwert	Abweichung [%]
1	Stahl	X: 0,816 m	X: 0,816 m	0,00 %	Y: 06:00	Y: 06:00	0,00 %
2	Stahl	X: 0,429 m	X: 0,427 m	0,47 %	Y: 09:00	Y: 09:00	0,00 %
3	Stahl	X: 0,193 m	X: 0,193 m	0,00 %	Y: 09:00	Y: 09:00	0,00 %
4	Stahl	X: 0,489 m	X: 0,488 m	0,20 %	Y: 09:00	Y: 09:00	0,00 %
5	Stahl	X: 0,252 m	X: 0,251 m	0,40 %	Y: 09:00	Y: 09:00	0,00 %
6	Stahl	X: 0,311 m	X: 0,310 m	0,32 %	X: 09:00	Y: 09:00	0,00 %
7	Stahl	X: 0,548 m	X: 0,548 m	0,00 %	X: 09:00	Y: 09:00	0,00 %
8	Stahl	X: 0,370 m	X: 0,369 m	0,27 %	X: 09:00	Y: 09:00	0,00 %
9	Stahl	X: 0,608 m	X: 0,607 m	0,16 %	X: 09:00	Y: 09:00	0,00 %

Bei näherer Betrachtung der Lage (Y Position durch Uhrzeit dargestellt) fällt auf, dass auch hier keine Abweichungen vorhanden sind und auch jede präparierte Leckage detektiert wurde.

Eine Auswertung der Abweichung der Entfernung der Fehler-Nr. 10-28 ergab eine Ungenauigkeit von minimal 0% bis maximal 0,47% (Fehler-Nr. 2). Bei der maximalen Abweichung ergab sich dabei ein Wert von 2 mm. Die gemessenen Abweichungsergebnisse, in Abhängigkeit zur tatsächlichen Entfernung, werden in Bild 22 dargestellt. Zu sehen sind die zwei nahezu deckungsgleichen laufenden Messreihen. Der unruhige Verlauf kommt durch die nach Fehlernummern sortierte Tabelle zustande.

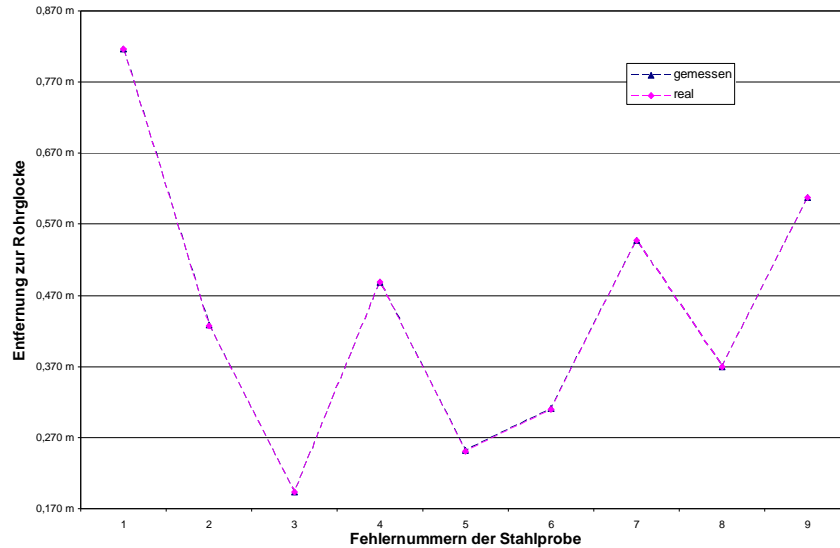


Bild 22 Diagramm: Abweichung der gemessenen zur tatsächlichen Entfernung bei Stahl

Eine erste Analyse der Fehlertiefen zeigt zunächst keine ungewöhnlichen Auffälligkeiten (s. Tabelle 10). Die 5 mm Durchbohrungen wurden auf Antrieb mit einer Fehlertiefe von 100% bestimmt. Im Vergleich mit der tatsächlich gemessenen Tiefe wird dieser Wert durch eine Abweichung von 0% bestätigt. Die Fehlertiefen bei nur angebohrtem Material weisen in der Regel Abweichungen von bis zu 1,4% auf. Lediglich die Fehler-Nr. 8 weist eine höhere Abweichung von 11,9% auf (s. Bild 23).

Tabelle 10 tatsächlich gemessene und durch das SloFec-Verfahren erkannte Fehlertiefen bei Stahl

Fehler Nr.	Probe	Fehlertyp	Fehlertiefe			
			tatsächlich in mm	gemessen in mm	gemessen in %	bezogen auf Wanddicke 10,0mm
1	Stahl	DB 5,0mm	10,00	10	100 %	100,0 %
2	Stahl	AS 10,0mm	7,96	11	81 %	79,6 %
3	Stahl	AS 15,0mm	7,96	16	80 %	79,6 %
4	Stahl	AS 10,0mm	6,01	9	60 %	60,1 %
5	Stahl	AS 15,0mm	6,05	15	60 %	60,5 %
6	Stahl	AS 15,0mm	3,99	16	40 %	39,9 %
7	Stahl	AS 10,0mm	4,00	11	39 %	40,0 %
8	Stahl	AS 15,0mm	3,39	14	22 %	33,9 %
9	Stahl	AS 10,0mm	1,98	12	21 %	19,8 %

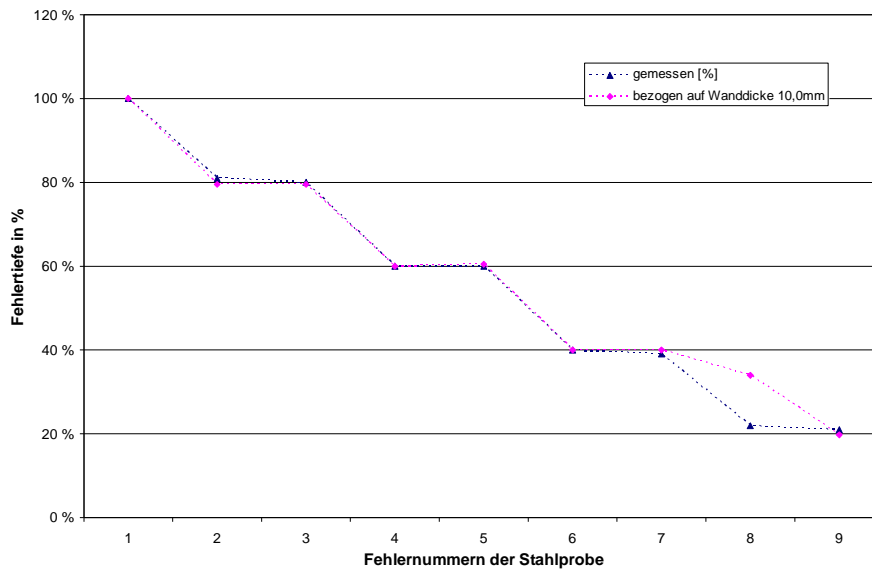


Bild 23 Diagramm: Fehlertiefe bei Stahl

Abschließend können die einzelnen Prüfungshandlungen wie folgt bewertet und zusammengefasst werden (s. Tabelle 11). Bedingt dadurch, dass die zur Verfügung gestellte Probe nur runde Leckagen verschiedener Durchmesser und Tiefen aufwies, konnten spezielle Fehlertypen wie Längsrisse, Querrisse und langsam einlaufende Korrosionen (BB, BE und BF ) nicht geprüft und bewertet werden.

Tabelle 11 Untersuchung an dem Stahl-Probekörper von innen

Pos.	Prüfungshandlung/Frage	Ergebnis	Datum
BA	Detektion von innen ersichtlicher sprunghafter Wanddickenänderungen	<b>möglich</b>	30.04.2014
BB	Detektion von innen ersichtlicher langsam einlaufender Korrosion (dargestellt durch langsam einlaufende Wanddickenänderung)	Material wurde nicht mit diesem Fehler präpariert	30.04.2014
BC	Detektion der Leckagegröße	<b>möglich</b>	30.04.2014
BD	Detektion der exakten Lage der Leckage	<b>möglich</b>	30.04.2014
BE	Detektion von Längsrissen	Material wurde nicht mit diesem Fehler präpariert	30.04.2014
BF	Detektion von Querrissen.	Material wurde nicht mit diesem Fehler präpariert	30.04.2014

### 3.3 Fazit und Handlungsempfehlungen

#### 3.3.1 Bewertung der Prüfprogramme

Das Ziel dieses Kapitels bestand insgesamt darin, die zwei bedeutenden Inspektionstechniken "Kanalradar" für Asbestzementleitungen und "SloFec" für Stahl- und Gussleitungen genauer zu untersuchen, wobei die Ergebnisse des „Kanalradars“ mit Hilfe des Phenolphthalein-Testes verifiziert wurden.

Die Nutzung des **Kanalradars** ist nach ersten Untersuchungen grundsätzlich für **Asbestzementleitungen** möglich. Die dabei erzielten Prüfergebnisse werden durch den pH-Test mittels Phenolphthalein bestätigt. **Grundsätzlich werden Wanddickenschwächungen sowie Fehlstellen im Material durch das Kanalradar gefunden.** Da sich die Messgenauigkeit des Kanalradars bisher nur durch den Einsatz von Phenolphthalein bestimmen lässt, bleibt die genaue Aussagekraft noch abzuwarten, bis das Forschungsvorhaben des IWW beendet ist. Bis dahin dient Phenolphthalein lediglich als Kontrollmessung.

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

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

#### 3.3.2 Weiterer Optimierungsbedarf

Bezüglich des Systems „Kanalradar“ ist dennoch ein weiterer Optimierungsbedarf zu erkennen:

- Der kleinstmögliche Rohrdurchmesser beträgt DN200. Damit ist eine Innenprüfung für kleine Rohre, die durchaus **im privaten Bereich** vorkommen, nicht möglich. Für kleine Durchmesser <DN200 könnten nur Außenprüfungen stattfinden, die jedoch einen Mehraufwand darstellen. Eine Prüfung von Techniken, die dem System des Kanalradars ähneln, sollte in einem weiteren Schritt für kleine Durchmesser forciert werden.
- Eine Innenprüfung kann nur bei vollständiger Leerung und Reinigung der Leitung durchgeführt werden. Es ist zu prüfen, ob Leitungen bzw. einzelne Leitungsnetze für

eine Prüfung außer Betrieb genommen werden dürfen. Wenn eine Außerbetriebnahme nicht möglich ist, sind Techniken zu entwickeln, die während des Betriebes einsetzbar sind. Dazu sind auch Lösungen zu erarbeiten, die auf eine Molchtechnik basieren. Hierzu sollte auch geprüft werden, an welchen Stellen eine solche Technik in die Leitung platziert werden kann, da Zugänge bei Druckleitungen nicht der Regel entsprechen.

- Für Stahlleitungen, die bereits mit einem Liner versehen wurden, ist die Technik durchaus einsetzbar, dennoch kann eine Schadensursache bzw. die genaue Schadensart nicht ausgemacht werden. Für diesen Fall ist die Technik entweder noch weiter zu entwickeln, oder es findet sich ein Verfahren, mit welchem es möglich ist, gezielt den Zustand der Stahlrohrwand zu bestimmen.

Bezüglich des Systems „**SloFec**“ ist ebenfalls ein weiterer Optimierungsbedarf zu erkennen:

- Der kleinstmögliche Rohrdurchmesser ist beträgt DN250. Damit ist analog zum Kanalradar eine Innenprüfung für kleine Rohre, die durchaus **im privaten Bereich** vorkommen, ebenfalls nicht möglich. Für kleine Durchmesser <DN250 könnten nur Außenprüfungen stattfinden, die jedoch einen Mehraufwand darstellen. Eine Prüfung von Techniken, die dem System des SloFec ähneln, sollte in einem weiteren Schritt für kleine Durchmesser forciert werden.
- Für duktile Gussleitungen ist der Einsatz der Technik zwar möglich, so dass auch erste Zustandsbeschreibungen erfolgen können. Eine exakte Aussage über jenen Zustand kann jedoch aufgrund der besonderen Materialbeschaffenheit nicht gemacht werden. Hierzu sind weitere Techniken zu entwickeln oder zu recherchieren, die in weiteren Tests überprüft werden müssten.
- Analog zu dem „Kanalradar“ ist es auch bei dieser Technik nicht möglich, eine Inspektion während des Betriebs zu gewährleisten. Es gelten hier die gleichen Ausführungen wie für das „Kanalradar“.

Allgemeiner Optimierungsbedarf für Inspektionstechniken:

- Netzbetreiber sollten hinsichtlich des Einsatzes einer solchen Technik geschult werden. Insbesondere erscheint es als sehr wichtig, Kenntnisse im Bereich der Materialkunde zu haben, um gezielt die richtige Inspektionstechnik zu wählen.
- Ebenso sollten sowohl Netzbetreiber als auch Privatpersonen ihre eigenen Leitungen bzw. Netze genauestens kennen (Planunterlagen, Bestandsunterlagen). Auf diese Weise wäre der gezielte Einsatz einer Technik (z.B. bekannte Zugangsöffnungen) möglich.
- Netzbetreiber und Privatpersonen sollten ausreichend über die Einsatzmöglichkeiten der Inspektionstechniken informiert werden.

## 4 Zustandsbewertung mit Hilfe von Dichtheitsprüfungen

### 4.1 Allgemeines

Dichtheitsprüfungen gehören zu den Standardprüfungen im Rahmen einer Bauabnahme von Abwasserfreispiegel und -druckleitungen. Bei Freispiegelleitungen sind Prüfungen nach DIN EN 1610 [3] üblich. Für Abwasserdruckleitungen verweist DIN EN 1610 auf die DIN EN 805 „Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden“ [4] bzw. in der Ausgabe 1997 noch auf prEN 805. Ebenso wird in der DIN 1671 „Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“ [22] im Zusammenhang mit Prüfungen vor Inbetriebnahme einer Leitung auf DIN EN 805 verwiesen. Das in der DIN EN 805 beschriebene Prüfverfahren ist im DVGW Arbeitsblatt W 400-2 „Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV), Teil 2: Bau und Prüfung“ [23] weitergehend beschrieben. Es enthält ergänzende Informationen zum Prüfverfahren sowie Anforderungen zu Messgeräten, spezifiziert Prüfverfahren abhängig von Rohrwerkstoffen und enthält Berechnungshilfen sowie Tabellen zur Beurteilung der Prüfergebnisse. Ein eigenes Prüfverfahren für bestehende, erdüberdeckte Abwasserdruckleitungen existiert derzeit nicht.

Geprüft werden in der Regel nur Prüfabschnitte. Die Festlegung der Prüfabschnitte und das Füllen dieser müssen so festgelegt werden, dass:

- der Prüfdruck an der tiefsten Stelle jedes Prüfabschnittes erreicht wird,
- am höchsten Punkt jedes Prüfabschnittes mindestens der höchste Systembetriebsdruck (**Maximum Design Pressure**) erreicht werden kann, außer bei abweichender Festlegung des Planers,
- die erforderliche Wassermenge für die Druckprüfung bereitgestellt und ohne Schwierigkeiten abgelassen werden kann.

Im Allgemeinen soll die Länge bei Teilstrecken mit kleinen Rohrnennweiten in Versorgungsnetzen 500 m und bei Transportleitungen 1500 m nicht überschreiten. Abweichend von den Anforderungen nach EN 805 fordert das Arbeitsblatt W 400-2, dass der Prüfdruck am höchsten Punkt jedes Prüfabschnittes mindestens  $1,1 \times \text{MDP}$  (höchster Systemprüfdruck) und die maximale Länge der Prüfstrecke in Abhängigkeit von Nennweite und Gelände bis 3 km beträgt.

Um eine Druckrohrleitung in Betrieb zu nehmen, ist diese zunächst zu entlüften und ausgehend vom Tiefpunkt so zu füllen, dass kein Zurückfließen des Wassers mehr möglich ist und die Luft an entsprechend dimensionierten Entlüftungsvorrichtungen entweichen kann. Wird die Druckrohrleitung zu schnell gefüllt, können eingeschlossene Luftpölster auf Gefällstrecken ein Abreißen der Wassersäule bewirken, die mit erheblicher Geschwindigkeit dem Tiefpunkt zuschießt und durch Schläge Kraft erzeugt. Diese können dann zu örtlichen Störungen der Leitung führen.

Für die Druckprüfung von Druckrohrleitungen sind verschiedene **Druckprüfverfahren** anwendbar. Diese sind in der Norm EN 805 bzw. im Arbeitsblatt DVGW W 400-2 beschrieben. Die dort beschriebenen Prüfverfahren bestehen grundsätzlich aus den drei Schritten *Vorprüf-*

fung, Druckabfallprüfung und Hauptprüfung. Zusammenfassend lassen sich diese im Bild 24 für die DVGW W 400-2 und im Bild 25 für die DIN EN 805 darstellen.

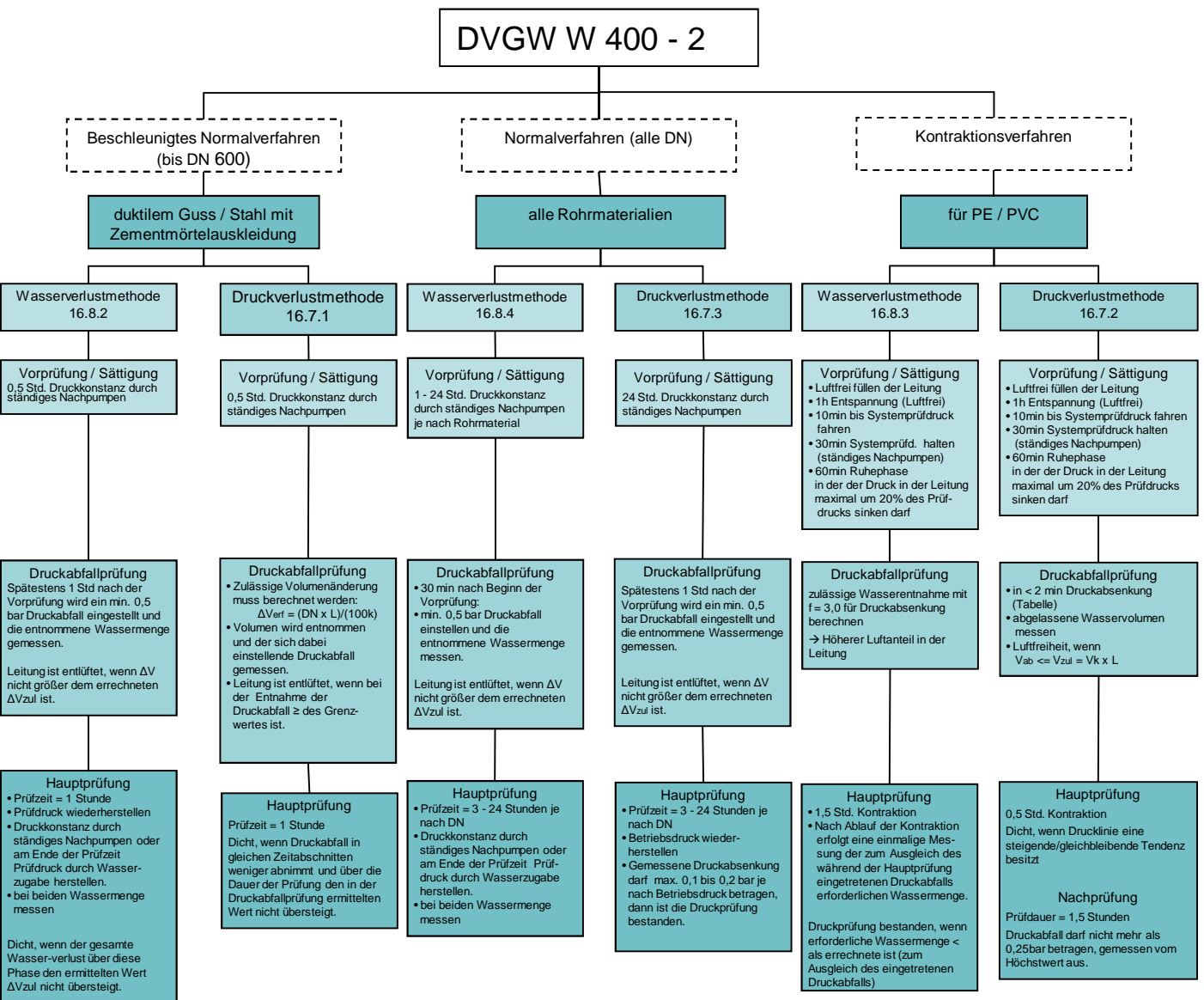


Bild 24 Zusammenfassung der Druckprüfungen nach DVGW W 400 - 2



Im Folgenden werden kurz die wesentlichen Schritte beschrieben und erläutert.

### 1. Vorprüfung

Die Vorprüfung dient zur Stabilisierung des zur Prüfung anstehenden Druckrohrleitungsabschnittes nach weitest gehendem Abklingen der anfänglichen Setzungen und zur ausreichenden Wassersättigung der Rohinnenfläche. Die Rohrleitung ist zunächst in geeignete Prüfabschnitte zu unterteilen, vollständig mit Wasser zu füllen und zu entlüften. Während der Vorprüfung ist dann der Prüfdruck in regelmäßigen Abständen, jedoch spätestens nach einem Druckabfall von 0,5 bar, wiederherzustellen. Wenn unzulässige Lageänderungen eines Rohrleitungsteiles oder Undichtheiten auftreten, ist die Rohrleitung zu entspannen und die Ursache zu beheben.

### 2. Druckabfallprüfung

Durch die Druckabfallprüfung wird festgestellt, ob der zu prüfende Abschnitt noch Luft enthält. Luft im Prüfabschnitt der Druckrohrleitung führt zu falschen Ergebnissen, die eine scheinbare Undichtheit darstellen können. Vorhandene Luft vermindert auch die Genauigkeit zur Feststellung möglicher Leckagen.

### 3. Hauptprüfung

Die Hauptprüfung darf nicht begonnen werden, bevor die Vorprüfung und die Druckabfallprüfung erfolgreich abgeschlossen sind. Die Einflüsse großer Temperaturänderungen sind dabei zu berücksichtigen.

Während die DIN EN 805 die Druckprüfung (für alle Durchmesser DN und Druckstufen) und das Kontraktionsverfahren (PE/PVC) beschreibt, wird in W 400-2 zwischen dem **Normalverfahren** (für alle DN und Druckstufen), dem **beschleunigten Normalverfahren** (bis DN 600 und MDP bis 16 bar) und dem **Kontraktionsverfahren** (PE/PVC) unterschieden. Die drei Prüfverfahren nach W 400-2 können jeweils nach der Wasserverlust- oder Druckverlustmethode durchgeführt werden.

Die Wasserverlustmethode erfordert höhere Ansprüche an die Genauigkeit der Messgeräte. Der Vorteil gegenüber der Druckverlustmethode liegt in der deutlichen Unempfindlichkeit gegenüber Lufteinschlüssen. Das Verfahren weist aber auch eine Prüfdauer bis zu 24 Stunden auf, so dass der zeitliche Aspekt ebenfalls eine entscheidende Rolle spielt.

Die Wasserverlustmenge kann durch zwei unterschiedliche Messverfahren ermittelt werden:

- Kontinuierliche Messung der nachgepumpten Wassermenge. Hierbei wird durch kontinuierliches Nachpumpen von Wasser während der gesamten Prüfzeit der Systemprüfdruck aufrechterhalten.
- Einmalige Messung der nachgepumpten Wassermenge. Am Ende der Prüfzeit wird der Systemprüfdruck durch einmaliges Nachpumpen wiederhergestellt.

In beiden Messverfahren ist die nachgepumpte Wassermenge durch geeignete Einrichtungen zu messen und aufzuzeichnen.

Zu klären ist, inwieweit diese Prüfverfahren überhaupt auf Abwasserdruckleitungen im Bestand übertragen werden können, und welche Prüfkriterien und Grenzwerte dann angemessen sind. Dazu wurde zunächst durch einen In-situ-Einsatz beispielhaft versucht, die DIN EN 805 umzusetzen.

## 4.2 Prüfung an Abwasserdruckleitungen im Bestand

Im Zuge der tagebaubedingten Umsiedlung der Ortslage Borschemich in den Norden der Kernstadt von Erkelenz wurde zur Schmutzwasserbeseitigung eine Druckleitung zur Abwasserreinigungsanlage Erkelenz verlegt. Diese Leitung DA 110, PE 80, wurde Ende 2006 hergestellt und ging mit Beginn der Umsiedlung Anfang 2008 in Betrieb.



Bild 26 Katasterauszug der Druckleitung von der Pumpstation Linde Borschemich-neu zur Kläranlage Marienweg

Wenige Wochen nach Inbetriebnahme zeigte sich in der Leitungstrasse eine Wasserlache. Die Stelle wurde aufgedigelt und es wurde dabei festgestellt, dass die Leitung ein kleines rundes Loch aufwies. Die Rohrleitung liegt in einer mehrere Meter mächtigen Lößlehm-schicht. Der Rohrgraben ist mit sandigem Boden verfüllt. Das ausgetretene Wasser konnte somit nicht unbemerkt versickern, sondern wurde an die Oberfläche gedrückt. An der Schadstelle wurde mit zwei Überschiebmuffen ein neues Rohrstück eingeschweißt. Zur Überprüfung der Reparatur wurde der Schieber am Ende der Druckleitung geschlossen. Die Leitung wurde durch die installierten Pumpen unter den maximal möglichen Druck gesetzt. Da eine Nachförderung auch nach einem halben Tag nicht notwendig war, wurde davon ausgegangen, dass die Leitung wieder dicht ist. Ein Hinweis auf die Schadensursache war nicht zu erkennen.

Dieser Vorgang wiederholte sich in unregelmäßigen Abständen von einigen Wochen oder Monaten insgesamt fünf Mal. Beim dritten Mal wurde festgestellt, dass das Loch mit einem Nagel in die Leitung geschlagen worden war. Offensichtlich hatten sich die Nägel bei den wechselnden Druckverhältnissen in der Leitung gelöst und sind dann herausgedrückt worden oder sie sind verrostet, abgebrochen und haben sich dann als Stummel gelöst. Ob es sich hier um einen „Dumme-Jungen-Streich“ oder einen Sabotageakt gehandelt hat, ließ sich

nicht mehr feststellen. Seit 2010 ist kein weiterer Schaden aufgetreten. Ein nicht festgestellter Schaden war aufgrund der beschriebenen Bodenverhältnisse nicht zu befürchten.

Im Sommer 2010 fiel die Entscheidung, nördlich des Neubaugebietes Borschemich-neu einen weiteren Umsiedlungsstandort zu entwickeln, dessen Schmutzwasser ebenfalls über diese Druckleitung abgeleitet werden soll. Diese Tatsache und die Mitarbeit des Abwasserbetriebes im IKT-Forschungsprojekt „Abwasserdruckleitungen“ haben zu der Entscheidung geführt, dass die Leitung auf Dichtheit untersucht werden sollte.

In einem ersten Schritt wurde das Gespräch durch den Abwasserbetrieb Erkelenz mit Dienstleister gesucht. Bei diesem Gespräch stellte sich sehr bald heraus, dass weder die DIN EN 1610, die DIN 1986-30 noch das DWA Merkblatt M 143-6 als Grundlage für eine solche Prüfung herangezogen werden konnten. Grundsätzlich in Frage kommt jedoch eine Druckprüfung nach DIN EN 805. Diese Norm befasst sich jedoch mit Neubauabnahmen von Wasserversorgungssystemen. Die dort vorgegebenen Prüfungen können jedoch nicht direkt auf Abwasserdruckleitungen übertragen werden. Es ergaben sich im vorliegenden Fall folgende Fragen / Schwierigkeiten / Probleme:

- Aus Sicherheitsgründen kann die Leitung nicht mit Luft abgedrückt werden.
- Beim Abdrücken mit Wasser kann die Luftfreiheit nicht ohne weiteres gewährleistet werden.
- Druckverluste können mengenmäßig nicht exakt bestimmt werden, da nicht sicher festgestellt werden kann, ob eine Luftblase entweicht oder ob Wasser verloren geht.
- Ein Referenzdruckbehälter in Anlehnung an die DIN EN 1610 kann für Druckprüfungen nur sehr aufwändig hergestellt und mit ständiger Überwachung betrieben werden.
- Ein gemeinsamer Geräteeinsatz für die Prüfungen von Versorgungssystemen und Abwasserdruckleitungen ist aus Gründen der Hygiene und des Gesundheitsschutzes nicht zulässig.
- Abwasserdruckleitungen haben in der Regel einen freien Auslauf. Vielfach sind auch Einbauten wie Be- und Entlüfter und Tiefpunktentleerungen vorhanden. Hier ist erheblicher Aufwand zur Sicherstellung der Abdichtung der Prüfstrecke erforderlich, auch an im Regelbetrieb dichten Einbauten.

Die Leitung enthält zwei Hochpunkte mit jeweils einer Be-/ Entlüftungsvorrichtung. In der Pumpstation und am Ende der Leitung sind Schieber angeordnet. Der Höhenunterschied beträgt maximal fünf Meter. Eine Umleitung des Abwassers war nicht nötig, da es über mehrere Stunden im Netz gestaut werden kann. Zusätzlich hätte das Regenklärbecken neben der Schmutzwasserpumpstation als Stauraum dienen können.

Die Prüfung wurde in diesem Fall von einer Vertragsfirma der Stadt Erkelenz ausgeführt, die für die Dichtheitsprüfungen an der Freispiegelkanalisation zuständig ist. Zwischen dem Dienstleister und Netzbetreiber wurde ein Vorgehen abgestimmt, das zwar an die DIN EN 805 angelehnt ist (Bauabnahmeprüfung für Trinkwasserleitungen), jedoch ohne große bauli-

che Änderungen oder Anschaffungen des Dienstleisters und mit vertretbarem Aufwand umsetzbar war.

Zugangsmöglichkeiten an Tiefpunkten bestanden nicht. Deshalb wurde am höchsten Punkt, am „Prüfschacht“ an einem T-Stück, der Be- und Entlüfter entfernt, um dort die Messapparatur anzuschließen und Eingang für die Druckzugabe zu schaffen. Zur Vorbereitung wurde der Schieber am Ende der Druckleitung während des laufenden Regelbetriebes geschlossen. Mit der Pumpe wurde bei geöffneten Entlüftungsventilen solange Wasser nachgedrückt, bis keine Förderung mehr zu verzeichnen war. Die Leitung war somit soweit wie möglich mit Wasser gefüllt. Der Betriebsdruck hatte nun einen Wert von 2,0 bar angenommen. Lufteinschlüsse an unbekanntem Hochpunkten können jedoch nicht ausgeschlossen werden. Anschließend wurden die Entlüftungsventile und die Schieber hinter der Pumpe geschlossen.



*Bild 27 Angeschlossene Messeinrichtung auf dem T-Stück des Prüfschachtes (links), Messfahrzeug zur Druckbeaufschlagung und Ergebnisauswertung (rechts)*

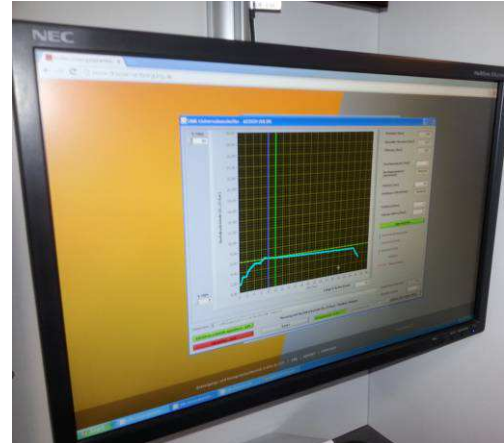
Die Prüfung selbst wurde mit Zugabe von Luft durchgeführt. Die Prüfung sollte in drei Schritten stattfinden. Der erste Schritt besteht aus der Druckbeaufschlagung der Leitung mit Luft bis zu einem Prüfdruck von 6,0 bar und einer anschließenden zwei Minuten Ruhephase bei diesem Druck. Anschließend folgt eine Vorprüfung über 30 min, in der der Druckabfall keine Berücksichtigung findet, da sich das Wasser durch die zugeführte Luft erst einmal in der Leitung verteilen muss. Abschließend findet eine 30 min Hauptprüfung statt. Geprüft werden soll mit einem maximalen Druck von 6,0 bar und einer Prüfzeit von 30 min.

### Versuch 1

Es wurde Luft auf die Leitung bis zu einem Druck von 6,0 bar beaufschlagt. Die 2 min Ruhephase wurde eingehalten. Anschließend wurde die Vorprüfung durchgeführt, die mit 30 min angesetzt war. Allerdings war schon nach 22 min ein Druckverlust von 0,6 bar ablesbar. Eine Kontrolle mittels Lecksuchspray an den Schiebern in der Pumpstation ergab hier Undichtheiten, die durch Nachziehen beseitigt werden konnten. Außerdem stellt sich heraus, dass eine Storzkupplung am T-Stück des Prüfschachtes zischte und somit auch eine Undichtheit aufwies. Der Druck wurde wieder auf 2,0 bar abgelassen, der Prüfausgang des T-Stücks mit einem Kugelhahn abgesperrt und die Kupplung ausgetauscht.

## Versuch 2

Wie auch beim Versuch 1 wurde der Druck von 2,0 auf ca. 6,0 bar angehoben. Die Prüfung wurde in drei Phasen durchgeführt. In der Ruhephase von zwei Minuten pendelte sich der Druck auf 6,309 bar ein. Die Vorprüfung dauerte 30 min. Die Hauptprüfung begann bei 5,912 bar und dauerte 30 min. Nach dieser Zeit war ein Prüfdruck von 5,818 bar abzulesen, wodurch sich ein Druckabfall von 94 mbar ergibt.



*Bild 28 Messfahrzeug der Fa. Dreßen bei der Dichtheitsprüfung (links), Live Auswertung der Messung (rechts)*

### *Bewertung:*

Die Dichtheitsprüfung der Abwasserdruckleitung sollte nach der DIN EN 805 erfolgen, um Rückschlüsse auf die Anwendbarkeit der Norm auf Abwasserdruckleitungen im Bestand zu ziehen.

Allerdings war die exakte Umsetzung nicht möglich. In diesem Fall besteht nur die Möglichkeit, die Dichtheitsprüfung von einem Hochpunkt und nicht wie gefordert von einem Tiefpunkt aus durchzuführen. Für eine Wasserdruckprüfung ist laut Firma Dreßen ein Referenzdruckbehälter erforderlich, der aufwändig herzustellen und regelmäßig zu überwachen wäre. Die hier nicht normgerecht zur Anwendung gelangte Mischprüfung mit einer Wasserfüllung und einer Luftbeaufschlagung hat laut dem Abwasserbetrieb Erkelenz im betrachteten Fall zwar zum Erfolg geführt, eine Überprüfung der tatsächlich durchgeführten Maßnahme konnte allerdings nicht stattfinden, so dass die Ergebnisse nicht valide und sinnvoll interpretiert werden können.

## **4.3 Versuchsstrecke im IKT**

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

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

Als Ergebnis werden in diesem Kapitel Empfehlungen für die Prüfung von Abwasserdruckleitung im Bestand herausgegeben. Im Folgenden wird zunächst der Aufbau der Teststrecke auf dem Außengelände des IKT beschrieben. Anschließend werden das Versuchsprogramm sowie die Ergebnisse vorgestellt.

#### 4.3.1 Versuchsaufbau

Auf dem IKT-Außengelände wurde eine 27 m lange Druckrohrleitung aus PE-100 SDR17 der Nennweite DN 150 in einer schon vorhandenen 30 m langen Haltung aus DN 2200 Betonrohren errichtet. Die Versuchsstrecke sollte dabei schwierige geometrische Verhältnisse (Bögen, Steigungen, Gefälle) nachbilden und so flexibel konstruiert werden, dass Hoch- und Tiefpunkte variabel einstellbar sind. Für die Versuchsstrecke wurden die in Tabelle 12 aufgeführten Bauteile verwendet.

Tabelle 12 Bauteilliste der IKT-Versuchsstrecke

	Bauteile	Maße	SDR	Anzahl
B	Sperrplatte für Absperrschieber			2
C	PE 100 SDR 17, 6m Stangen	d/DN = 160/150	17	4
D	Einschweißbund lang	d = 160	17	14
E	Stahlflansch mit PP-Ummantelung	d/DN = 160/150	11	14
F	Profildichtung mit Metalleinlage	d/DN = 160/150		8
G	LightFit Muffe	d = 160	17	22
H	Bogen 90°, gedrückt	d = 160	17	2
I	Bogen 45°, gedrückt	d = 160	17	6
J	Gewindeschelle mit Stopfen	d x Rp = 160 x 2"	11	8

Die Versuchsstrecke wurde zur besseren Übersicht in fünf Abschnitte unterteilt. Die exakten Positionen der angebrachten Ventile sind mit den blauen Ziffern von 1 bis 9 gekennzeichnet. Ebenso sind die verwendeten Bauteile (s. Tabelle 12) in der Versuchsskizze farblich markiert.

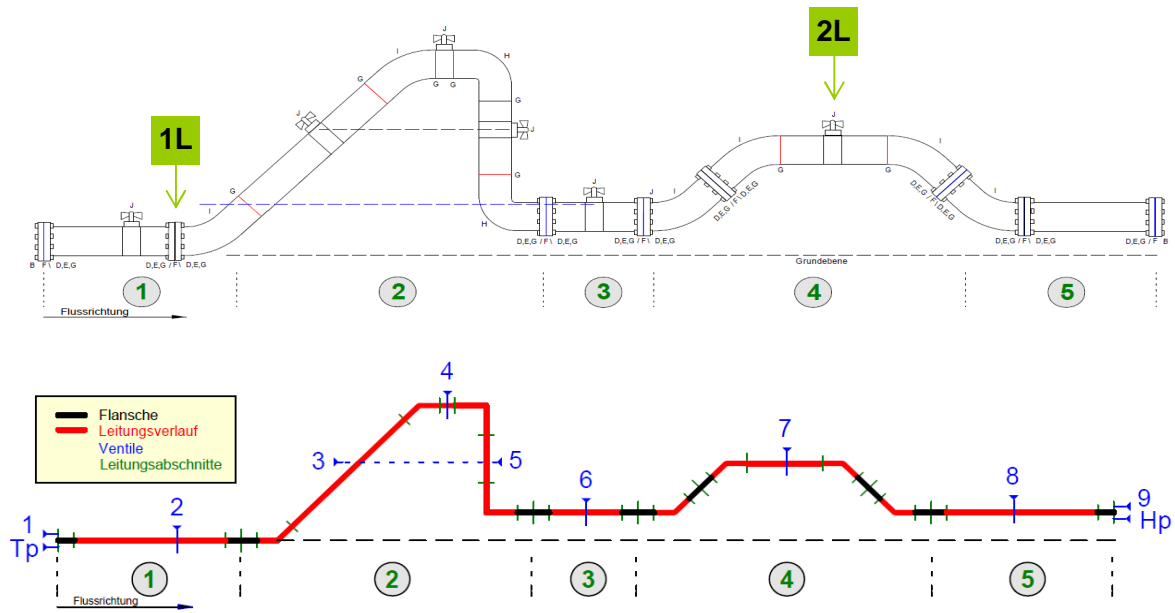


Bild 29 In Abschnitten aufgeteilte Versuchsstrecke mit nummerierten Ventilen (unten), Verlauf der IKT-Versuchsstrecke auf dem IKT-Gelände mit durch Stahlflansche variabel montierten Teilelementen (oben), Maße siehe Anlage

Das erste Leitungsteilstück umfasst einen sechs Meter langen Streckenabschnitt (s. Bild 30). Am Anfang der Leitung wurde ein Stahlflansch mit PP-Ummantelung mit der Druckrohrleitung verschweißt. An diesem Stahlflansch wurde ein Blindflansch mit eingebautem Zulauf zur Regelung des Zuflusses angebracht. Ein daran montierter Kugelhahn mit metrischem Gewinde dient als Adapter zum Anschluss eines Luftdruckschlauches oder als „Passestück“ zum Einbringen z.B. eines Spülschlauches. Über einen oberhalb des Zulaufes angebrachten Kugelhahn befindet sich ein weiterer Kugelhahn, welcher einzig der Be- und Entlüftung dient. Über einen auf dem Abschnitt montierten Kugelhahn kann die Be-/Entlüftung stattfinden.



Bild 30 Abschnitt 1



Bild 31 Abschnitt 2

Den zweiten Leitungsabschnitt der 27 m langen Versuchsstrecke bildet eine Steigung, angeschlossen über zwei 45°-Bögen, auf die ein sehr kurzer Hochpunkt folgt (s. Bild 31). Im Anschluss daran geht die Leitung über einen 90°-Bogen in eine Gefällestrecke über, die wiederum über einen weiteren 90°-Bogen auf die Zulaufebene geführt wird. Verteilt über diesen Bogen wurden drei Ventile für die Be- und Entlüftung angebracht. Der Bogen ist über die angeschweißten Stahlflansche drehbar, so dass je nach Prüfbedingung ein Hoch- oder Tiefpunkt geschaffen werden kann.

Auf den Bogen im Abschnitt zwei folgt im dritten Leitungsabschnitt eine Gerade (s. Bild 32). Sie weist eine Länge von 5 m auf. Die Verlegehöhe liegt 0,45 m über der Nulllinie der Zulaufebene im Abschnitt 1. Über zwei montierte Be-/Entlüftungsventile (in der Mitte des 1. und 3. Abschnittes) lässt sich der Bogen im 2. Abschnitt fast komplett leeren, um somit ein definiertes Luftpolster zu schaffen.



Bild 32 Abschnitt 3



Bild 33 Abschnitt 4

Den zweiten Bogen im vierten Leitungsabschnitt bilden vier 45°-Bögen (s. Bild 33). Jeweils zwei ergeben eine Steigung und eine Gefällestrecke, welche über eine Gerade miteinander verbunden sind. Be- und Entlüftungsventile wurden dort im 45°-Winkel verdreht auf der Geraden montiert. Dieser zweite Bogen ist analog zum ersten Bogen im zweiten Leitungsabschnitt über die angeschweißten Stahlflansche sowohl als Hoch- als auch als Tiefpunkt verwendbar. Dieser Abschnitt weist eine Länge von vier Meter auf.

Im fünften Leitungsabschnitt schließt eine sechs Meter lange Gerade an den zuvor beschriebenen Bogen an (s. Bild 34). An beiden Enden sind Stahlflansche montiert. Der Auslauf kann mit einem Blindflansch für Dichtheitsprüfungen geschlossen werden. Dieser Blindflansch wurde analog zum Blindflansch im Abschnitt 1 aufgebaut. Somit kann von beiden Seiten der Versuchsstrecke eine Dichtheitsprüfung durchgeführt werden. Die Höhe dieser Geraden liegt 0,4 m über der Zulaufebene aus dem 1. Abschnitt. Zur Be-/Entlüftung wurde auch hier ein Kugelhahn montiert.

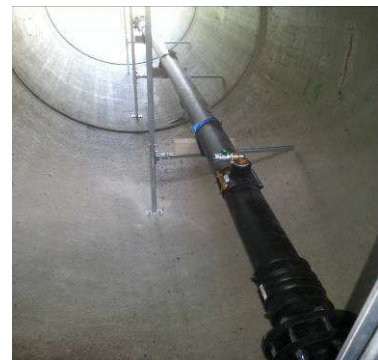


Bild 34 Abschnitt 5

In der Leitung wurden somit Bögen mit unterschiedlichen Winkeln verbaut. Nach DIN EN 1671 sind zwar „scharfe Richtungsänderungen möglichst zu vermeiden, um die Bildung von Verstopfungen zu verhindern“ und sollten aufgrund hydraulischer Verluste möglichst nicht eingesetzt werden, jedoch kann in der Praxis z.B. bei Platzmangel nicht immer auf Bogenformstücke verzichtet werden. So sind in der Praxis, vor allem bei Querungen von Flüssen und Straßentrassen, auch Bogenstücke in Abwasserdruckleitungen bis hin zu 90° zu finden [24]. Auch im Bereich der Pumpwerke werden Bogenstücke bis 90° verwendet, die vom jeweiligen Verfahren überwunden werden müssen, wenn sie nicht auszubauen bzw. unzugänglich sind. Dennoch stellen die verwendeten Bögen in der Teststrecke schwierigere Randbedingungen gegenüber der Praxis dar.

Mit der Kombination aus scharfen Richtungsänderungen, Steigungen und Gefällestrecken des zweiten Streckenabschnitts sollten erschwerte Bedingungen für die Dichtheitsprüfung

geschaffen werden, um mit der begrenzt zur Verfügung stehenden Leitungslänge auch Einsatzgrenzen feststellen zu können.

### 4.3.2 Versuchsprogramm

Das Versuchsprogramm diente dazu, zunächst generell die Art und Weise der Durchführung einer Dichtheitsprüfung zu verstehen. Es werden u.a. Fragen beantwortet, die auf die Prüfabfolge der Durchführung abzielen oder ob mit Luft oder Wasser als Medium eine Prüfung durchgeführt werden kann. Dazu ist die Aussagekraft einer Prüfung bei nur teilgefüllter Rohrleitung zu untersuchen, wobei stets die Prämisse gilt, den Dichtheitsgrad der Leitung zu bestimmen. Zur Beantwortung dieser Fragen wurden zunächst vier Dichtheitsprüf-Dienstleister beauftragt und während der Prüfungen beobachtet. Zur Gewährleistung der einer realen Prüfsituation wurde die Strecke abgedeckt, so dass für alle Dienstleister nur ein freigelegtes Ende zu sehen war (s. Bild 35).



*Bild 35 Prüfposition der Dienstleister (rechts), freigelegtes Ende der Versuchsstrecke mit einem Ent-/Belüfter und einem Zulauf in ½“ (links)*

Den Dienstleistern wurde somit eine Strecke mit einem vordefinierten Zustand übergeben. Jeder Dienstleister führte an jeweils einem Prüftag maximal zwei Versuche durch. Um die Ergebnisse entsprechend analysieren und auswerten zu können, musste jede Firma ein festgelegtes Prüfprogramm durchlaufen, wie es in Bild 36 zu sehen ist.

Den Dienstleistern wird als Prüfgrundlage die DIN EN 805 bzw. DVGW W400-2 vorgelegt, nach denen geprüft werden soll. Begonnen wird in der 1. Prüfung mit dem Zustand 1. Dazu wird im Bogen im Abschnitt 2 ein Luftpolster von 8,0% des gesamt berechneten Füllvolumens von 424,72 L geschaffen (s. Tabelle 13 Zustand 1). Wird durch die Dienstleister keine Luft in der Versuchsstrecke gefunden, findet die 2. Prüfung mit einem Luftpolster von 30,0% des Füllvolumens statt (s. Tabelle 13 Zustand 2). Bei gefundenem Luftpolster in der 1. Prüfung, wird die entlüftete Versuchsstrecke im Zustand 3 komplett mit Wasser gefüllt (s. Tabelle 13 Zustand 3).

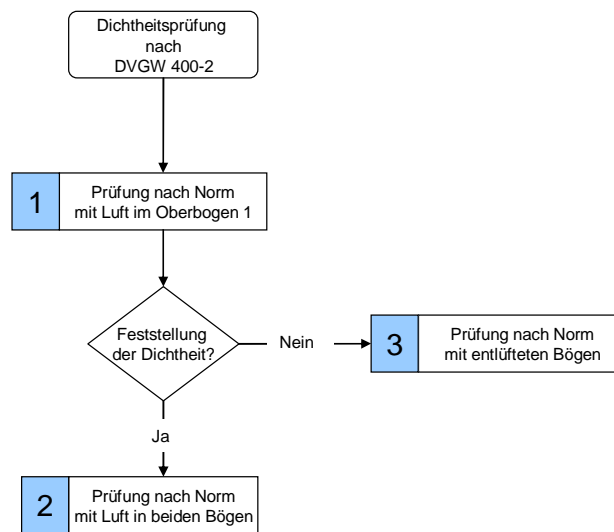
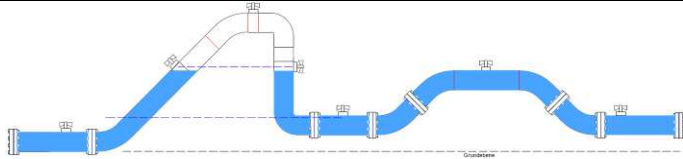
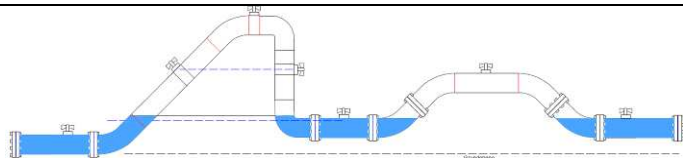
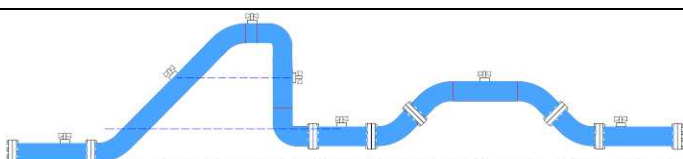


Bild 36 Prüfprogramm, gesteuert durch die Ergebnisse der Dienstleister

Tabelle 13 Füllzustände der Versuchsstrecke

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

Der jeweilige Zustand kann über die auf der Versuchsstrecke verteilten Be-/Entlüftungsventile eingestellt werden (vgl. Abschnitt 4.3.1).

### 4.3.3 Versuchsprüfungen

Bedingt durch den Versuchsstreckenaufbau aus dem Rohrmaterial PE 150 und der Möglichkeit an einem Prüftag zwei Prüfungen durchzuführen, sollte das Kontraktionsverfahren mit der Druckverlustmethode angewendet werden. Neben dem Kontraktionsverfahren ist durchaus auch das Normalverfahren anwendbar, bedarf aber einer Prüfzeit zwischen 3 und 24 Stunden. Hingegen ist das Kontraktionsverfahren speziell für PE/PVC – Rohrmaterialien ausgelegt und bedarf lediglich regulär einer Prüfzeit von ca. 3:30 Stunden.

Das Kontraktionsverfahren durchläuft dabei insgesamt drei Phasen, welche im folgenden Abschnitt auf Grundlage der DIN EN 805 und DVGW W 400-2 beschrieben werden.

#### 4.3.3.1 Kontraktionsverfahren nach Druckverlustmethode

Die im Folgenden beschriebenen drei Phasen einer Kontraktionsprüfung nach Druckverlustmethode lassen sich beispielhaft anhand des in Bild 37 dargestellten Diagramms nachvollziehen.

In diesem Abschnitt wird das Verfahren kurz beschrieben. Ein ausführlicher Überblick über das Verfahren wird in Kapitel 5.1.2.3 gegeben.

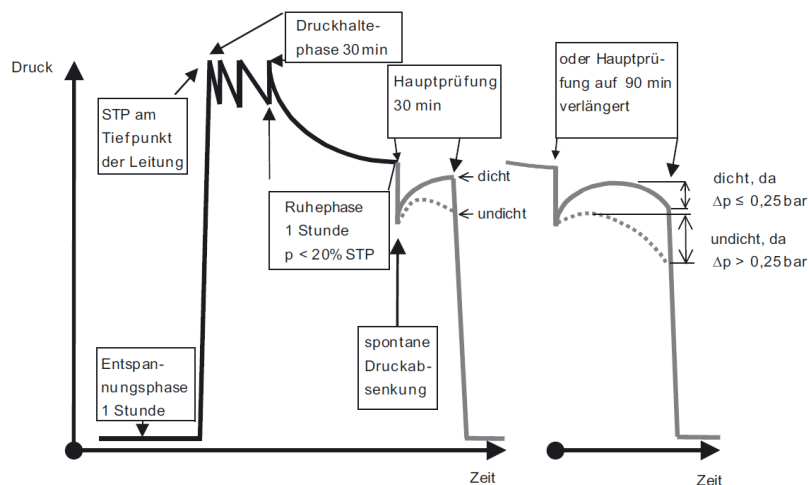


Bild 37 Beispiel für den Druckverlauf des Kontraktionsverfahrens bei einer dichten und einer undichten PE-Druckrohrleitung [23]

#### Vorprüfung

Nach dem luftfreien Füllen, ggf. Molchen der Leitung erfolgt eine einstündige Entspannungszeit durch Öffnen der Absperrarmatur am Hochpunkt der Haltung. Dabei darf keine Luft in die Druckrohrleitung eintreten. Die Druckrohrleitung wird verschlossen, der Systemprüfdruck STP innerhalb von 10 Minuten aufgebracht und durch ständiges Nachpumpen über eine Zeit von 30 Minuten gehalten. Danach erfolgt eine einstündige Entspannungsphase, in der der Druck in der Leitung um maximal 20% des Prüfdrucks STP sinken darf. Ist der Druckabfall größer, liegt entweder eine Undichtheit vor oder die Rohrleitung war einer unzulässigen Temperaturerhöhung ausgesetzt. Die Prüfung ist dann abzubrechen. Vor der Wiederholung der Vorprüfung ist eine einstündige Entspannungszeit unbedingt einzuhalten. Nach Abschluss einer erfolgreichen Vorprüfung darf die Druckabfallprüfung erfolgen.

#### Druckabfallprüfung

Durch eine schnelle Druckabsenkung  $p_{ab}$  in weniger als zwei Minuten lässt sich die Dehnung der Druckrohrleitung unterbrechen. Die vorzunehmende Druckabsenkung ist in der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** aufgeführt. Alternativ kann nach DIN EN 805 die vorzunehmende Druckabsenkung des am Ende der Vorprüfung vorhandenen Dru-

ckes um den gemessenen Druckverlust (10% bis 15% vom Systemprüfdruck) durch Ablassen von Wasser aus dem Prüfabschnitt durchgeführt werden.

### Hauptprüfung

Der nach der Druckabsenkung eintretende Druckanstieg ist während der halbstündigen Kontraktionszeit zu überwachen. Als ausreichende Luftfreiheit gilt, wenn das abgelassene Wasservolumen  $V_{ab}$  kleiner oder gleich dem höchstzulässigen Wasservolumen  $V_{zul}$  ist. Die geprüfte Rohrleitung gilt als dicht, wenn sich im Verlauf der halbstündigen Prüfzeit  $t_k$  eine leicht steigende bis gleich bleibende Druckänderung ergibt. Die Prüfzeit kann in Zweifelsfällen bis auf 1,5 Stunden erweitert werden. Der Druckabfall  $\Delta p_{zul}$  darf dabei, bezogen auf den in der Prüfzeit gemessenen Höchstwert, nicht mehr als 0,25 bar betragen.

#### 4.3.3.2 Prüfung durch das IKT

##### Versuchsaufbau

Am Blindflansch wurde am Zulauf  $T_p$  ein Drucksensor installiert (s. Bild 38 rechts). Von dort aus verlief die Regelstrecke über ein Durchflussmessgerät zu einer T-Verbindung. Über einen Ablass konnte an dem einen Ende dieser Verbindung Wasser der Versuchsstrecke entnommen werden. An dem zweiten Ende wurde eine weitere T-Verbindung montiert (s. Bild 38 links). Diese diente als Wasserverteiler zum Befüllen des Ausgleichsbehälters und zum anderen zum Befüllen der Versuchsstrecke. Am entgegen gesetzten Ende des Ausgleichsbehälters wurde ein Luftkompressor angeschlossen. Ein am Drucksensor angeschlossenes Kabel führte zum Auswertelaptop (s. Bild 38 mitte).

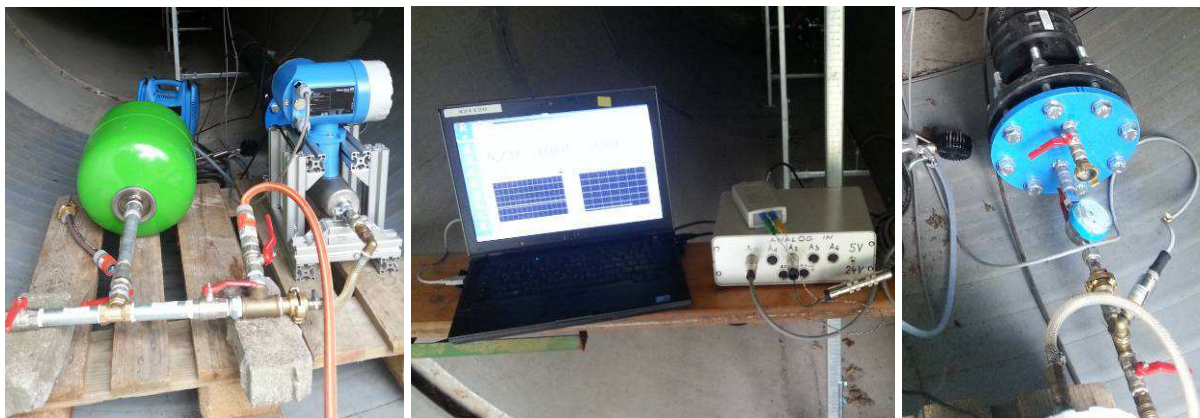


Bild 38 Ausgleichsbehälter mit hintergeschaltetem Durchflussmessgerät (links), Laptop zur Druckmessaufnahme (mitte), Drucksensor am Zulauf (rechts)

##### Versuchsdurchführung

Zunächst wurde der Ausgleichsbehälter bis zu einem gemessenen Druck von 6,0 bar mit Wasser gefüllt. Als nächstes wurde dieser vom System getrennt und die Versuchsstrecke über das Durchflussmessgerät und den Drucksensor mit Wasser gefüllt. Um z.B. die 8,0 bar Systemprüfdruck zu erreichen, fand ein Wasserzufluss in die Leitung statt, bis ein Druck von

ca. 6,0 bar erreicht war. Das ist der maximal zu erzielende Druck, der durch die vom IKT gegebene Wasserversorgung aufgebracht werden konnte. Nun wurde die Wasserzufuhr vom System getrennt und der Ausgleichsbehälter wieder hinzugefügt. Die fehlenden 2,0 bar konnten nun über den am Ausgleichsbehälter angeschlossenen Luftkompressor erzielt werden. Für den Druckabfall diente ein Ablassventil zwischen Ausgleichsbehälter und Durchflussmessgerät.

#### Versuchsauswertung: Zustand 1 - Systemprüfdruck von 8,0 bar (normale Prüfzeit)

Die Vorprüfung startete unter Berücksichtigung eines Betriebsdrucks von 0,05 bar mit der Entspannungsphase. Daraufhin wurde in den vorgegebenen 10 min der Systemprüfdruck von 8,0 bar aufgebracht und in der Druckhaltephase konstant gehalten. Im Zuge der Ruhephase ist der Druck bis auf 7,42 bar gefallen. Die **Vorprüfung** war somit **bestanden**, da der gemessene Druckabfall den zulässigen Druckabfall nicht überschritten hatte.

In der Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 2,0 bar auf 5,42 bar durchgeführt. Die dabei entnommene Wassermenge von 2,45 L überstieg die zulässig berechnete Ablassmenge von 1,06 L. Somit war die **Druckabfallprüfung nicht bestanden**.

Da die Druckabfallprüfung abbrach, war die Dichtheitsprüfung nach DVGW W 400-2 nicht bestanden (s. Bild 39). Die Hauptprüfung wurde somit nicht mehr durchgeführt.

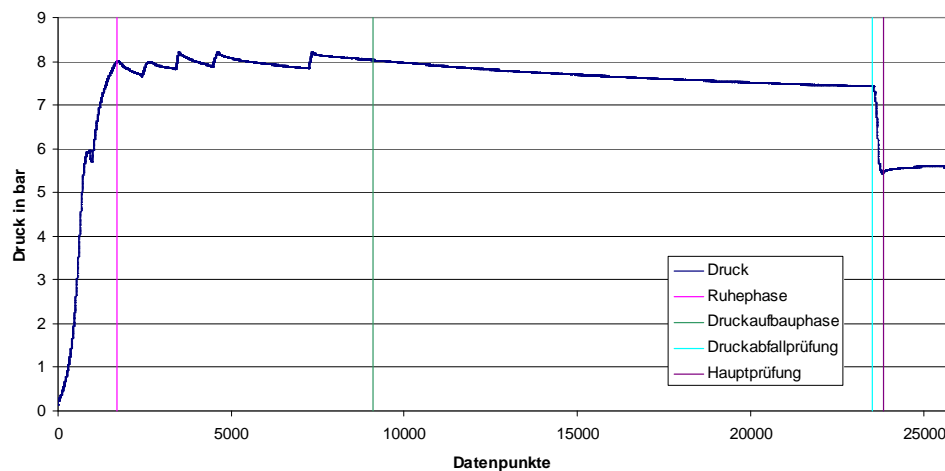


Bild 39 Dichtheitsprüfdiagramm zur Prüfung im Zustand 1 bei einem Systemprüfdruck von 8,0 bar

#### Versuchsauswertung: Zustand 2 - Systemprüfdruck von 8,0 bar (normale Prüfzeit)

Die Vorprüfung wurde bei einem Betriebsdruck von 0,05 bar mit einer verkürzten Entspannungsphase von 20 min gestartet. Darauf wurde in den vorgegebenen 10 min der Systemprüfdruck von 8 bar aufgebracht und in der Druckhaltephase konstant gehalten. In der Ruhephase ist der Druck bis auf 7,58 bar gefallen. Die **Vorprüfung** war somit **bestanden**, da der gemessene Druckabfall kleiner des zulässigen Druckabfalls war.

In der Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 2,0 bar auf 5,58 bar durchgeführt. Die dabei entnommene Wassermenge von 4,9 L überstieg die zulässig berechnete Ablassmenge von 1,06 L. Somit war die **Druckabfallprüfung nicht bestanden**.

Die Dichtheitsprüfung wurde nach der Druckabfallprüfung abgebrochen, da sich nach DVGW W 400-2 bei einer nicht bestandenen Druckabfallprüfung Luft in der Leitung befindet, welche sich durch gezieltes Entlüften beseitigen lässt. Somit war die Dichtheitsprüfung nicht bestanden (s. Bild 40).

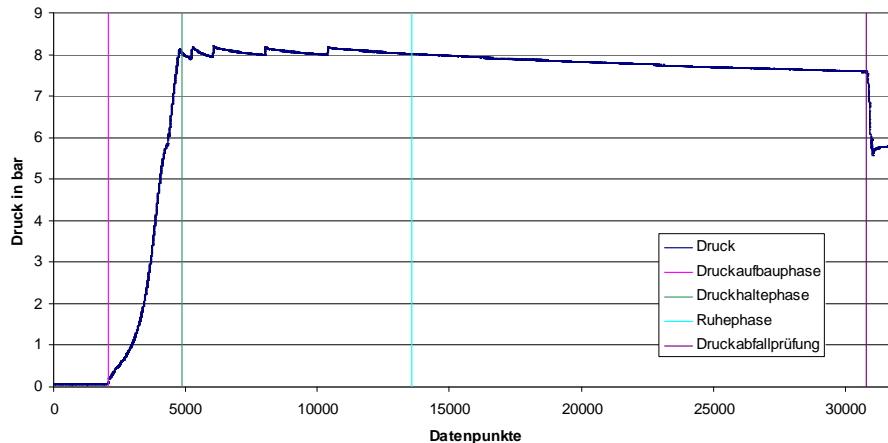


Bild 40 Dichtheitsprüfendiagramm zur Prüfung im Zustand 2 bei einem Systemprüfdruck von 8,0 bar

#### Versuchsauswertung: Zustand 3 - Systemprüfdruck von 8,0 bar (normale Prüfzeit)

Die Vorprüfung wurde in diesem Fall mit der Druckaufbauphase gestartet, da die Leitung schon im Vorfeld mit einem Betriebsdruck von 0,9 bar entspannt wurde. Der Systemprüfdruck wurde in den Vorgegebenen 10 min aufgebracht. In der folgenden Druckhaltephase wurde der Systemprüfdruck durch kontinuierliches Nachregeln gehalten. In der Ruhephase ist der Druck bis auf 7,37 bar abgefallen. Die **Vorprüfung** war somit **bestanden**, da der gemessene Druckabfall die 20% des Prüfdrucks nicht überstieg.

In der Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 2,0 bar auf 5,37 bar durchgeführt. Die dabei entnommene Wassermenge von 0,93 L lag unter der zulässig berechneten Ablassmenge von 1,06 L. Dadurch ist die **Druckabfallprüfung bestanden**.

In der Hauptprüfung stieg der Druck wie erwartet an und ist nach einem maximal erreichten Druck von 5,85 bar konstant geblieben. Der Enddruck betrug 5,85 bar. Die **Hauptprüfung** war somit **bestanden und die Leitung augenscheinlich dicht**.

Die Dichtheitsprüfung war nach DVGW W 400-2 bestanden (s. Bild 41).

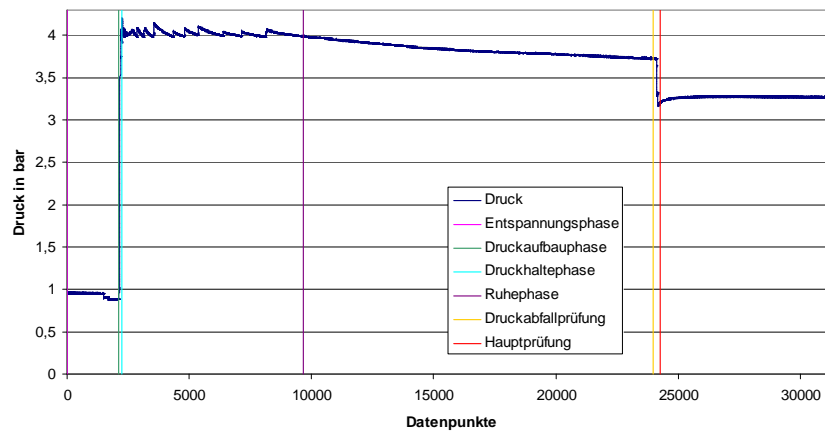


Bild 41 Dichtheitsprüfdiagramm zur Prüfung im Zustand 3 bei einem Systemprüfdruck von 8,0 bar

Versuchsauswertung: Zustand 3 - Systemprüfdruck von 8,0 bar (verkürzte Prüfzeit)

In der Vorprüfung wurde zuerst eine Entspannungsphase von 63 min angesetzt. Danach wurde der Systemprüfdruck von 8,0 bar aufgebracht und in einer 3 min langen Druckhaltephase konstant gehalten. Aufgrund der starken Ausdehnung der Leitung fiel der Druck sehr schnell ab, so dass in sehr kurzen Zeitabständen nachgepumpt werden musste. Der Druck hat danach in einer 6 min Ruhephase stark abgenommen. Die **Vorprüfung** ist dennoch **bestanden**.

In der darauf folgenden Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 1,0 bar auf 6,31 bar durchgeführt. Da die dadurch entnommene Wassermenge von 0,43 L die nach DIN EN 805 berechnete zulässige Ablassmenge von 0,63 L nicht überschritt, war die **Druckabfallprüfung** **bestanden**.

In der Hauptprüfung stieg der Druck wie erwartet an und nahm einen maximalen Wert von 6,43 bar an. Da der Druck einen Endwert von 6,43 bar annahm, fand keine Druckabsenkung statt. Die Versuchsstrecke ist somit dicht und die **Hauptprüfung** **bestanden**.

Die Dichtheitsprüfung war nach DVGW W 400-2 und DIN EN 805 **bestanden** (s. Bild 42).

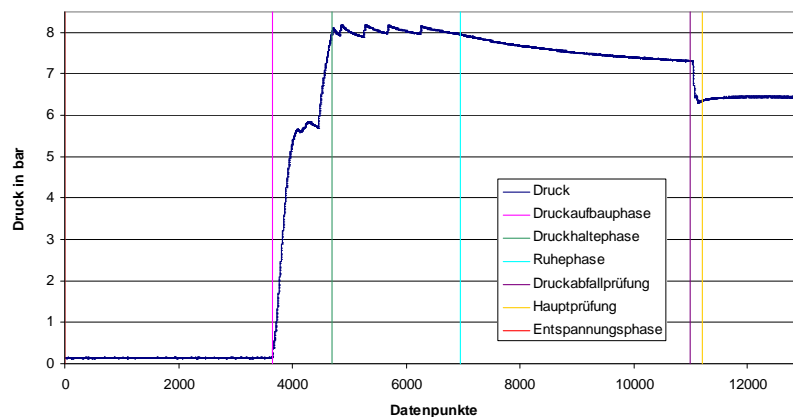


Bild 42 Dichtheitsprüfdiagramm zur Prüfung im Zustand 3 bei einem Systemprüfdruck von 8,0 bar und einer verkürzten Prüfzeit

Versuchsauswertung: Zustand 1 - Systemprüfdruck von 4,0 bar (normale Prüfzeit)

Die Vorprüfung wurde bei einem Betriebsdruck von 0,05 bar mit der Entspannungsphase gestartet. Darauf wurde in den vorgegebenen 10 min der Systemprüfdruck von 4,0 bar aufgebracht und in der Druckhaltephase konstant gehalten. In der Ruhephase ist der Druck bis auf 3,89 bar gefallen. Die **Vorprüfung** war somit **bestanden**, da der gemessene Druckabfall kleiner des zulässigen Druckabfalls war.

In der Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 2,0 bar auf 1,89 bar durchgeführt. Die dabei entnommene Wassermenge von 8 L überstieg die zulässige Ablassmenge von 1,06 L. Somit war die **Druckabfallprüfung nicht bestanden**.

Da die Druckabfallprüfung nicht positiv ausfiel, war die Dichtheitsprüfung nach DVGW W 400-2 nicht bestanden (s. Bild 43). Die Hauptprüfung wurde somit nicht mehr durchgeführt.

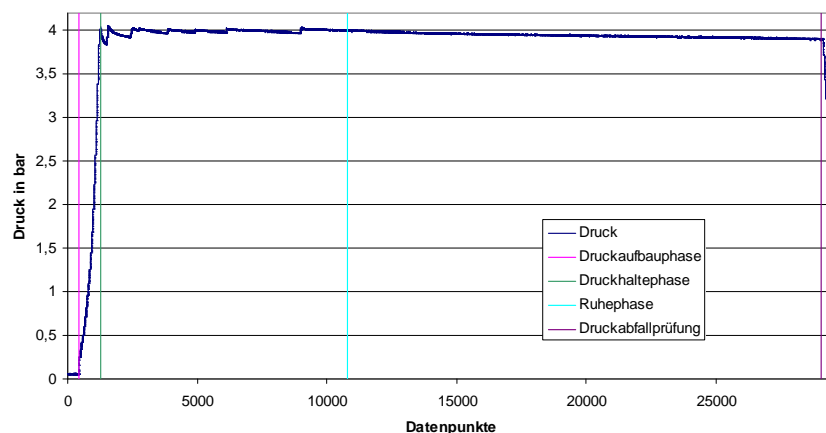


Bild 43 Dichtheitsprüfdiagramm zur Prüfung im Zustand 1 bei einem Systemprüfdruck von 4,0 bar

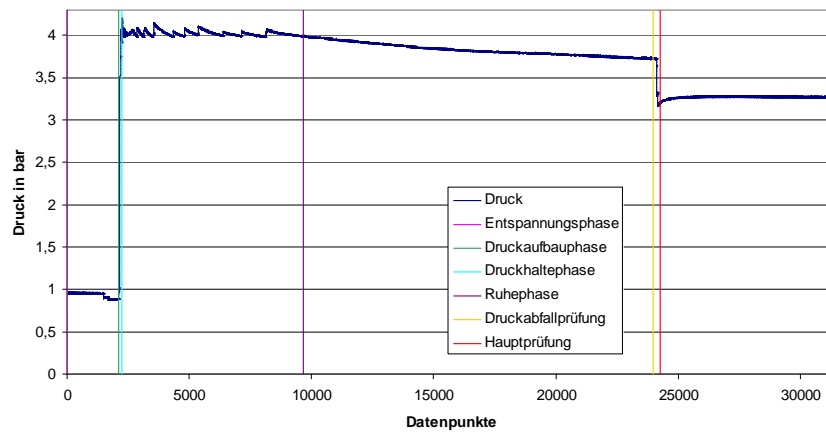
Versuchsauswertung: Zustand 3 - Systemprüfdruck von 4,0 bar (normale Prüfzeit)

Beginnen wurde die Vorprüfung mit der Druckaufbauphase, da die Leitung schon im Vorfeld entspannt wurde. Der Systemprüfdruck wurde in den vorgegebenen 10 min aufgebracht. In der folgenden Druckhaltephase wurde der vorhandene Systemprüfdruck von 4,0 bar durch vereinzelt Nachregeln konstant gehalten. In der Ruhephase ist der Druck bis auf 3,73 bar gefallen. Die **Vorprüfung** war somit **bestanden**, da der gemessene Druckabfall die 20% des Prüfdrucks nicht überstieg.

In der Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 0,53 bar auf 3,2 bar durchgeführt. Die dabei entnommene Wassermenge von 0,3 L entsprach der zulässigen Ablassmenge von 0,33 L. Die zulässige Ablassmenge wurde nach DIN EN 805 berechnet. Dadurch ist die **Druckabfallprüfung bestanden**.

In der Hauptprüfung stieg der Druck wie erwartet an und stagnierte bei einem maximal erreichten Druck von 3,27 bar. Der Enddruck betrug 3,27 bar. Die **Hauptprüfung** war somit **bestanden**.

Die Dichtheitsprüfung war nach DVGW W 400-2 bestanden (s. Bild 44).



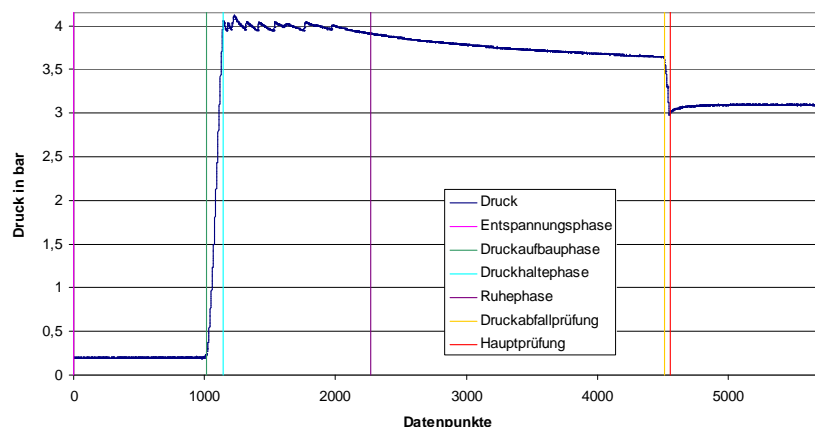
*Bild 44 Dichtheitsprüfendiagramm zur Prüfung im Zustand 3 bei einem Systemprüfdruck von 4,0 bar  
Versuchsauswertung: Zustand 3 - Systemprüfdruck von 4,0 bar (verkürzte Prüfzeit)*

In der Vorprüfung war zunächst eine Entspannungsphase von 60 min vorgesehen. Im Anschluss daran wurde der Systemprüfdruck von 4,0 bar aufgebracht und in der 3 min langen Druckhaltephase konstant gehalten. Um den Druck aufrecht zu erhalten, musste in sehr kurzen Zeitabständen nachgepumpt werden. Der Druck hat schließlich in einer 6 min Ruhephase stark abgenommen. Die **Vorprüfung** ist dennoch **bestanden**.

In der darauf folgenden Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 0,6 bar auf 3,06 bar durchgeführt. Da die dadurch entnommene Wassermenge von 0,3 L die zulässig nach DIN EN 805 berechnete Ablassmenge von 0,4 L nicht überschritt, war die **Druckabfallprüfung** **bestanden**.

In der Hauptprüfung stieg der Druck wie erwartet an und nahm einen maximalen Wert von 3,09 bar an. Da der Druck einen Endwert von 3,09 bar annahm, fand keine Druckabsenkung statt. Die Versuchsstrecke ist somit dicht und die **Hauptprüfung** **bestanden**.

*Die Dichtheitsprüfung war nach DVGW W 400-2 bzw. DIN EN 805 bestanden.*



*Bild 45 Dichtheitsprüfendiagramm zur Prüfung im Zustand 3 bei einem Systemprüfdruck von 4,0 bar  
 und verkürzter Prüfzeit*

Versuchsauswertung: Zustand 1 - Systemprüfdruck von 8,0 bar (Leckage im leeren Bogen)

In diesem Versuch wurde eine Leckage mit einem Durchmesser von 0,8 mm am Hochpunkt des Bogens im zweiten Leitungsabschnitt angeordnet. Aufgrund des hergestellten Zustandes 1 an der Versuchsstrecke befand sich an der präparierten Stelle ein Luftpolster.

Die Vorprüfung wurde bei einem Betriebsdruck von 0,05 bar mit der Entspannungsphase gestartet. Darauf wurde der Systemprüfdruck von 8,0 bar in den vorgegebenen 10 min aufgebracht und in der Druckhaltephase konstant gehalten. Allerdings schwankte schon in dieser Phase der Druck zwischen 8,28 bar und 5,81 bar. In der Ruhephase ist der Druck bis auf 5,6 bar gefallen. Die **Vorprüfung** war somit **nicht bestanden**, da der gemessene Druckabfall größer des zulässigen Druckabfalls war. Innerhalb von nur fünf Minuten ist der Druck um mehr als 30% gefallen.

Da die Vorprüfung nicht positiv ausfiel, war die Dichtheitsprüfung nach DVGW W 400-2 und DIN EN 805 nicht bestanden (s. Bild 46). Die Dichtheitsprüfung wurde somit nicht fortgeführt.

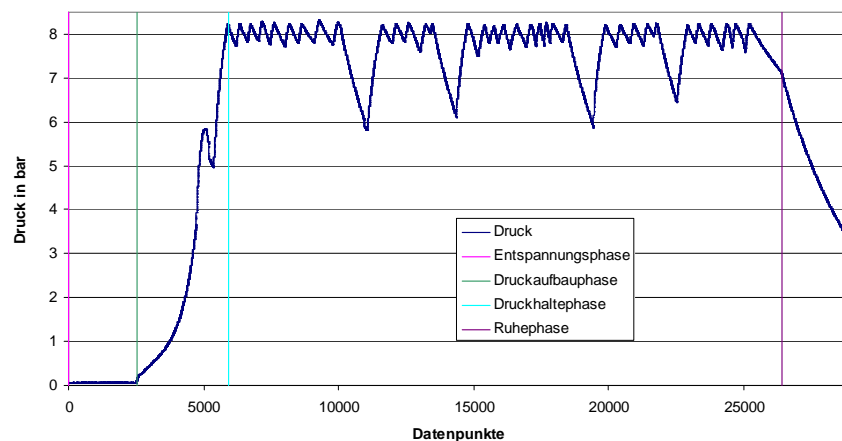


Bild 46 Dichtheitsprüfdiagramm zur Prüfung im Zustand 1 bei einem Systemprüfdruck von 8,0 bar und eingebrachter Leckage im Luftbereich

Versuchsauswertung: Zustand 1 - Systemprüfdruck von 8,0 bar (Leckage im Wasserbereich)

In diesem Versuch wurde eine Leckage mit einem Durchmesser von 0,8 mm im dritten Leitungsabschnitt angeordnet. Aufgrund des hergestellten Zustandes 1 an der Versuchsstrecke war dieser Leitungsabschnitt mit Wasser gefüllt.

Die Vorprüfung wurde bei einem Betriebsdruck von 0,05 bar mit der Entspannungsphase gestartet. Der Systemprüfdruck von 8,0 bar wurde darauf in den vorgegebenen 10 min aufgebracht und in der Druckhaltephase konstant gehalten. Allerdings schwankte schon in dieser Phase der Druck zwischen 8,25 bar und 7,05 bar. In der Ruhephase ist der Druck bis auf 5,5 bar gefallen. Die **Vorprüfung** war somit **nicht bestanden**, da der gemessene Druckabfall größer des zulässigen Druckabfalls war. Innerhalb von nur fünf Minuten ist der Druck um mehr als 30% gefallen.

Da die Vorprüfung nicht positiv ausfiel, war die Dichtheitsprüfung nach DVGW W 400-2 und DIN EN 805 nicht bestanden (s. Bild 47). Die Dichtheitsprüfung wurde somit nicht fortgeführt.

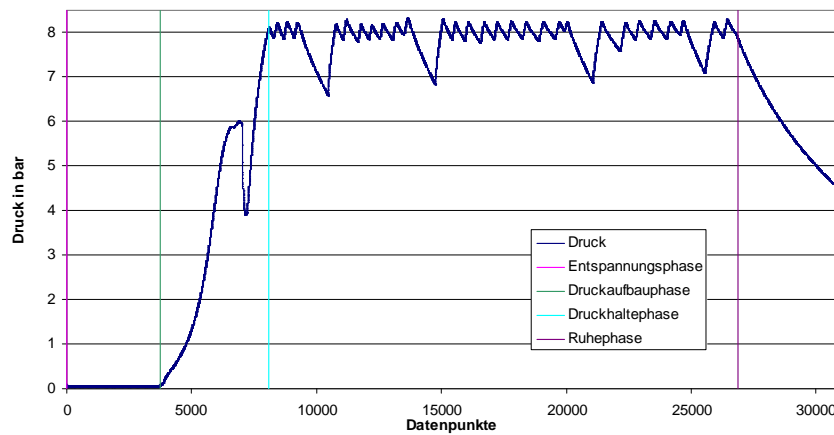


Bild 47 Dichtheitsprüfdiagramm zur Prüfung im Zustand 1 bei einem Systemprüfdruck von 8,0 bar und eingebrachter Leckage im Wasserbereich

Zusammenfassend werden die erzielten Ergebnisse der beschriebenen durchgeführten Versuchsprüfungen in der Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14 Zusammenfassende Ergebnistabelle der Prüfungen durch das IKT

Prüfung	Vorprüfung				Druck- abfall- prüfung	Haupt- prüfung	Prüfergebnis
	Ent- spannung	Druck- aufbau	Druck halten	Ruhe- phase			
Zustand 1 (8 bar)	✓	✓	✓	✓	✗	-	Abbruch nach Norm
Zustand 2 (8 bar)	✓	✓	✓	✓	✗	-	Abbruch nach Norm
Zustand 3 (8 bar)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Prüfung nach Norm
Zustand 3 (8 bar / verkürzt)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Prüfung nach Norm
Zustand 1 (4 bar)	✓	✓	✓	✓	✗	-	Abbruch nach Norm
Zustand 3 (4 bar)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Prüfung nach Norm
Zustand 3 (4 bar / verkürzt)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Prüfung nach Norm
Zustand 1 (8 bar / Leckage bei Luft)	✓	✓	✓	✗	-	-	Abbruch nach Norm
Zustand 1 (8 bar / Leckage bei Wasser)	✓	✓	✓	✗	-	-	Abbruch nach Norm

### 4.3.3.3 Prüfung durch Dienstleister

Für das Forschungsprojekt war lediglich der Aspekt der Durchführbarkeit einer Dichtheitsprüfung bei Abwasserdruckleitungen nach DIN EN 805 oder DVGW W 400-2 wichtig, so dass Firmennamen der Dienstleister nicht weiter erwähnt werden. Somit werden im Folgenden die Prüfergebnisse der Dienstleister A, B, C und D dargestellt. Ein Ziel ist es zu überprüfen, ob Dienstleister die einzelnen Prozessschritte zur Dichtheitsprüfung kennen und diese auch korrekt anwenden können. Darüber hinaus ist zu ergründen, wo Defizite vorliegen bzw. welche Grenzen bei der Durchführung zu erkennen sind.

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

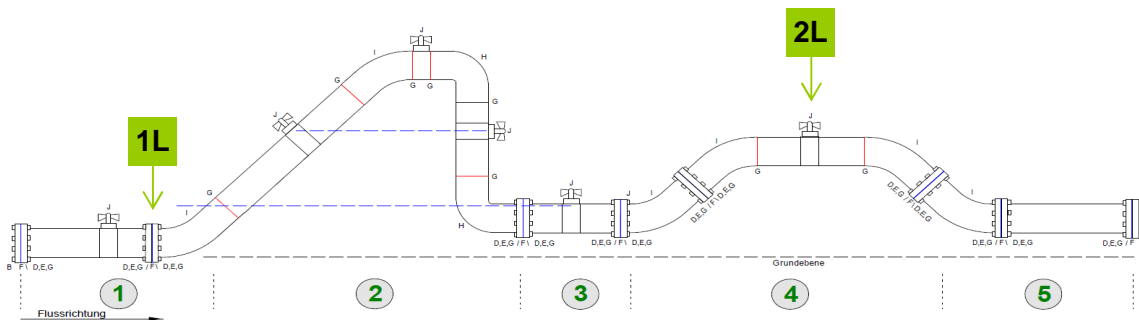


Bild 48 Versuchsstrecke mit 2 Leckagen

#### 4.3.3.3.1 Dienstleister A



Bild 49 Messkoffer (links), Membranpumpe (rechts)

#### Versuchsaufbau

Am Blindflansch wurde am Zulauf  $T_p$  eine T-Verbindung montiert, welche Anschlüsse für zwei Schläuche und ein Kabel besitzt. Das Kabel führte zum Messkoffer (s. Bild 49 links), ein Schlauch diente zum Ablassen des Wassers und ein Schlauch führte zur Membranpumpe (s. Bild 49 rechts). Der Kompressor und die Wasserzufuhr wurden an die Membranpumpe angeschlossen.

#### Versuchsdurchführung

Das Programm für eine Kontraktionsprüfung einer PE-Leitung wurde im Messkoffer geladen und wesentliche Informationen wie die Leitungslänge von 27 m und der zu fahrende Systemprüfdruck von 8 bar eingegeben. Bei beiden Prüfungen wurde über die Membranpumpe der Druck manuell mit Hilfe eines Ventils erhöht, indem Wasser in die Druckleitung gepumpt wurde. In der Druckhaltephase wurde der Druck in einer Zeitspanne von 30 Minuten durch Nachpumpen von Wasser auf 8 bar konstant gehalten. Nach Verstreichen der Ruhephase wurde durch Ablassen des Wassers an der Leitung über einen Schlauch ein Druckabfall von 2 bar realisiert. Um die abgelassene Wassermenge festzuhalten, wurde ein digitaler Wasserzähler verwendet. Ein Vergleich und eine Bewertung der zu bestehenden Druckabfallprüfung fanden durch Eingabe der Wassermenge in den Messkoffer statt, welche automatisch mit der zulässigen abzulassenden Wassermenge verglichen wurde. Der Verlauf der Druckentwicklung wurde über die ganze Prüfzeit auf einer Papierrolle vom Druckmesskörper grafisch aufgezeichnet, so dass im Anschluss die Software die Prüfung automatisch auswertete und als bestanden oder nicht bestanden darstellte.

#### Versuchsauswertung

Für die erste Dichtheitsprüfung wurde der **Zustand 1** an der Versuchsstrecke eingestellt. Die Vorprüfung wurde direkt mit der Druckaufbauphase gestartet, da die Leitung schon im Vorfeld entspannt wurde. Der Systemprüfdruck wurde in den vorgegebenen 10 min aufgebracht. In der folgenden Druckhaltephase wurde der vorhandene Druck auf 7,95 bar bis 8,15 bar

durch kontinuierliches Nachregeln gehalten. In der Ruhephase ist der Druck bis auf 6,92 bar abgefallen. Die **Vorprüfung** war somit **bestanden**, da der gemessene Druckabfall die 20% des Prüfdrucks nicht überstieg.

In der Druckabfallprüfung sollte durch den Prüfer der nach DIN EN 805 berechnete Druck um 1,9 bar gesenkt werden. Durch einen Eingabefehler des Wertes im Druckmesskörper wurde allerdings der Druck um 2,44 bar auf 4,48 bar gesenkt. Durch diesen Vorgang war die gemessene abgelassene Wassermenge größer als die zulässige Wassermenge. Dadurch ist die **Druckabfallprüfung nicht bestanden**.

In der Hauptprüfung stieg der Druck an und ist nach einem maximal erreichten Druck von 4,88 bar wieder leicht gefallen. Der Enddruck betrug 4,84 bar. Die **Hauptprüfung** war somit laut Dienstleister A **bestanden und die Leitung nach Angaben des Mitarbeiters dicht**.

*Da die Druckabfallprüfung jedoch nicht positiv ausfiel, war die Dichtheitsprüfung nach DIN EN 805 nicht bestanden. Aufgrund der falschen Eingabe sowie nicht bestandener Druckabfallprüfung steht auf dem Messprotokoll, dass die Messung ungültig ist. Allerdings war laut Dienstleister nicht abzuschätzen, ob dieses Ergebnis nur aufgrund der fehlerhaften Eingabe zustande kam. Ebenso bleibt festzuhalten, dass Dienstleister A eine **fehlerhafte Prüfung durchgeführt hat**.*

Somit wurde nach dem Prüfprogramm der **Zustand 2** der Versuchsstrecke eingestellt.

Nun wurde die Vorprüfung mit der Entspannungsphase bei einem Druck von 0 bar gestartet. Der nun innerhalb von 10 min aufzubringende Systemprüfdruck von 8 bar konnte nicht aufgebracht werden. Dies lag an einem versuchsweise geöffneten Ventil, um eine Leckage darzustellen. Nach 6 min wurde das Ventil wieder geschlossen, der Systemprüfdruck hergestellt und in der Druckhaltephase konstant gehalten. In der Ruhephase ist der Druck relativ gering abgefallen und hat einen Wert von 7,12 bar angenommen. Dieser liegt im Tolleranzbereich und führte zu einer **bestandenen Vorprüfung**.

In der darauf folgenden Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 1,95 bar auf 5,17 bar durchgeführt. Da die dadurch entnommene Wassermenge von 2,55 L die zulässige Ablassmenge von 1,06 L überschritt, war die **Druckabfallprüfung nicht bestanden**.

In der Hauptprüfung stieg der Druck an, fiel jedoch am Ende der Prüfung wieder leicht ab. Laut Dienstleister war die **Hauptprüfung bestanden**, da der leichte Druckabfall nicht identifiziert werden konnte.

*Da auch hier die Druckabfallprüfung bereits negativ ausfiel, war die Dichtheitsprüfung nicht bestanden. Eine konkrete Aussage bzgl. der Dichtheit der Leitung konnte dementsprechend nicht gemacht werden. Ebenso bleibt festzuhalten, dass Dienstleister A auch in diesem Fall eine **fehlerhafte Prüfung durchgeführt hat**.*

### **Qualitative Bewertung der Prüfungsdurchführung**

Augenscheinlich handelte es sich um eine veraltete Verfahrenstechnik. Insgesamt war es schwierig, die einzelnen grafischen Druckkurven zu erkennen und dazu noch genau zu interpretieren, da der Maßstab nicht ideal einzustellen war.

Zusätzlich wurde die Wasserentnahme im Zuge der Druckabfallprüfung nicht korrekt durchgeführt. Der Druck wurde aufgrund falscher Interpretation der Regelwerke zu stark abgelassen, so dass die Wasserentnahme zu einem falschen Ergebnis führte. Dieser Umstand wurde aber nicht erkannt, so dass die Prüfungen, die eigentlich hätten abgebrochen werden müssen, weiter durchgeführt wurden. Insgesamt wurde die Wasserentnahme mit einfachsten Mitteln durchgeführt, indem eine Person den Druck reduziert hat und eine andere Person das Wasser mit Hilfe eines klassischen Messbechers aufgefangen hat.

Schließlich bleibt auch festzuhalten, dass Dienstleister A insgesamt die (ungewollte) Undichtheit der Leitung nicht festgestellt hat, so dass er **fehlerhafte Prüfungen durchgeführt hat**.

#### 4.3.3.3.2 Dienstleister B

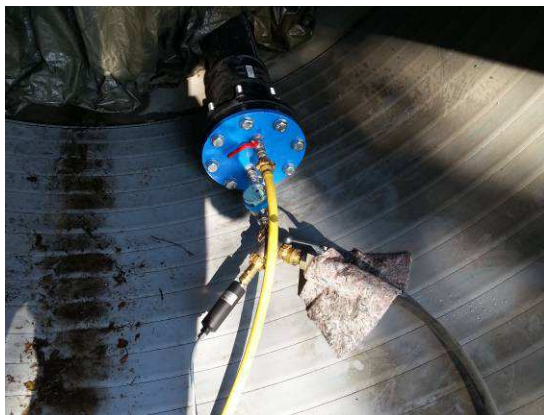


Bild 50 Blindflansch mit montiertem Drucksensor, Ablauf und Zulauf (links), Prüffahrzeug (rechts)

#### Versuchsaufbau

Am Blindflansch wurde am Zulauf  $T_p$  eine T-Verbindung montiert, an dem der Zulaufschlauch und der Drucksensor angeschlossen wurden (s. Bild 50 links). Ein weiterer Schlauch wurde zur Drucksenkung am Ventil 1 mit der Geka-Kupplung verbunden. Der Druck konnte über eine Kabelverbindung am Prüffahrzeug ausgewertet werden (s. Bild 50 rechts). Analog zum Druck war es möglich die zuzugebende Wassermenge über die im Anhänger befindliche Pumpe auszulesen.

#### Versuchsdurchführung

Das Prüfprogramm wurde im PC geladen und wesentliche Informationen wie Leitungslänge, Systemprüfdruck und Prüfzeiten eingegeben. Allerdings differenzierte das Programm nicht zwischen Stahl-, AZ-, PE-, Guss- oder PVC-Leitungen. Über die Wasserpumpe im Anhänger wurde der Druck manuell mit Hilfe des Ventils gesteuert, indem Wasser in die Druckleitung gepumpt wurde. In der Druckhaltephase wurde der Druck auf 8 bar erhöht und in einer Zeitspanne von 30 Minuten durch Nachpumpen von Wasser auf 8 bar konstant gehalten. Ein Prüfer saß im Wagen und verfolgte die Druckentwicklung auf dem PC, so dass er dem 2. Prüfer über Funk mitteilte, wann das Ventil geöffnet und geschlossen werden sollte. In der

Ruhephase wurde die Wasserpumpe abgestellt, so dass der Druck abfallen konnte. Durch Ablassen des Wassers der Druckrohrleitung über einen Schlauch wurde der Druckabfall realisiert. Um die abgelassene Wassermenge festzuhalten, wurde ein Messbecher verwendet. Der Druckverlauf wurde auf dem PC dargestellt und dokumentiert. Da hier aber kein Auswerteprogramm für eine genormte Kontraktionsprüfung verfügbar war, entschied der Prüfer anhand der Messdaten nach eigenem Ermessen, ob die Dichtheitsprüfung bestanden oder nicht bestanden war.

### Versuchsauswertung

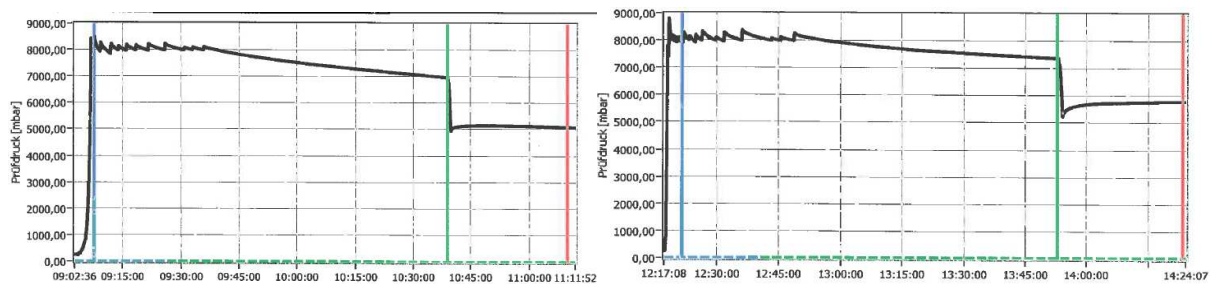


Bild 51 Ergebnisdiagramme der Dichtheitsprüfungen für den Zustand 1 (links) und Zustand 3 (rechts)

Für die erste Dichtheitsprüfung wurde der **Zustand 1** an der Versuchsstrecke eingestellt.

Die Vorprüfung wurde mit der Druckaufbauphase gestartet, da die Leitung schon im Vorfeld entspannt worden war. Der Systemprüfdruck wurde in den vorgegebenen 10 min aufgebaut und in der Druckhaltephase kontinuierlich auf 8 bar gehalten. In der Ruhephase ist der Druck bis auf 6,96 bar abgefallen. Die **Vorprüfung** war somit **bestanden**, da der gemessene Druckabfall die 20% des Prüfdrucks nicht überstieg.

In der Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung von 2,06 bar auf 4,90 bar durchgeführt. Die dabei entnommene Wassermenge von 2,04 L überstieg allerdings die zulässige Ablassmenge von 1,06 L. Zudem durfte nur eine maximale Druckabsenkung um 10-15% vom Systemprüfdruck erfolgen, da dieser Dienstleister nach der DIN EN 805 geprüft hat. Dadurch ist die **Druckabfallprüfung nicht bestanden**.

In der Hauptprüfung stieg der Druck an und ist nach einem maximal erreichten Druck von 5,15 bar wieder leicht gefallen. Der Enddruck betrug 5,08 bar. Die **Hauptprüfung** war somit laut Dienstleister B **bestanden**, so dass die **Dichtheit der Leitung bestimmt werden konnte**.

*Da insgesamt jedoch die Druckabfallprüfung nicht positiv ausfiel, wäre die Dichtheitsprüfung nicht bestanden (s. Bild 51 links), so dass die gesamte Prüfung hätte abgebrochen werden müssen. Ebenso bleibt festzuhalten, dass Dienstleister B eine fehlerhafte Prüfung durchgeführt hat.*

Schließlich wurde anhand des Prüfprogramms der **Zustand 3** der Versuchsstrecke hergestellt. Nun wurde die Vorprüfung mit der Entspannungsphase bei einem Druck von 0,2 bar gestartet. Der nun innerhalb von 10 min aufzubringende Systemprüfdruck von 8 bar wurde

erreicht und in der Druckhaltephase konstant gehalten. In der Ruhephase fiel der Druck relativ gering ab und nahm einen Wert von 7,37 bar an. Dieser lag im Tolleranzbereich und führte zu einer **bestandenem Vorprüfung**.

In der darauf folgenden Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 2,1 bar auf 5,27 bar ermöglicht. Da die dadurch entnommene Wassermenge von 1,2 L die zulässige Ablassmenge von 1,06 L überschritt, war die Druckabfallprüfung nach DIN EN 805 nicht bestanden. Nach DVWG W 400-2 wäre jedoch die **Druckabfallprüfung bestanden**, da die entnommene Wassermenge die zulässige Ablassmenge nicht überschritten hat.

In der Hauptprüfung stieg der Druck wie erwartet an und blieb am Ende konstant. Laut Dienstleister war die **Hauptprüfung bestanden und die Leitung somit dicht**.

*Die Dichtheitsprüfung wurde zwar nach DVGW W 400-2 als bestanden gekennzeichnet, entsprach aber nicht der vom Dienstleister ausgeführten Prüfung nach DIN EN 805 (s. Bild 51 rechts). Ebenso bleibt auch hier festzuhalten, dass Dienstleister B eine **fehlerhafte Prüfung durchgeführt hat**.*

### Qualitative Bewertung der Prüfungsdurchführung

Auf dem ersten Blick machte die gesamte Prüftechnik einen sehr guten Eindruck. Ab dem Beginn der Prüfung konnte man erste Schwierigkeiten bei den Prüfern erkennen. Die Druckregulierung gestaltete sich dabei als äußerst kompliziert, da eine Person im Wagen den Druck beobachtete, während die andere Person ca. 10 Meter entfernt direkt an der Druckleitung den Druck manuell regulierte. Das Problem dabei war, dass die notwendige Kommunikation zu zeitlichen Verzögerungen in der Druckregulierung führte. Somit war eine genaue und exakte Prüfung nicht möglich.

Schwierig erwies sich die Interpretation der Druckkurven, da die grafische Einrichtung für sehr feine und genaue Kurven nicht geeignet war. Folglich konnten kleinere Druckschwankungen, die evtl. einen Abbruch der Prüfung zur Folge hätten, nicht erkannt werden. Aus diesem Grund konnten keine zufriedenstellenden Aussagen getroffen werden. Zusätzlich wurde die Wasserentnahme im Zuge der Druckabfallprüfung nicht korrekt durchgeführt. Der Druck wurde aufgrund falscher Interpretation der Regelwerke zu stark abgelassen, so dass die Wasserentnahme zu einem falschen Ergebnis führte. Dieser Umstand wurde aber nicht erkannt, so dass die Prüfungen, die eigentlich hätten abgebrochen werden müssen, weiter durchgeführt wurden.

Des Weiteren konnten die Ergebnisse durch die Prüfer nicht korrekt interpretiert werden. Insgesamt war den Prüfern nicht klar, was die einzelnen Kurven bedeuten. Ebenso wurde erkannt, dass die Prüfer teilweise beide Regelwerke in Kombination genutzt haben, wobei eine Vermischung zu unplausiblen Ergebnissen und Interpretationen führt. Worin der genaue Unterschied der beiden Regelwerke besteht, war den Prüfern nicht bekannt.

Auch wurde dem IKT mitgeteilt, dass spezielle Prüfungen, wie Detektion der Luft oder die Bedeutung der Luft einschlüsse usw., nicht genau bekannt sind. Insgesamt werden laut Prüfern keine Prüfungen nach Regelwerk, sondern nach Vorgaben der Netzbetreiber durchge-

führt. Hier stellt sich die Frage, welche Vorgaben genau gemacht werden und wie groß die Aussagekraft dieser Vorgaben ist.

Schließlich bleibt festzuhalten, dass Dienstleister B insgesamt die (ungewollte) Undichtheit der Leitung nicht festgestellt hat, so dass er **fehlerhafte Prüfungen durchgeführt hat**.

#### 4.3.3.3 Dienstleister C



Bild 52 Blindflansch mit montiertem Drucksensor und Zu-/Ablauf (links), Steuer- und Auswerteeinheit (rechts)

#### Versuchsaufbau

Von der auf dem Prüffahrzeug installierten Regeleinheit führte ein Schlauch an den Zulauf am Blindflansch (s. Bild 52 rechts). Über diesen wurde die Wasserzufuhr und –abnahme gesteuert. An dem oberen Anschluss des Blindflansches konnte der Druck über einen Drucksensor gemessen werden (s. Bild 52 links). Die Daten wurden über ein Datenkabel zum Steuergerät weitergeleitet. An diesem konnte die Dichtheitsprüfung durchgeführt werden. Das Programm läuft automatisch ab und wertet direkt die gemessenen Daten aus. Parallel zur Druckmessung konnte auch die Außentemperatur gemessen werden.

#### Versuchsdurchführung

Das Programm für eine Kontraktionsprüfung einer PE-Leitung wurde im Steuergerät geladen und Informationen über die Teststrecke wie z.B. Leitungslänge, Wanddicke oder Materialbezeichnung sowie der E-Modul eingegeben. Die Regeleinheit besitzt diverse Sensoren und gibt jede Information an das Steuergerät weiter. Aufgrund der verwendeten modernen Technik kann die Prüfung fast vollkommen automatisch ablaufen. Es muss lediglich die Pumpe vor der Druckaufbauphase eingeschaltet und nach der Druckhaltephase wieder abgeschaltet werden. Das Steuergerät stellte über die gesamte Prüfzeit die Druckentwicklung grafisch dar. In der Druckaufbauphase baute die Wasserpumpe den Druck auf, bis die Regeleinheit den Systemprüfdruck von 8 bar registriert und den Pumpvorgang beendet. In der Druckhaltephase wurde der Druck durch Nachpumpen von Wasser auf 8 bar konstant gehalten. Die Regeleinheit öffnete und schloss das Ventil automatisch zur Wasserpumpe. Die Software wer-

tete die Vorprüfung aus und stellte die Auswertung auf dem Steuergerät dar. Erst nach bestandener Vorprüfung konnte die Prüfung in die Druckabfallprüfung übergehen. Der nun zu realisierende Druckabfall wurde durch die Regeleinheit durchgeführt, so dass sich ein Druck von 6 bar einstellte. Die Software verglich die abgelassene mit der zulässigen Wassermenge und gab Auskunft über die Druckabfallprüfung. Nach Abschluss der Hauptprüfung bzw. erweiterten Hauptprüfung wertete die Software die Prüfung aus und erstellte eine PDF-Datei mit den Prüfergebnissen.

### Versuchsergebnisse bei einem Systemprüfdruck von 8 bar am Zustand 1

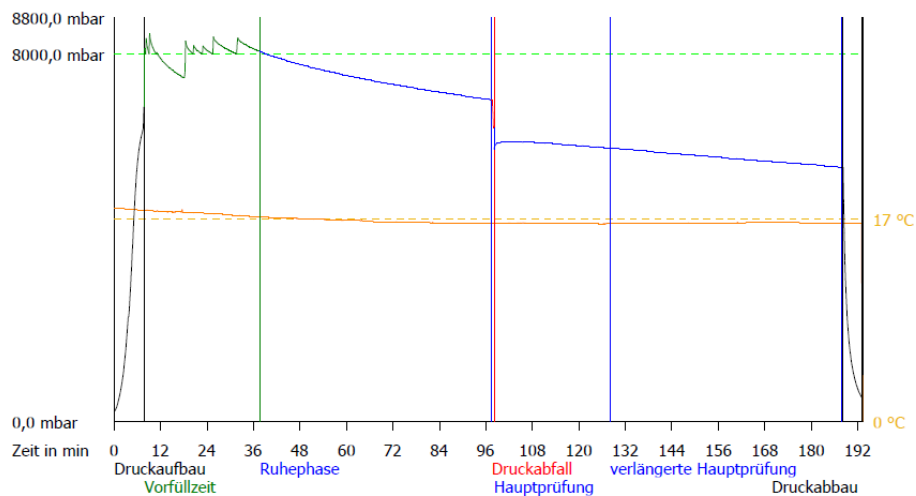


Bild 53 Zustand 1: Darstellung der Dichtheitsprüfung

Für die erste Dichtheitsprüfung wurde der **Zustand 1** an der Versuchsstrecke eingestellt. Die Prüfungen wurden durch den Dienstleister nach DIN EN 805 mit einem Systemprüfdruck von 8 bar durchgeführt.

Die Vorprüfung wurde mit der Druckaufbauphase gestartet, da die Leitung schon im Vorfeld entspannt worden war. Der Systemprüfdruck wurde in den vorgegebenen 10 min aufgebracht und in der Druckhaltephase kontinuierlich auf 8 bar gehalten. In der Ruhephase fiel der Druck bis auf 7 bar ab. Die **Vorprüfung** war somit **bestanden**, da der gemessene Druckabfall kleiner des zulässig berechneten Druckabfalls nach DIN EN 805 war.

In der Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 1,11 bar auf 5,89 bar durchgeführt. Die dabei entnommene Wassermenge von 0,84 L überstieg nicht die zulässige Ablassmenge von 1,24 L. Dadurch ist die **Druckabfallprüfung bestanden**.

In der Hauptprüfung stieg der Druck wie erwartet an und ist nach einem maximal erreichten Druck von 6,1 bar wieder gefallen. Dies wies eindeutig auf **undichte** Stellen in der Versuchsstrecke hin. Die Hauptprüfung musste verlängert werden, um eine eindeutige Aussage über die Dichtheit treffen zu können. Da der Druck auch in der Hauptprüfung sehr stark fiel, war die **Hauptprüfung nicht bestanden**, wodurch die bereits erwähnte Unichtheit der Leitung festgestellt wurde.

Die Luft wurde in der Leitung nicht erkannt, wohingegen die Leckage eindeutig festgestellt wurde. Dadurch war die Dichtheitsprüfung nicht bestanden (s. Bild 53). Dienstleister C hat jedoch insgesamt **eine fehlerfreie Prüfung nach Norm durchgeführt**.

Versuchsergebnisse bei einem Systemprüfdruck von 8 bar am Zustand 3 (verkürzte Prüfzeit)

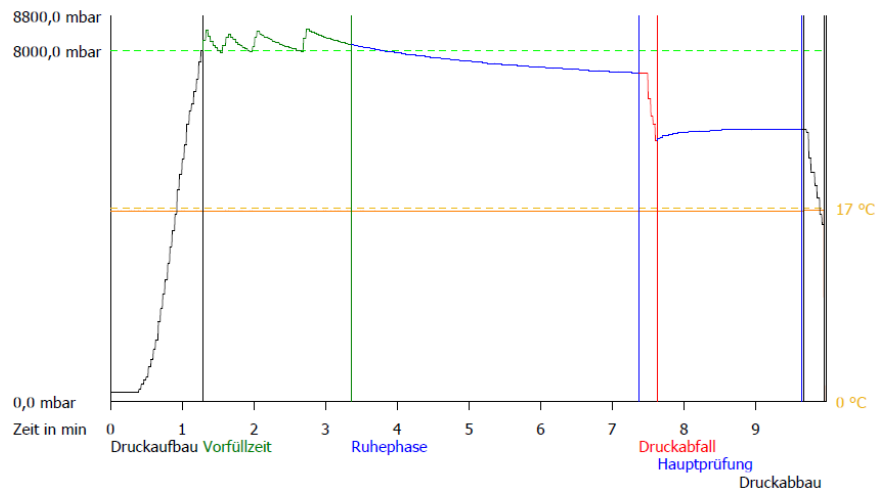


Bild 54 Zustand 3: Darstellung der Dichtheitsprüfung mit einer verkürzten Prüfzeit

Nach Beseitigung der undichten Stellen an der Versuchsstrecke wurde der **Zustand 3** hergestellt. Zur Überprüfung, ob noch weitere Leckagen vorhanden sind, wurde die gesamte Kontraktionsprüfung **auf 20 min verkürzt**.

In der Vorprüfung wurde als erstes eine Entspannungsphase von 10 min durchgeführt. Danach wurde der Systemprüfdruck von 8 bar aufgebracht und in der 2 min langen Druckhaltephase konstant gehalten. Aufgrund der starken Ausdehnung der Leitung fiel der Druck sehr schnell ab, so dass in sehr kurzen Zeitabständen nachgepumpt werden musste. Der Druck hat danach in einer 4 min Ruhephase stark abgenommen, da die Anfangsdehnung der Leitung gerade zu Beginn am größten ist. Die **Vorprüfung** ist dennoch **bestanden**.

In der darauf folgenden Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 1,54 bar auf 5,95 bar durchgeführt. Da die dadurch entnommene Wassermenge von 0,72 L die zulässige Ablassmenge von 1,19 L nicht überschritt, war die **Druckabfallprüfung** nach DVWG W 400-2 **bestanden**. Nach DIN EN 805 wäre die Druckabfallprüfung unzulässig, da nur eine Druckabsenkung um 10-15% erfolgen darf. Diese wurde nicht eingehalten.

In der verkürzten Hauptprüfung stieg der Druck an und nahm einen maximalen Wert von 6,21 bar an, verlief aber verhältnismäßig langsamer als bei einer normalen Hauptprüfung von 30 min. Da der Druck einen Endwert von 6,21 bar annahm, fand keine Druckabsenkung statt. Die Versuchsstrecke ist somit dicht und die **Hauptprüfung** **bestanden**.

*Die Dichtheitsprüfung wurde trotz höherer Druckabsenkung als bestanden gekennzeichnet, da in dieser Prüfung die Dichtheit der Leitung im Vordergrund stand und diese erst nach der*

Hauptprüfung erkannt wurde (s. Bild 54). Dienstleister C hat jedoch insgesamt **eine fehlerfreie Prüfung nach Norm durchgeführt**.

### Versuchsergebnisse bei einem Systemprüfdruck von 8 bar am Zustand 3

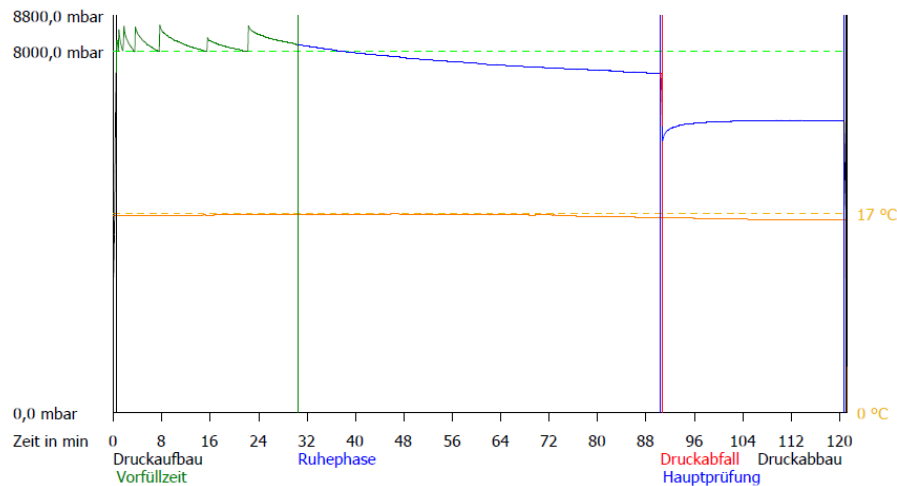


Bild 55 Zustand 3: Darstellung der Dichtheitsprüfung mit einer normaler Prüfzeit

Die verkürzte Kontraktionsprüfung von 20 min wurde zu Testzwecken eingesetzt. Nachfolgend wurden im gleichen **Zustand 3** der Versuchsstrecke die Ergebnisse mit einer Kontraktionsprüfung nach Norm kontrolliert.

In der Vorprüfung wurde die Entspannungsphase bei einem Druck von 2,9 bar gestartet, aber deutlich auf 15 min verkürzt, um die Auswirkungen zu beobachten. Der nun innerhalb von 10 min aufzubringende Systemprüfdruck von 8 bar wurde aufgebracht und in der Druckhaltephase konstant gehalten. In der Ruhephase ist der Druck relativ gering abgefallen und nahm einen Wert von 7,52 bar an. Dieser lag im vorgegebenen Toleranzbereich und führte zur einen **bestandenem Vorprüfung**.

In der darauf folgenden Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 1,54 bar auf 5,97 bar durchgeführt. Da die dadurch entnommene Wassermenge von 0,73 L die zulässige Ablassmenge von 1,73 L nicht überschritt, war die **Druckabfallprüfung** nach DVWG W 400-2 **bestanden**. Nach DIN EN 805 wäre die Druckabfallprüfung unzulässig, da nur eine Druckabsenkung um 10-15% erfolgen darf, was nicht eingehalten wurde.

In der Hauptprüfung stieg der Druck auf einen maximalen Wert von 6,47 bar wie erwartet an und blieb am Ende konstant. Laut Dienstleister war die **Hauptprüfung bestanden**.

*Die Dichtheitsprüfung war bestanden, aber der Prüfablauf entsprach nicht einwandfrei der DIN EN 805. Im Vergleich zur vorgehenden Prüfung stellten sich keine Änderungen ein, so dass das Ergebnis der verkürzten Prüfung bestätigt werden konnte (s. Bild 55). Dienstleister C hat jedoch insgesamt **eine fehlerfreie Prüfung nach Norm durchgeführt**.*

### Versuchsergebnisse bei einem Systemprüfdruck von 4 bar am Zustand 3

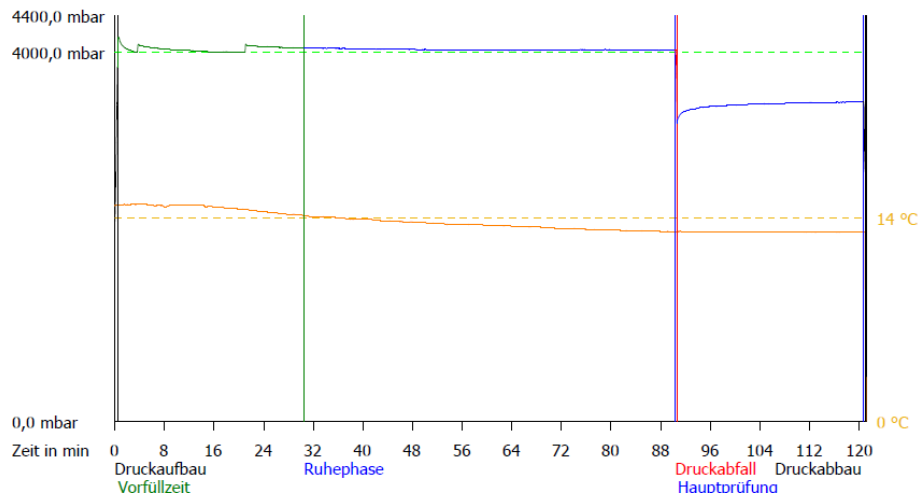


Bild 56 Zustand 3: Darstellung der Dichtheitsprüfung

Für die erste Dichtheitsprüfung wurde an der Versuchsstrecke der **Zustand 3** eingestellt. Die Prüfungen wurden durch den Dienstleister nach DIN EN 805 mit einem Systemprüfdruck von 4 bar durchgeführt.

Die Vorprüfung startete mit der Druckaufbauphase, da die Leitung schon im Vorfeld entspannt wurde. Der Betriebsdruck betrug 2,1 bar. Der Systemprüfdruck wurde in den Vorgegebenen 10 min aufgebracht und in der Druckhaltephase kontinuierlich auf 4 bar gehalten. Da die Leitung unter Betriebsdruck entspannt und die Pumpe noch nicht gedrosselt wurde, sowie die Leitung bereits ausgedehnt war, wurde nur zwei Mal nachgepumpt. In der Ruhephase fiel der Druck bis auf 4,02 bar ab. Die **Vorprüfung** war somit **bestanden**, da der gemessene Druckabfall kleiner des zulässigen Druckabfalls war.

In der Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 0,78 bar auf 3,24 bar durchgeführt. Die dabei entnommene Wassermenge von 0,41 L überstieg nicht die zulässige Ablassmenge von 0,88 L. Somit war die **Druckabfallprüfung** nach DVWG W 400-2 **bestanden**. Nach DIN EN 805 wäre die Druckabfallprüfung unzulässig, da nur eine Druckabsenkung um 10-15% erfolgen darf, was nicht eingehalten wurde.

In der Hauptprüfung stieg der Druck wie erwartet an und ist nach einem maximal erreichten Druck von 3,46 bar stagniert. Laut Dienstleister war die **Hauptprüfung bestanden**.

*Die Dichtheitsprüfung war bestanden, aber der Prüfablauf entsprach nicht einwandfrei der DIN EN 805 (s. Bild 56). Dienstleister C hat jedoch insgesamt **eine fehlerfreie Prüfung nach Norm durchgeführt**.*

### Versuchsergebnisse bei einem Systemprüfdruck von 4 bar am Zustand 1

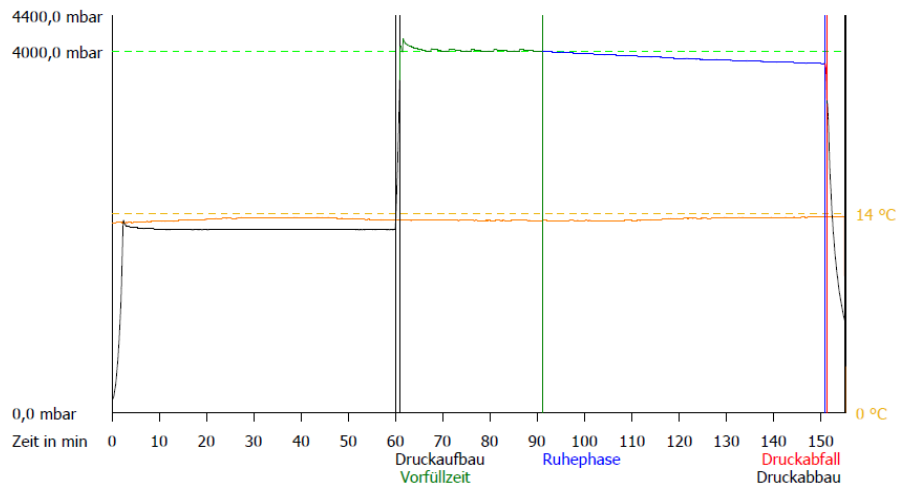


Bild 57 Zustand 1: Darstellung der Dichtheitsprüfung

Für die zweite Dichtheitsprüfung wurde der **Zustand 1** an der Versuchsstrecke eingestellt.

Die Vorprüfung startete mit der Entspannungsphase bei einem Betriebsdruck von 2,03 bar. Darauf wurde der Systemprüfdruck von 4 bar in den vorgegebenen 10 min aufgebracht und in der Druckhaltephase konstant gehalten. In der Ruhephase ist der Druck bis auf 3,87 bar gefallen. Die **Vorprüfung** war somit **bestanden**, da der gemessene Druckabfall kleiner des zulässigen Druckabfalls war.

In der Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 0,47 bar auf 3,39 bar durchgeführt. Die dabei entnommene Wassermenge von 0,81 L überstieg die zulässige Ablassmenge von 0,53 L. Somit war die **Druckabfallprüfung nicht bestanden**.

*Die Dichtheitsprüfung wurde nach der Druckabfallprüfung **normgerecht** abgebrochen, da sich laut Dienstleister zu viel Luft in der Leitung befand. Somit war die Dichtheitsprüfung nicht bestanden (s. Bild 57).*

Versuchsergebnisse bei einem Systemprüfdruck von 4 bar am Zustand 1 (verkürzte Prüfzeit)

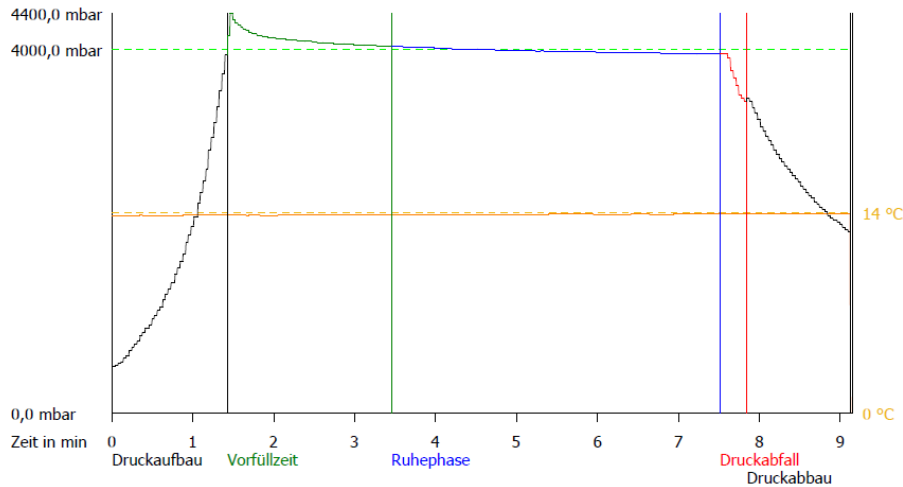


Bild 58 Zustand 1: Darstellung der verkürzten Dichtheitsprüfung

Um zu überprüfen, ob sich noch Luftpolster in der Versuchsstrecke befinden, wurde eine verkürzte Dichtheitsprüfung von 17,43 min durchgeführt. Bestandteil dieses Versuches war die Messung der abgelassenen Wassermenge in der Druckabfallprüfung. Diese sollte mit der abgelassenen Wassermenge bei einer Dichtheitsprüfung nach Norm verglichen werden um eine Aussage darüber zu bekommen, ob eine verkürzte Dichtheitsprüfung ausreicht, die Luftfreiheit der zu prüfenden Strecke zu bestimmen.

Dazu wurde ein Betriebsdruck von 0,5 bar im **Zustand 1** aufgebaut. In der Vorprüfung fand eine kurze Entspannungsphase statt, bevor der Systemprüfdruck von 4 bar aufgebracht wurde. Dieser wurde in der Druckhaltephase konstant gehalten. Die Ruhephase brachte daraufhin aufgrund der vorgedehnten Leitung nur einen minimalen Druckabfall mit sich. Somit war die **Vorprüfung bestanden**.

In der Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 0,52 bar auf 3,43 bar durchgeführt. Die dabei entnommene Wassermenge von 0,85 L überstieg die zulässige Ablassmenge von 0,4 L. Somit war die **Druckabfallprüfung nicht bestanden**.

Die Dichtheitsprüfung wurde nach der Druckabfallprüfung **normgerecht** abgebrochen, da sich laut Dienstleister zu viel Luft in der Leitung befand (s. Bild 58). Somit war die Dichtheitsprüfung nicht bestanden (s. Bild 57). Allerdings konnten die Wassermengen der letzten beiden Versuche verglichen werden. Dabei fiel auf, dass trotz verkürzter Prüfzeit die abgelassene Wassermenge nahezu identisch waren. Es lag eine Differenz von 0,04 L vor.

### Qualitative Bewertung der Prüfungsdurchführung

Der Prüfer erwies sich als äußerst professionell. Dies ist auch dem Umstand geschuldet, dass der Prüfer auch für die Entwicklung der Messtechnik zuständig war. Sämtliche Geräte entsprachen dem aktuellsten Stand der Technik, die allesamt voll automatisiert funktionier-

ten. Der Prüfer war im Umgang mit den Normen hervorragend ausgebildet, so dass eine Interpretation der einzelnen Druckkurven möglich war.

In Zuge eines Interviews hat der Prüfer dem IKT mitgeteilt, dass aus seiner eigenen Erfahrung klassische Prüfdienstleister keine ausreichenden Kenntnisse im Umgang mit Druckprüfungen haben. Der Prüfer meinte, dass für eine zufriedenstellende Druckprüfung folgende Kenntnisse zwingend notwendig sind:

- *Materialkunde/Baustoffkunde*
- *Hydraulische Kenntnisse*
- *Regelwerke*
- *Verfahrenstechnische Kenntnisse im Umgang mit Messtechnik*
- *Sicherheitskenntnisse im Umgang mit Druckleitungen*

#### 4.3.3.4 Dienstleister D



*Bild 59 Druckmessgerät mit Druckanzeige und Schreiber (links), Blindflansch mit montierter Apparatur (mitte), Kolbenpumpe zum Aufbringen des Systemprüfdruckes (rechts)*

#### Versuchsaufbau

An dem Blindflansch wurde am oberen Ventil ein Schlauch zum Ablassen von Wasser und am unteren ein Schlauch für die Wasserzufuhr montiert (s. Bild 59 mitte). Die Wasserzufuhr sowie der Druckaufbau fanden über eine Kolbenpumpe statt (s. Bild 59 rechts). Von der Pumpe aus wurde das Wasser über eine T-Verbindung an das Druckmessgerät weitergeleitet, welches sowohl den Druck misst als auch direkt analog auf Papier schreibt (s. Bild 59 links). Der am Blindflansch angeschlossene Zugangsschlauch wurde an die andere Öffnung der T-Verbindung geschraubt. Mithilfe eines Wasserschlauches wurde ein Messbecher immer wieder mit Wasser gefüllt, um den an der Pumpe befindlichen Wassertank kontinuierlich mit Wasser zu befüllen.

### Versuchsdurchführung

Mithilfe der Kolbenpumpe wurde der Druck manuell über ein Ventil gesteuert, indem Wasser in die Druckleitung gepumpt wurde. Aufgrund der sich in dem Rohr befindlichen Luft und des an der Pumpe befindlichen kleinen Wassertanks, musste der Wassertank durchgehend mit einem 3 Liter Messbecher nachgefüllt werden, um die Versuchsstrecke komplett zu füllen. Die zugegebene Wassermenge wurde dementsprechend mit sehr einfachen Hilfsmitteln in etwa bestimmt. In der Druckhaltephase wurde der Druck auf 8 bar erhöht und durch Nachpumpen von Wasser konstant gehalten. In der Ruhephase wurde die Kolbenpumpe abgestellt, so dass der Druck fallen konnte. Durch das Ablassen des Wassers an der Kolbenpumpe wurde der Druckabfall von 2 bar realisiert. Um die abgelassene Wassermenge festzuhalten, wurde wiederum ein Messbecher verwendet. Auffällig war, dass die abgelassene und gesammelte Wassermenge keiner weiteren Beachtung geschenkt wurde. Der Verlauf der Druckentwicklung wurde über die gesamte Prüfzeit vom Druckmessgerät aufgenommen, so dass im Anschluss der Prüfer eine Aussage über die Dichtheit geben konnte.

### Versuchsergebnisse

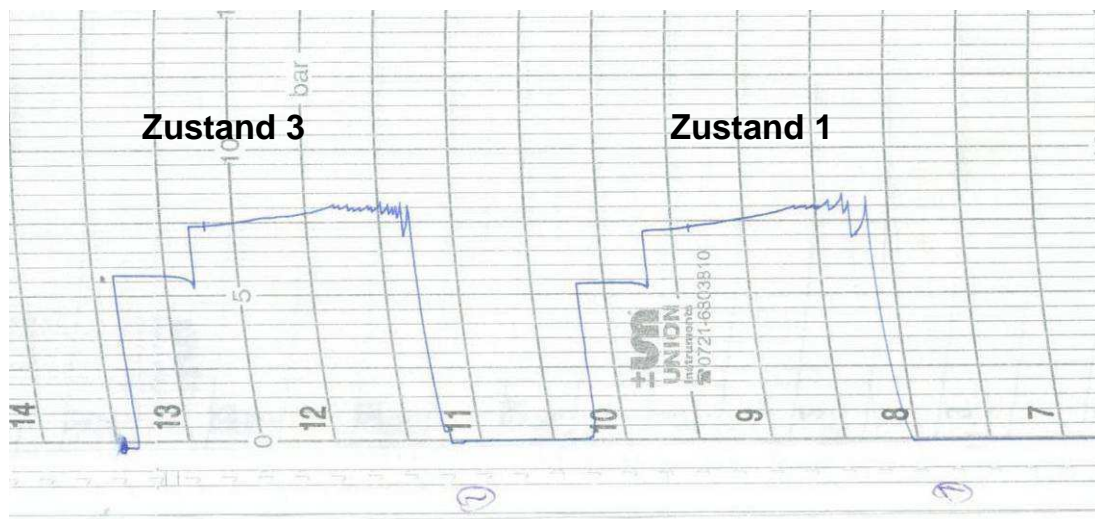


Bild 60 Ergebnisdiagramme der Dichtheitsprüfungen für den Zustand 1 und Zustand 3

Für die erste Dichtheitsprüfung wurde der **Zustand 1** an der Versuchsstrecke eingestellt.

Die Vorprüfung startete mit der Druckaufbauphase, da die Leitung schon im Vorfeld entspannt worden war. Der Systemprüfdruck wurde in den vorgegebenen 10 min aufgebracht und in der Druckhaltephase kontinuierlich auf 8 bar gehalten. In der Ruhephase ist der Druck bis auf 7,2 bar abgefallen. Die **Vorprüfung** war somit **bestanden**, da der gemessene Druckabfall die 20% des Prüfdrucks nicht überstieg.

In der Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 1,9 bar auf 5,3 bar durchgeführt. Die dabei entnommene Wassermenge von 1,6 L überstieg allerdings die zulässige Ablassmenge von 1,05 L. Dadurch ist die **Druckabfallprüfung nicht bestanden**.

In der weiter geführten Hauptprüfung stieg der Druck wie erwartet an und ist nach einem maximal erreichten Druck von 5,4 bar wieder leicht gefallen. Der Enddruck betrug 5,4 bar. Die **Hauptprüfung** war somit laut Dienstleister D **bestanden**.

*Da die Druckabfallprüfung jedoch im Vorfeld nicht positiv ausfiel, war die Dichtheitsprüfung nicht bestanden (s. Bild 60 rechts). Ebenso bleibt festzuhalten, dass Dienstleister D eine **fehlerhafte Prüfung durchgeführt hat**.*

Im Folgenden wurde schließlich anhand des Prüfprogramms der **Zustand 3** der Versuchsstrecke eingestellt. Nun wurde die Vorprüfung mit der Entspannungsphase bei einem Druck von 0,4 bar gestartet. Der nun innerhalb von 10 min aufzubringende Systemprüfdruck von 8 bar wurde aufgebracht und in der Druckhaltephase konstant gehalten. In der Ruhephase ist der Druck relativ gering abgefallen und hat einen Wert von 7,4 bar angenommen. Dieser liegt im Toleranzbereich und führte zu einer **bestandenen Vorprüfung**.

In der darauf folgenden Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 2,2 bar auf 5,2 bar durchgeführt. Da die dadurch entnommene Wassermenge von 1,2 L die zulässige Ablassmenge von 1,05 L überschritt, war die Druckabfallprüfung nach DIN EN 805 nicht bestanden. Nach DVWG W 400-2 wäre jedoch die **Druckabfallprüfung bestanden**, da zwar der Druck etwas höher abgesenkt und dementsprechend etwas mehr Wasser abgelassen wurde. Die abgelassene Wassermenge wäre jedoch geringer ausgefallen als die maximal erlaubte Wassermenge

In der Hauptprüfung stieg der Druck auf einen maximalen Wert von 5,7 bar wie erwartet an und blieb am Ende konstant. Laut Dienstleister war die **Hauptprüfung bestanden**.

*Die Dichtheitsprüfung wurde trotz mehr abgelassenem Wasser als bestanden gekennzeichnet, da die Wassermenge von 1,2 L bei 2,2 bar im Verhältnis zu 1,05 L bei 2,0 bar betrachtet wurde. Somit wurde der Grenzwert nicht überschritten. Dienstleister D hat hierbei eine **fehlerfreie Prüfung durchgeführt**.*

### **Qualitative Bewertung der Prüfungsdurchführung**

Der vierte und letzte Prüfdienstleister hatte insgesamt eine gute Kenntnis über die Durchführung einer Dichtheitsprüfung. Lediglich die Messtechnik war sehr stark veraltet, so dass nicht sicher gesagt werden kann, ob die Messergebnisse auch den tatsächlichen Messwerten entsprochen haben. Dazu waren auch bei diesem Prüfdienstleister die aufgezeichneten Druckkurven mehr als unzureichend dargestellt, da auch hier ein zu geringer Maßstab eingestellt war.

Insgesamt konnten zwar die Prüfer ihre Ergebnisse verstehen und auch beschreiben, jedoch war eine Interpretation der Ergebnisse nicht möglich, da hydraulische Kenntnisse der Prüfer nicht ausreichend genug vorhanden waren. Im Normalfall hätte nach der Druckabfallprüfung die Gesamtprüfung abgebrochen werden müssen, so dass die erste Prüfung fehlerhaft war.

Die zweite Prüfung (Zustand 3) wurde jedoch fehlerfrei durchgeführt. Hier hat sich auch gezeigt, dass der Dienstleister durchaus Verständnis für die gesamte Thematik aufgebracht und die Daten zielführend interpretiert hat.

4.3.3.3.5 Zusammenfassung der Ergebnisse aller Dienstleister

Zusammenfassend werden die erzielten Ergebnisse der beschriebenen ausgeführten Versuchsprüfungen durch die Dienstleister in der Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15 Zusammenfassende Ergebnisse der Prüfungen durch die Dienstleister

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

4.3.3.4 Bewertung der Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die durch die Dienstleister und das IKT erzielten Ergebnisse verglichen, analysiert und bewertet, um in Abschnitt 4.4.1 als Ergebnis erste Empfehlungen für die Prüfung von Abwasserdruckleitung im Bestand zu geben.

Um eine direkte Auswertung durchführen zu können, wurden in folgender Abbildung Prüfpunkte gesetzt. Dies hat den Vorteil, Ergebnisse direkt miteinander vergleichen zu können. Zur besseren Darstellung, welcher Prüfpunkt zu welchem Zeitpunkt dokumentiert werden

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

muss, wurden diese in dem beispielhaften Druckverhalten aus dem Regelwerk DVGW W 400-2 eingetragen (s. Bild 61).

Die Prüfpunkte wurden an folgenden Positionen gesetzt:

- P1: Punkt am Ende der 30 min Druckhaltephase
- P2: Punkt am Ende der 60 min Ruhephase
- P3: Punkt nach dem Druckabfall
- P4: Punkt nach der 30 min Hauptprüfung
- P5: Punkt nach der um 60 min verlängerten Hauptprüfung

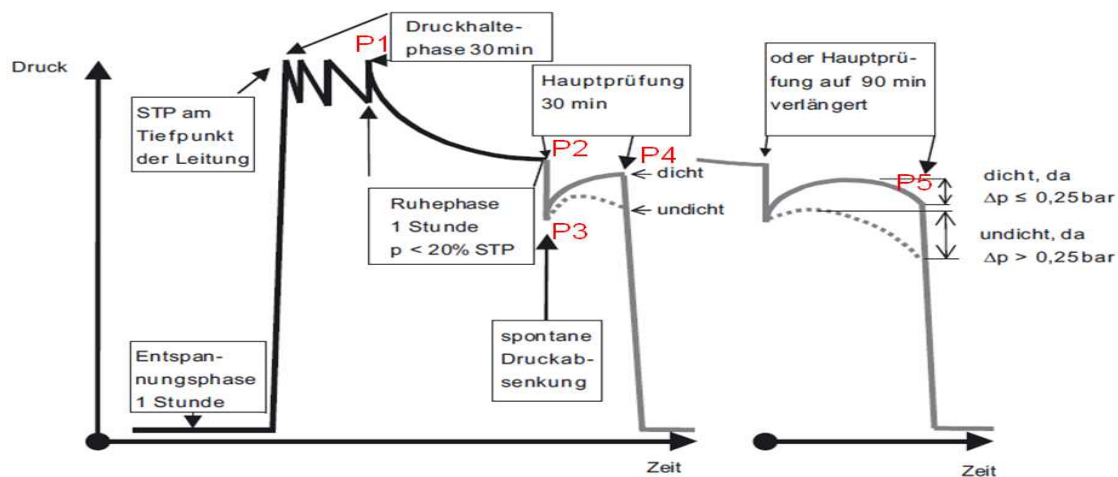


Bild 61 Beispiel für den Druckverlauf des Kontraktionsverfahrens bei einer dichten und einer undichten PE- Druckrohrleitung mit markierten Prüfpunkten [23]

Die Dichtheitsprüfung der Dienstleister wurde grundlegend nach DIN EN 805 durchgeführt. Dies lag in erster Linie daran, dass lediglich diese Norm vorlag und den Dienstleistern am ehesten bekannt war. Dienstleister, denen weder die DIN EN 805 noch die DVGW W 400-2 bekannt waren, haben eine Kombination der Norm und des Arbeitsblattes angewendet. Ein weiterer Grund für die Nutzung der DIN war, dass durch das festgesetzte Prüfprogramm in der Steuer- und Auswertesoftware der Prüfgeräte nur die DIN EN 805 möglich war.

Analysiert man die erzielten Ergebnisse der Dienstleister bei einer im Zustand 1 geprüften Versuchsstrecke (s. Tabelle 16), fällt es auf, dass kein Unterschied erkennbar ist, ob eine mit Luftpolstern versehene Leitung mit 4,0 bar oder mit 8,0 bar geprüft wird. Das Ergebnis spiegelt sich stets in einer nicht bestandenen Dichtheitsprüfung wieder. Bemerkte wurde der Luftanteil der Leitung anhand der abgelassenen Wassermenge. Diese lag bei einem vorgegebenen berechneten Druckabfall stets über die zulässig abzulassende Wassermenge. Die ungewollten Leckagen wurden hingegen nicht entdeckt

Durch eine Vergleichsmessung (Dienstleister C) mit verkürzter Prüfzeit bei gleichbleibenden Randbedingungen stellte sich eine fast exakt identische abgelassene Wassermenge in der Druckabfallprüfung ein. Bei einem ähnlichen Druckabfall – 0,472 bar im Vergleich zu 0,524 bar – war lediglich ein Unterschied von 0,038 L zu messen. Die Aussagekraft dieser ersten Ergebnisse war durch weitere Prüfungen zu belegen.

Tabelle 16 Ergebnisse der im Zustand 1 geprüften Versuchsstrecke durch die Dienstleister

Zustand 1: Lufteinschluss im Bogen im 2. Leitungsabschnitt	Dienstleister							
	A	B	C		D			
<b>P1 [bar]</b>	8	8	8	4	4	8		
<b>ΔP12 [%]</b>	13,75	12,875	12,5	3,375	1,175	10		
<b>P2 [bar]</b>	6,92	6,97	7	3,865	3,953	7,2		
<b>ΔP23 [bar]</b>	2,44	2,04	1,107	0,472	0,524	1,9		
<b>P3 [bar]</b>	4,48	4,93	5,893	3,393	3,429.	5,3		
<b>P4 [bar]</b>	4,84	5,078	5,953	-	-	5,4		
<b>P5 [bar]</b>	-	-	5,536	-	-	-		
<b>ΔV<sub>zul</sub> [L]</b>	1,06	1,06	1,241	0,528	0,401	1,06		
<b>ΔV<sub>abg</sub> [L]</b>	1,9	2,04	0,804	0,813	0,851	1,5		
<b>Gesamtzeit [min]</b>	V	<i>Entspannungsphase:</i>	60	60	60	60	10	60
		<i>Druckaufbauphase:</i>	10	7	8	1	1,25	6
		<i>Druckhaltephase:</i>	41	30	30	30	2	30
		<i>Ruhephase:</i>	60	60	60	60	4	60
	D	<i>Druckabfallprüfung:</i>	1	1	1	1	0,18	1
		<i>Hauptprüfung:</i>	31	31	30	-	-	30
	H	<i>verl. Hauptprüfung:</i>	-	-	60	-	-	-
		<b>Gesamtzeit:</b>	<b>203</b>	<b>189</b>	<b>249</b>	<b>152</b>	<b>17,43</b>	<b>187</b>

Analog zu den Analysen der Prüfungen der im Zustand 1 befindlichen Versuchsstrecke lässt sich eine Aussage für die Prüfergebnisse der im Zustand 2 geprüften Versuchsstrecke treffen (s. Tabelle 18). Somit kann eine Prüfung für Strecken mit einem Luftanteil von 8,0% nach DVGW W 400-2 und DIN EN 805 als nicht bestanden deklariert werden, so dass bereits nach der Druckabfallprüfung abgebrochen werden könnte. Der zu hohe Luftanteil kann dementsprechend die Aussage hinsichtlich der Dichtheit verfälschen.

Tabelle 17 Ergebnisse der im Zustand 2 geprüften Versuchsstrecke durch die Dienstleister

Zustand 2: Lufteingüsse in beiden Bögen		Dienstleister	
		A	
P1 [bar]		8	
$\Delta P_{12}$ [%]		11	
P2 [bar]		7,12	
$\Delta P_{23}$ [bar]		1,95	
P3 [bar]		5,17	
P4 [bar]		5,33	
P5 [bar]		-	
$\Delta V_{zul}$ [L]		1,06	
$\Delta V_{abg}$ [L]		2,55	
Gesamtzeit [min]	V	Entspannungsphase: 60	
		Druckaufbauphase: 8	
		Druckhaltephase: 30	
		Ruhephase: 61	
	D	Druckabfallprüfung: 1	
	H	Hauptprüfung: 30	
		verl. Hauptprüfung: -	
	<b>Gesamtzeit:</b>		<b>190</b>

Die Ergebnisse der im Zustand 3 geprüften Versuchsstrecke werden in Tabelle 18 dargestellt. Bei allen Prüfungen wurde durch die Dienstleister eine Dicht- und Luftfreiheit der Leitung festgestellt. Einzig die Ergebnisse der Dienstleister B und D ergaben eine nicht bestandene Druckabfallprüfung. Werden allerdings die Ergebnisse nach DVGW W 400-2 ausgewertet, so wären die Prüfungen bestanden, da zwar etwas mehr Wasser abgelassen wurde als zulässig, aber auch eine minimal höhere Druckabsenkung vorlag.

Tabelle 18 Ergebnisse der im Zustand 3 geprüften Versuchsstrecke durch die Dienstleister

Zustand 3: Entlüftete und gefüllte Leitung		Dienstleister					
		B	C		D		
P1 [bar]		8	8	8	4	8	
$\Delta P_{12}$ [%]		7,875	6,325	6,063	0	7,5	
P2 [bar]		7,37	7,494	7,515	4	7,4	
$\Delta P_{23}$ [bar]		2,1	1,543	1,545	0,762	2,2	
P3 [bar]		5,27	5,951	5,971	3,238	5,2	
P4 [bar]		5,78	6,21	6,469	3,464	5,7	
P5 [bar]		-	-	-	-	-	
$\Delta V_{zul}$ [L]		1,06	1,185	1,726	0,876	1,06	
$\Delta V_{abg}$ [L]		1,2	0,721	0,724	0,407	1,2	
Gesamtzeit [min]	V	Entspannungsphase: 62	10	15	60	60	
		Druckaufbauphase: 2	1	1	1	4	
		Druckhaltephase: 31	2	30	30	30	
		Ruhephase: 60	4	60	60	60	
	D	Druckabfallprüfung: 1	1	1	1	1	
	H	Hauptprüfung: 31	2	30	30	30	
		verl. Hauptprüfung: -	-	-	-	-	
	<b>Gesamtzeit:</b>		<b>187</b>	<b>20</b>	<b>137</b>	<b>182</b>	<b>185</b>

Durch das IKT wurde zum Vergleich der erzielten Ergebnisse durch die Dienstleister nach demselben Prüfprogramm die Leitung auf Dichtheit und Luftfreiheit untersucht. Die dabei gemessenen Randparameter wurden nach DVGW W 400-2 ausgewertet.

Im ersten Schritt wurden die drei Zustände mit einem Systemprüfdruck von 8,0 bar geprüft (s. Tabelle 20). Wie erwartet wurden die Prüfungen der Zustände 1 und 2 aufgrund des zu hohen Luftpolsters in der Leitung normgerecht abgebrochen. Sie fielen durch die Druckabfallprüfung aufgrund zu hoher abgelassener Wassermengen durch (max. 1,06 bar zulässig).

Auffällig war allerdings, dass eine verkürzte Prüfung ein ähnliches Resultat wie bei einer Prüfung mit normaler Prüfzeit aufwies. Zum einen wurde die Aussage des Ergebnisses durch den Dienstleister C belegt, dass eine Luftfreiheit der Leitung, die erst nach einer Druckabfallprüfung erkennbar ist, auch durch eine verkürzte Prüfung festzustellen ist. Es stellen sich fast dieselben abgelassenen Wasservolumen ein. Zum anderen wäre schon durch eine verkürzte Prüfung feststellbar, ob gravierende Lufteinschlüsse vorhanden sind.

**Hierzu sei aber angemerkt, dass dieses Resultat auf Basis einer Länge von ca. 27 m sowie einem Durchmesser von DN 150 basiert. Es wäre zu überprüfen, ob Länge, Durchmesser sowie andere noch nicht festgelegte Parameter (Rohrwerkstoff etc.) auf das Ergebnis einen Einfluss ausüben.**

Tabelle 19 Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen bei 8,0 bar durch das IKT

	Zustand				
	1	2	3		
P1 [bar]	8	8	8	8	
$\Delta P_{12}$ [%]	7,25	5,25	7,88	8,63	
P2 [bar]	7,42	7,58	7,37	7,31	
$\Delta P_{23}$ [bar]	2,0	2,0	2,0	1,0	
P3 [bar]	5,42	5,58	5,37	6,31	
P4 [bar]			5,85	6,43	
P5 [bar]					
$\Delta V_{zul}$ [L]	1,06	1,06	1,06	0,63	
$\Delta V_{abg}$ [L]	2,45	4,9	0,93	0,43	
Gesamtzeit [min]	V <i>Entspannungsphase:</i>	60	20	60	63
	V <i>Druckaufbauphase:</i>	8	10	3	1
	V <i>Druckhaltephase:</i>	30	30	30	3
	V <i>Ruhephase:</i>	61	60	60	6
	D <i>Druckabfallprüfung:</i>	2	2	2	1
	H <i>Hauptprüfung:</i>			30	3
	H <i>verl. Hauptprüfung:</i>				
	<b>Gesamtzeit:</b>	<b>161</b>	<b>122</b>	<b>185</b>	<b>71</b>

Zu überprüfen war darüber hinaus, ob eine Dichtheitsprüfung mit geringem Systemprüfdruck möglich ist und ob dieser Zustand die gleiche Aussagekraft hat wie eine Dichtheitsprüfung mit höherem Systemprüfdruck. Dazu wurden Dichtheitsprüfungen mit einem Systemprüfdruck von 4,0 bar ausgeführt. (s. Tabelle 20). Auch hier stellten sich analog zu den mit 8,0 bar geprüften Zuständen dieselben Ergebnisse ein. Bei vollgefüllter Leitung war eine

Dicht- und Luftfreiheit gegeben, bei einer mit einem Luftpolster versehenen Leitung hat durch die Druckabfallprüfung ein Abbruch der Dichtheitsprüfung aufgrund nicht zulässiger abgelassenen Wassermenge stattgefunden.

Generell war durch die verkürzten Prüfungen, unabhängig des eingesetzten Systemprüfdrucks, ein Unterschied in dem Druckverlauf der Hauptprüfung zu erkennen. Der Druck stieg, wie erwartet, an, fiel aber trotz dichter Leitung relativ gering am Ende der Hauptprüfung wieder ab. Dies lag daran, dass der aufgebrauchte Druck, der eine Ausdehnung der Leitung bewirkt hat, stärker war als die Kontraktion. Damit eine genauere Aussage über die Dichtheit getroffen werden kann, sollte bei dieser zeitlich **verkürzten Dichtheitsprüfung** jedoch die längere Variante der **(verkürzten) Hauptprüfung gewählt werden**, um die Aussagekraft des Prüfergebnisses zu erhöhen.

Im letzten Schritt wurden Untersuchungen mit definierten Leckagen im Durchmesser 0,8 mm an der Versuchsstrecke durchgeführt. Beim ersten Versuch wurde eine Leckage in einem mit Luft gefüllten Leitungsabschnitt angeordnet. Die Dichtheitsprüfung wurde bereits nach einer dreiminütigen Ruhephase abgebrochen. In dieser Zeit sank der Prüfdruck um mehr als 30% des aufgebrauchten Systemprüfdrucks.

Tabelle 20 Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen bei 4,0 bar durch das IKT

	Zustand			
	1	3		
<b>P1 [bar]</b>	4	4	4	
<b>ΔP12 [%]</b>	2,75	6,75	8,5	
<b>P2 [bar]</b>	3,89	3,73	3,66	
<b>ΔP23 [bar]</b>	2,0	0,53	0,6	
<b>P3 [bar]</b>	1,89	3,2	3,06	
<b>P4 [bar]</b>		3,27	3,09	
<b>P5 [bar]</b>				
<b>ΔV<sub>zul</sub> [L]</b>	1,06	0,3	0,3	
<b>ΔV<sub>abg</sub> [L]</b>	8,0	0,33	0,4	
<b>Gesamtzeit [min]</b>	<i>Entspannungsphase:</i>	62	60	63
	<i>Druckaufbauphase:</i>	3	1	1
	<i>Druckhaltephase:</i>	30	30	3
	<i>Ruhephase:</i>	60	60	6
	D <i>Druckabfallprüfung:</i>	1	1	1
	H <i>Hauptprüfung:</i>		30	3
	<i>verl. Hauptprüfung:</i>			
	<b>Gesamtzeit:</b>	<b>156</b>	<b>182</b>	<b>77</b>

Beim zweiten Versuch wurde eine Leckage in einem mit Wasser gefüllten Leitungsabschnitt angeordnet. Die Versuchsstrecke wies immer noch Zustand 1 auf. Auch hier war bereits nach einer fünfminütigen Ruhephase ein Druckabfall um 31,25% zu verzeichnen, so dass die Dichtheitsprüfung nach DVGW W 400-2 und DIN EN 805 abzubrechen war.

Tabelle 21 Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen bei 8,0 bar und hinzugefügten Leckagen durch das IKT

		Zustand 1	
	P1 [bar]	8	8
	$\Delta P_{12}$ [%]	30	31,25
	P2 [bar]	5,6	5,5
	$\Delta P_{23}$ [bar]		
	P3 [bar]		
	P4 [bar]		
	P5 [bar]		
	$\Delta V_{zul}$ [L]		
	$\Delta V_{abg}$ [L]		
V	Entspannungsphase:	60	60
	Druckaufbauphase:	5	8
	Druckhaltephase:	30	30
	Ruhephase:	3	5
	<b>Gesamtzeit</b>		
D	Druckabfallprüfung:		
	Hauptprüfung:		
	verl. Hauptprüfung:		
<b>Gesamtzeit:</b>			

Auf Basis der hier gewonnenen Erkenntnisse lassen sich nunmehr die erarbeiteten Fragestellungen aus Abschnitt 4.3 beantworten. Im Zuge der Prüfungen mit unterschiedlichen Systemprüfdrücken war kein sichtbarer Unterschied bzgl. der Aussagekraft der Ergebnisse zu erkennen. Beide Prüfungen haben die Luftfreiheit bzw. Luft in der Leitung und die Dichtheit bestimmen können. In diesem Schritt wurde allerdings auch festgestellt, dass eine Dichtheitsprüfung mit Luft in der Leitung das Prüfergebnis verfälschen kann und nach DVGW W 400-2 und DIN EN 805 die Prüfung nach der Druckabfallprüfung abgebrochen werden muss. Um die Luftfreiheit zu bestimmen, reicht in der Regel aber auch eine verkürzte Dichtheitsprüfung aus, da die Luftfreiheit durch einen Vergleich der entnommenen und erlaubten Wassermenge im Zuge der Druckabfallprüfung bestimmt werden kann. Es hat sich gezeigt, dass dieser Vergleich unabhängig der Prüfzeit vorgenommen werden kann, so dass bereits nach kurzer Prüfdauer entschieden werden kann, ob eine Leitung sich im luftfreien Zustand befindet. Diese Erkenntnis wird **in weiteren Tests untersucht, so dass eine Verifizierung der oben beschriebenen These erfolgen kann.**

#### 4.4 Fazit und Handlungsempfehlungen

Anhand der an einer Versuchsstrecke aus PE100 SDR 17 erzielten Prüfergebnisse lässt sich nunmehr eine Empfehlung zur Ausführung einer Dichtheitsprüfung bei Abwasserdruckleitungen verfassen.

##### 4.4.1 Empfehlungen zur Dichtheitsprüfung

Die zu prüfende Abwasserdruckleitung muss zunächst ausgehend **vom Tiefpunkt der Leitung befüllt** und anschließend geprüft werden. Eine Abwasserdruckleitung kann insgesamt mit **verschiedenen Systemprüfdrücken** geprüft werden, vorausgesetzt, dass das Material

vor der Prüfung hinreichend analysiert wurde, um Schäden aufgrund zu hoher Drücke zu vermeiden. Dementsprechend sind **allgemein materialtechnologische Kenntnisse zwingend notwendig**.

Der aufzubringende Prüfdruck kann über dem gängigen Betriebsdruck (4,0 bis 6,0 bar) liegen. Wird ein Systemprüfdruck gleich der nach DVGW W 400-2 in der Druckabfallprüfung vorzunehmenden Druckabsenkung ausgewählt, muss durch die DIN EN 805 ein berechneter Wert für die vorzunehmende Druckabsenkung bestimmt werden. Um lediglich die Luftfreiheit der zu prüfenden Abwasserdruckleitung zu bestimmen, kann eine **verkürzte Dichtheitsprüfung von ca. 20 min angeordnet werden**. In der Druckabfallprüfung wird dann anhand der abgelassenen Wassermenge sichtbar (abgelassene Wassermenge darf nicht größer der zulässig abzulassenden Wassermenge sein), ob die Leitung entlüftet werden muss. Allerdings schließt dieser Vorgang nicht sicher aus, dass die Abwasserdruckleitung dicht ist. Dazu muss dann eine Dichtheitsprüfung mit angegebenen Prüfzeiten nach DVGW W 400-2 oder DIN EN 805 erfolgen.

Für die Planung einer Abwasserdruckleitung als Neuverlegung sollte im Hinblick auf die Umsetzbarkeit einer Dichtheitsprüfung darauf geachtet werden, dass eine Dichtheitsprüfung nur unter den beschriebenen Randbedingungen möglich ist. Dazu muss zum einen für das Aufbringen des Systemprüfdrucks eine Zugangsmöglichkeit am Tiefpunkt gegeben sein. Zum anderen werden für eine komplett entlüftete Abwasserdruckleitung Be-/entlüfter benötigt. Um Leckagen zukünftig besser eingrenzen zu können, sollte eine Dichtheitsprüfung immer in Teilabschnitten durchgeführt werden. Dazu ist eine Möglichkeit zum Absperren dieser Strecke vorzusehen.

Diesbezüglich werden weitere Tests hinsichtlich Anzahl an Leckagen, Leckagengrößen, zeitlich verkürzte Prüfungen sowie die Integration der Dichtheitsprüfung als Risikosteuerungsaspekt im Rahmen der Risikoanalyse erarbeitet, die im Rahmen der Kapitel 5 und 6 in aller Ausführlichkeit beschrieben werden.

#### 4.4.2 Optimierungsbedarf im Umgang mit Dichtheitsprüfungen

Die Dichtheitsprüfungen konnten insgesamt vollständig und ausführlich durchgeführt werden. Interessant erwies sich jedoch die qualitative Beurteilung der einzelnen Dichtheitsprüfer. Bis auf einen Prüfer, der auch Technikhersteller solcher Prüfgeräte ist, konnte kein Dichtheitsprüfer eine korrekte und fehlerfreie Prüfung durchführen. Teilweise lag es an nicht ausreichend lesbaren Druckkurven, an fehlendem Verständnis für die betreffenden Regelwerke, unzureichenden hydraulischen Kenntnissen sowie alter bzw. nicht geeigneter Messtechnik.

Die Ergebnisse wurden ebenso den Lenkungskreisteilnehmern vorgestellt. Deutlich wurde dabei auch, dass Netzbetreiber oftmals den Ergebnissen bzw. Aussagen der Dichtheitsprüfer vertrauen. Die Ergebnisse haben den Teilnehmern gezeigt, dass ein grundsätzliches Verständnis für die Prüfmethodik sowohl bei Netzbetreibern als auch bei Dienstleistern vorhanden sein muss. Im Rahmen der Sitzung bestand Einvernehmen, dass sowohl Netzbetreiber als auch Dienstleister im Hinblick auf die korrekte Ausführung von Dichtheitsprüfungen geschult werden sollten. Hierzu sind spezielle Kenntnisse in folgenden Bereichen zu schulen:

- Materialkunde/Baustofftechnik
- Hydraulik
- Regelwerke
- Messtechnik
- Sicherheit

Eine Schulung für Netzbetreiber und Dienstleister sollte grundsätzlich angestrebt werden, so dass insgesamt das Verständnis im Umgang mit öffentlichen und privaten Abwasserdruckleitungen verbessert wird.

Im Hinblick auf die Sicherstellung des laufenden Betriebes sollte eine zeitlich verkürzte Dichtheitsprüfung entwickelt werden. Auf diese Weise könnten Aussagen hinsichtlich der Dichtheit in kürzester Zeit getroffen werden. Dies hat den Vorteil, dass

- a) Kosten für die Prüfung geringer ausfallen und
- b) nur mit einer kurzen Unterbrechung des laufenden Betriebes zu rechnen ist.

Folglich wird im Rahmen weiterer Tests eine Möglichkeit entwickelt, die genau diese wichtigen Forderungen erfüllen soll.

## 5 Vorgehensweise zur Dichtheitsprüfung von Abwasserdruckleitungen im Bestand

Erste Versuche an der IKT-eigenen Teststrecke haben gezeigt, dass die Durchführung von Dichtheitsprüfungen an einer bestehenden und im Betrieb befindlichen Leitung durchaus möglich ist. Unter Berücksichtigung des Optimierungsbedarfs wird in diesem Kapitel nunmehr verstärkt die zeitlich verkürzte Dichtheitsprüfung untersucht.

### 5.1 Normen und Regelwerke zu Druckleitungen

Derzeit existieren für Abwasserdruckleitungen im Bestand keine gängigen Regelwerke, die eine standardisierte Zustandsbewertung ermöglichen. Lediglich für den Neubau von Abwasserdruckleitungen wird auf die DIN EN 805 sowie DVGW W 400-2 zurückgegriffen. Aus diesem Grund sollen in diesem Abschnitt deren wichtigste Inhalte dazu vorgestellt werden. Ziel ist es, eine Adaptierbarkeit der Regelwerke für Abwasserdruckleitungen im Bestand zu erreichen.

#### 5.1.1 Ergebnisse der DWA-Arbeitsgruppe ES-7.4

Die DWA-Arbeitsgruppe ES-7.4 hat im Jahr 2012 für die Durchführung von Inspektionen und Wartung an Abwasserdruckleitungen einen Arbeitsbericht zum Thema „Betrieb und Unterhalt von Abwasserpumpenanlagen“ veröffentlicht.

*Zusammenfassende Ergebnisse aus dem Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe ES-7.4 sind: [25]*

Pumpstationen werden meist intensiv überwacht, der Aufwand und die Aufmerksamkeit für die zugehörigen Druckleitungen beschränken sich jedoch oft auf ein Minimum. Schäden an Druckleitungen sind häufig schwer zu erkennen und nur mit erheblichem Aufwand zu beseitigen. Inspektion und Wartung von Druckleitungen sollten deshalb im Hinblick auf Betriebssicherheit und Umweltbeeinträchtigung einen höheren Stellenwert bekommen. Gesetzliche Bestimmungen und technische Regelwerke enthalten nur wenige konkrete Vorgaben. Dies eröffnet dem Betreiber Gestaltungsspielräume, die verantwortungsvoll auszufüllen sind.

Das technische Regelwerk behandelt an verschiedenen Stellen das Thema der Prüfung von Abwasserdruckleitungen. Die wichtigsten Regelungen sind an dieser Stelle kurz zusammengefasst:

- **DWA-A 139: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen:** In Kapitel 14 wird auf die Wasserdruckprüfung von Druckleitungen nach dem Arbeitsblatt W 400-2 Abschnitt 16 des DVGW beziehungsweise die DIN EN 805 verwiesen
- **ATV-DVWK-A 142: Abwasserkanäle und –leitungen in Wassergewinnungsgebieten:** Das Arbeitsblatt regelt unter anderem die Inspektion von Abwasserkanälen und –leitungen in Wassergewinnungsgebieten. In Kapitel 3.3 ist vorgegeben, dass in der weiteren Schutzzone (Schutzzone III) in der Regel alle 15 Jahre eine Dichtheitsprüfung und dazwischen zwei optische Inspektionen durchzuführen sind. Allerdings gilt das Arbeitsblatt nur für neue und zu sanierende Abwasserkanäle und –leitungen. Für

bestehende Abwasserkanäle und –leitungen (Inbetriebnahme vor Inkrafttreten des Arbeitsblatts) ist in Abhängigkeit von den örtlichen Bedingungen zu prüfen, inwieweit das Arbeitsblatt anzuwenden ist. Technische Vorgaben zur Durchführung der Wasserdrukprüfung sind in diesem Arbeitsblatt nicht enthalten.

- **DIN EN 1610:** *Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen:* Nach Kapitel 14 hat die Prüfung von Druckleitungen nach der DIN EN 805 zu erfolgen.

Die gesetzlichen Bestimmungen zur Inspektion und Wartung von Druckleitungen sind vielfältig. Sofern Selbstüberwachungsverordnungen in den Bundesländern vorhanden sind, verweisen diese im Allgemeinen auf das technische Regelwerk. In diesen Fällen verfügen die Betreiber über einen relativ weiten Ermessungsspielraum hinsichtlich des Umfangs und der Intensität der Inspektions- und Wartungsarbeiten.

Einige Selbstüberwachungsverordnungen regeln jedoch auch Einzelheiten der Prüfung und geben Fristen bzw. Wiederholungsintervalle vor. Diese Vorgaben weichen inhaltlich voneinander ab und schaffen sehr unterschiedliche Anforderungen in den Bundesländern. In vielen Fällen sind Druckleitungen auch nicht als eigene Anlagenkategorie genannt, so dass Unklarheiten bestehen, ob sich die jeweiligen Regeln auf Kanäle und Druckleitungen beziehen. Die gesetzlichen Bestimmungen dieser Verordnungen sind in Tabelle 22 vergleichend dargestellt.

In Berlin, Brandenburg, Bremen, Hamburg und Niedersachsen bestehen derartige landesrechtliche Regelungen nicht.

Zusammenfassend wird aus der Übersicht deutlich, dass lediglich in den Ländern Bayern, Hessen, Sachsen und Thüringen explizit Dichtheitsprüfungen von Druckleitungen vorgeschrieben sind. In Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein sind zusätzlich Funktions- und Sichtprüfung der technischen Einrichtungen von Druckleitungen vorgeschrieben.

Nach § 61 Abs. 3 WHG [26] besteht die Ermächtigung zum Erlass einer bundesweit geltenden Eigenkontrollverordnung.

Tabelle 22 Vergleich gesetzlicher Bestimmungen in Bund und Ländern [25]

Bundesland	Selbstüberwachungsverordnung	Vorgaben für Wartung und Inspektion von Druckleitungen	Allgemeine Vorgabe für die Überprüfung öffentlicher Abwasserkanäle
Baden-Württemberg	Eigenkontrollverordnung [27]	keine direkten Vorgaben für Druckleitungen	Überprüfung des Zustands von Kanalisationen entsprechend den a. a. R. d. T., Intervalle je nach Lage innerhalb oder außerhalb WSG 10 bis 20 Jahre
Bayern	Eigenüberwachungsverordnung [28]	Nach [29] gelten allgemeine Anforderungen auch für Druckleitungen.	Sichtprüfung bei Kanalisationen mittels TV-Befahrung/Begehung/Leckagedetektion alle 10 Jahre; Prüfung auf Wasserdichtheit erstmals nach 40 Jahre; Prüfung auf Wasserdichtheit erstmals nach 40 Jahren, dann alle 20 Jahre; verkürzte Intervalle (10 Jahre) in WSG; Prüfverfahren s. [30]
Hessen	Abwassereigenkontrollverordnung [31]	Druckprüfung nach den a. a. R. d. T. alle 15 Jahren; in WSG höhere Anforderungen nach den a. a. R. d. T.	Überprüfung des Zustands von Abwasserkanälen nach den a. a. R. d. T. alle 15 bis 20 Jahre
Mecklenburg-Vorpommern	Selbstüberwachungsverordnung[32]	Keine direkten Vorgaben für Druckleitungen	Überprüfung des Zustands von Abwasserkanälen einschließlich Sonderbauwerken nach den a. a. R. d. T.; Wiederholung bei Schmutz- und Mischwasserkanälen mit Dichtheitsnachweis nach 15 Jahren, sonst nach 10 Jahren
Nordrhein-Westfalen	Selbstüberwachungsverordnung Abwasser [33]	Inaugenscheinnahme des Bereichs der Kontroll- und Reinigungsöffnungen halbjährlich bzw. nach Herstellerangaben; Kontrolle der Funktionsfähigkeit von Armaturen monatlich bzw. nach Herstellerangaben	Überprüfung des Zustands von Abwasserkanälen; Umfang erstmalige Erfassung jährlich 10% des Gesamtnetzes; nach Abschluss Ersterfassung jährlich 5% des Gesamtnetzes
Rheinland-Pfalz	Landesverordnung über die Eigenüberwachung von Abwasseranlagen [34]	keine direkten Vorgaben für Druckleitungen	Überprüfung des Zustands von Abwasserkanälen alle 10 Jahre durch optische Inspektion
Saarland	Eigenkontrollverordnung [35]	-	-
Sachsen	Eigenkontrollverordnung [36]	keine direkten Vorgaben, jedoch Verweis auf DIN 1986 Teil 30 [37]; demnach Prüfung von Druckleitungen bis 2015 und Wiederholungsprüfung alle 20 Jahre; Prüfung durch TV-Inspektion bzw., wenn nicht durchführbar, Dichtheitsprüfung nach DIN EN 1610 [38]	Überprüfung des Zustands von Abwasserkanälen nach DIN 1986 Teil 30; öffentlich e Kanalisationen werden der Kategorie häusliches Abwasser zugeordnet.
Sachsen-Anhalt	Eigenüberwachungsverordnung [39]	-	-
Schleswig-Holstein	Selbstüberwachungsverordnung [40]	keine direkten Vorgaben für Druckleitungen	Überprüfung des Zustands von Abwasserkanälen sowie technischer Bauwerke einschließlich Dichtheitsuntersuchung nach den a. a. R. d. T. durch optische Inspektion oder Dichtheitsprüfung mit Medien Wasser und Luft; bei technischen Bauwerken Sicht- und Funktionskontrollen
Thüringen	Abwassereigenkontrollverordnung [41]	Druckprüfung nach den a. a. R. d. T. alle 15 Jahren; in WSG höhere Anforderungen nach den a. a. R. d. T.	Überprüfung des Zustands von Abwasserkanälen nach den a. a. R. d. T. alle 15 bis 20 Jahre

### 5.1.2 DIN EN 805 und DVGW W 400-2

Jede Rohrleitung wird nach dem Einbau einer Dichtheitsprüfung unterzogen. Dichtheitsprüfungen an Druckleitungen (Trinkwasser) werden in Deutschland nach DIN EN 805 und DVGW W 400-2 durchgeführt. Hierbei regelt die DIN EN 805 „Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden“:

- Die allgemeinen Anforderungen an Rohrleitungsteile sowie Wasserversorgungssysteme außerhalb von Gebäuden wie z.B. Trinkwasserleitungen, Trinkwasserbehälter.
- Anforderungen für Bau, Prüfung und Inbetriebnahme der Leitung.

Das DVGW W 400-2 „Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV), Teil 2 Bau und Prüfung:“ enthält u.a. weiterführende Informationen zu Dichtheitsprüfungen. Dies sind u.a. Anforderungen an Messgeräte sowie Prüfungen in Abhängigkeit der Rohrwerkstoffe und Nennweiten. Ein Prüfer muss in Anlehnung an die DIN EN 805 diverse Rahmenbedingungen selbst festlegen, während er bei Anwendung des Merkblattes DVGW W 400-2 auf klare Vorgehensweisen zurückgreifen kann.

#### 5.1.2.1 Angewandte Verfahren für Dichtheitsprüfungen

Für Dichtheitsprüfungen an Druckleitungen werden in DVGW W 400-2 und DIN EN 805 mehrere Verfahren beschrieben. In dem Regelwerk DVGW W 400-2 wird zwischen dem beschleunigten Normalverfahren, dem Kontraktionsverfahren und dem Normalverfahren unterschieden. Alle drei Prüfverfahren werden entweder nach dem Wasserverlustverfahren oder dem Druckverlustverfahren durchgeführt. In der DIN EN 805 werden die Leitungen nach dem Kontraktionsverfahren oder dem Druckprüfverfahren (unterteilt in Wasser- oder Druckverlustmethode) auf Undichtheiten untersucht. Mit der Wasserverlustmethode können genauere Ergebnisse erzielt werden, da diese Methode deutlich unempfindlicher im Bezug auf Lufteinschlüsse ist. Im Vergleich zur Druckverlustmethode müssen die eingesetzten Geräte bei der Wasserverlustmethode viel präziser messen. [42][43]

Das beschleunigte Normalverfahren wird für Leitungen aus duktilem Gusseisen und Stahl mit Zementmörtelauskleidung bis DN 600 eingesetzt. Bei der Druckverlustmethode liegt der maximale Systemprüfdruck bei 21 bar. Das Kontraktionsverfahren wird für Kunststoffrohre aus PE 80, PE 100 und PVC-U genutzt. Das Normalverfahren wird für alle Nennweiten und alle anderen Rohrwerkstoffe mit und ohne Zementmörtelauskleidung verwendet. Die DVGW W 400-2 empfiehlt bei Rohrleitungen aus PE, PE 100 (SDR 17) sowie PVC- Rohren mit einem Volumen größer als 20 m<sup>3</sup> und Rohrleitungen mit Zementmörtelauskleidung größer als DN 600 die Prüfung nach dem Normalverfahren. [42]

Im Gegensatz zum Regelwerk unterscheidet die Druckprüfung nach DIN EN 805 weder zwischen Rohrmaterialien noch zwischen Nennweiten. Die Druckprüfung kann ebenfalls mit dem Wasser- oder Druckverlustverfahren durchgeführt werden. Alternativ findet bei Rohren mit viskoelastischem Verhalten das Kontraktionsverfahren sein Einsatzgebiet. [43]

### 5.1.2.2 Ablauf der Dichtheitsprüfung

Bei den Dichtheitsprüfungen werden Rohrleitungen entweder in Prüfabschnitte unterteilt oder im Ganzen geprüft. Die Prüflänge liegt je nach örtlichen Gegebenheiten bei ca. 500 m für kleine Rohrnennweiten in Versorgungsnetzen und ca. 1500 m für Transportleitungen. [44]

In der DIN EN 805 wird bei Prüfungen zwischen MDP (engl. Maximum Design Pressure = Höchster Systembetriebsdruck), STP (engl. System Test Pressure = Systemprüfdruck) und OP (engl. Operating Pressure = Betriebsdruck) unterschieden. Der Systemprüfdruck wird ausgehend vom höchsten Systembetriebsdruck mit und ohne Druckstoß wie folgt berechnet:

- bei berechnetem Druckstoß:

$$\text{STP} = \text{MDPc} + 1 \text{ bar} \quad (1)$$

- Ohne Berechnung des Druckstoßes:

$$\text{STP} = \text{MDPa} + 5 \text{ bar} \quad (2)$$

oder

$$\text{STP} = \text{MDPa} * 1,5 \quad (3)$$

Jeweils der kleinere Wert ist maßgebend.

MDPc [bar] Systembetriebsdruck mit berechnetem  
Druckstoß

MDPa [bar] Systembetriebsdruck ohne berechnetem  
Druckstoß

Alle Prüfverfahren sind in ihrem Ablauf identisch aufgebaut. Sie bestehen aus den Phasen **Vorprüfung, Druckabfallprüfung und Hauptprüfung**. Darüber hinaus sind die Messgeräte am niedrigsten Punkt des Prüfabschnittes anzubringen. [42][43]

Sinn und Zweck der Vorprüfung liegen darin, den Rohrleitungsabschnitt nach dem Abklingen der anfänglichen Spannungen zu stabilisieren. Die Rohrleitung ist in eine geeignete Länge aufzuteilen und möglichst vom Tiefpunkt aus vollständig mit Wasser zu füllen. Dabei sind die Entlüftungsventile geöffnet, damit die Luft entweichen kann. So wird die Rohrinnenfläche ausreichend mit Wasser, besonders bei wasseraufnehmenden Rohrwerkstoffen, gesättigt. Zudem wird die druckabhängige Zunahme des Volumens bei flexiblen Rohren vorweggenommen. Beim Auftreten von Undichtheiten oder unzulässigen Lageveränderungen sind die Prüfung abubrechen, der Prüfabschnitt zu entspannen und die Ursachen zu beseitigen. [42][43]

Mit der Druckabfallprüfung wird in der Leitung die vorhandene Luft bestimmt. Ein schlecht entlüfteter Prüfabschnitt kann mehrere Lufteinschlüsse aufweisen, die das Prüfergebnis verfälschen können. Eingeschlossene Luft kann demnach Undichtheiten überdecken oder Leckagen im Ergebnis anzeigen. [42][43]

Ein wichtiges Kriterium für die Hauptprüfung besteht darin, dass sie erst begonnen werden kann, nachdem die Vorprüfung und die Druckabfallprüfung bestanden sind. Die Hauptprü-

fung dient zur Beurteilung der Dichtheit des Prüfabschnittes. Einflüsse großer Temperaturänderungen sind zu berücksichtigen. Nach DVWG W 400-2 ist besonders bei Kunststoffleitungen z.B. aus PE darauf zu achten, dass die Außentemperatur der Rohrwandung nicht größer als 20°C ist. Während der Hauptprüfung sollte die Anfangs- und Endtemperatur keine großen Unterschiede aufweisen. Sofern alle drei Prüfungen bestanden sind, gilt der Prüfabschnitt als dicht. [42][43]

#### 5.1.2.3 Prüfung der Testleitung nach dem Kontraktionsverfahren

Die Testleitung besteht aus dem Rohrmaterial PE 100, SDR 17, einer Länge von ca. 27m und der Nennweite DN 150. Somit stehen mehrere Prüfverfahren, wie z.B. das Normal- und Kontraktionsverfahren nach DVWG W 400-2 und das Druckprüf- und Kontraktionsverfahren nach DIN EN 805 zur Auswahl. Für Prüfungen an der Testleitung wurde das Kontraktionsverfahren (DIN EN 805) bzw. das Kontraktionsverfahren nach der Druckverlustmethode (DVWG W 400-2) angewendet.

Gründe hierfür sind [42][43]:

- Die vorhandene Leitung besteht aus viskoelastischen Rohren. Diese können nach dem Kontraktionsverfahren geprüft werden,
- Druckrohre aus PE 100 können nach dem Kontraktionsverfahren geprüft werden,
- eine Prüfung nach dem Normalverfahren scheidet aus Zeitgründen aus, da allein die Dauer der Vorprüfung 12 Stunden beträgt,
- das Druckprüfverfahren scheidet ebenfalls aus Zeitgründen aus, da die Dauer der Hauptprüfung mindestens eine Stunde beträgt,
- das beschleunigte Normalverfahren wird nur bei Leitungen aus Gusseisen und Stahl angewendet,
- mit dem Kontraktionsverfahren können aufgrund der insgesamt kürzeren Prüfzeit an einem Tag mehrere Versuche durchgeführt werden.

Wie in Abschnitt 5.1.2.2 beschrieben, gibt es drei Phasen, die jeweils bestanden werden müssen, damit eine Dichtheit der Leitung nachgewiesen ist. Bild 62 zeigt beispielhaft einen Druckverlauf einer Dichtheitsprüfung nach DIN EN 805 und DVGW W 400-2.

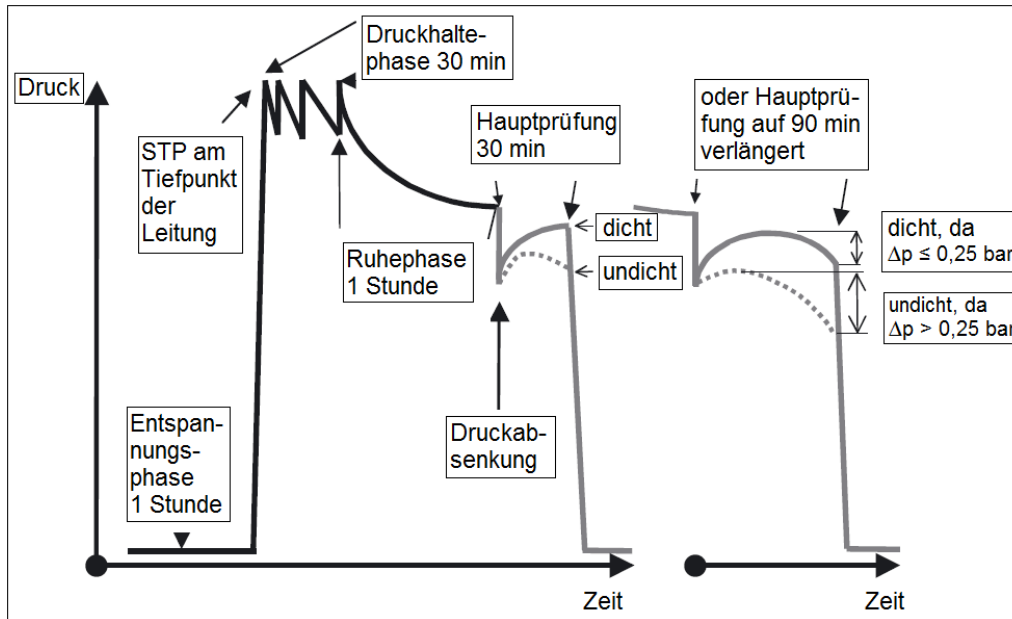


Bild 62 Beispiel Druckverlauf beim Kontraktionsverfahren [23]

Bei der Vorprüfung wird zuerst die Leitung luftfrei mit Wasser gefüllt und ggf. gemolcht, um die Leitung zu reinigen bzw. vorhandene Luftschlüsse zu entfernen (s. Bild 63). Im Anschluss daran wird die Leitung, ohne dass Luft eintreten kann, für eine Stunde entspannt. Der Systemprüfdruck wird innerhalb von 10 min aufgebaut und ist durch kurzes Nachpumpen für 30 min zu halten. Danach ist eine einstündige Ruhephase ohne ein Nachpumpen einzuhalten. In dieser Zeit verformt sich die Druckleitung und, sofern der Druck nicht mehr als 30 % (nach DIN EN 805) bzw. 20 % (nach DVGW W 400-2) vom Systemprüfdruck gefallen ist, gilt die Vorprüfung als bestanden. Falls der Druckabfall größer ist, muss die Prüfung abgebrochen werden, da die Leitung unzulässigen Temperaturerhöhungen ausgesetzt war, eine oder mehrere Leckagen vorliegen oder der Luftanteil in der Leitung zu groß ist. Die Fehler sind zu beseitigen, so dass erst nach einer einstündigen Entspannungsphase die Vorprüfung wiederholt werden darf. [42][43] Es wird ein Druckmessgerät mit einer Auflösung von mindestens 0,05 bar benötigt, das den Druckverlauf während der Dichtheitsprüfung lückenlos aufzeichnet. [42]

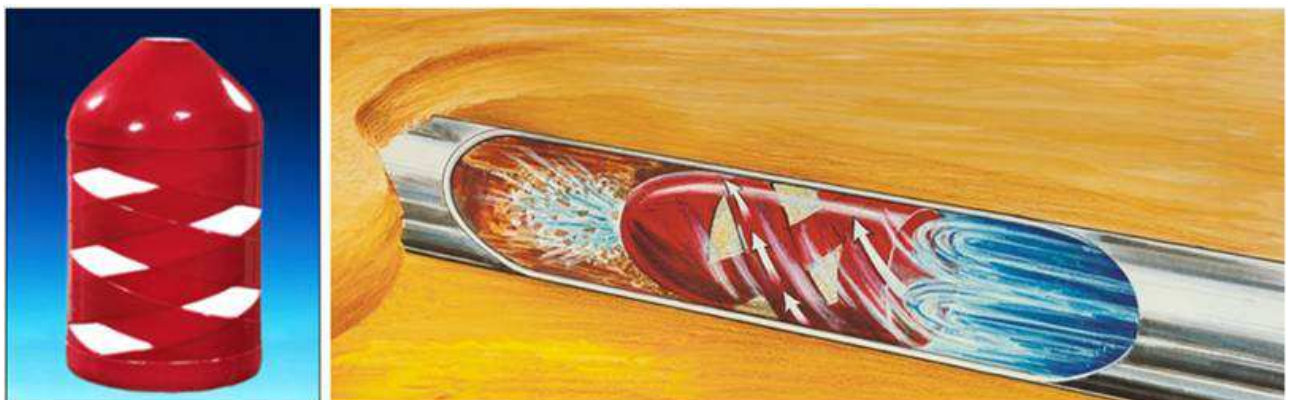


Bild 63 Reinigungsmolch (links) [25], Molchvortrieb in einer Leitung (rechts) [45]

Nach bestandener Vorprüfung folgt die Druckabfallprüfung. Die Druckleitung dehnt sich weiter aus, so dass der Druck in der Leitung kontinuierlich sinkt. Um diesen Prozess zu beenden und die Hauptprüfung einzuleiten, wird innerhalb von 2 min der Druck  $p_{ab}$  nach Tabelle 23 gesenkt (entspricht einer Druckabsenkung nach DVGW W 400-2). Nach DIN EN 805 beträgt der Druckabfall 10% bis 15% vom Systemprüfdruck. In beiden Verfahren wird das Wasser aus dem Prüfabschnitt abgelassen, um den Druckabfall zu realisieren. [42][43]

Die abgelassene Wassermenge  $V_{ab}$  wird in einem Messbehälter aufgefangen. Für Wassermengen kleiner als 1 Liter ist eine Skaleneinteilung von 0,01 Liter und für Wassermengen größer als 1 Liter wird eine Skaleneinteilung von kleiner gleich 0,1 Liter vorgeschrieben. [42]

Tabelle 23 Vorzunehmende Druckabsenkung  $p_{ab}$  [42]

Rohrwerkstoff	E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	SDR	Druckabsenkung $p_{ab}$ [bar]
PE 80	800	SDR 11	2,2
PE 80	800	SDR 7,4	3,6
PE 100	1200	SDR 17	2,0
PE 100	1200	SDR 11	3,2
PE-Xa	800	SDR 11	2,2
PE-Xa	800	SDR 7,3	3,6
PVC-U	3000	SDR 21	3,8
PVC-U	3000	SDR 13,6	5,9

Die Druckabfallprüfung ist nach DVGW W 400-2 bestanden, sofern nach Gleichung (4) die abgelassene Wassermenge  $V_{ab}$  die zulässige Wassermenge  $V_{zul}$  nicht übersteigt.

$$V_{ab} \leq V_{zul} \quad [ml] \quad (4)$$

Die Berechnung der zulässigen Wassermenge  $V_{zul}$  erfolgt nach folgender Gleichung.

$$V_{zul} = V_k \times L \quad [ml] \quad (5)$$

$V_k$  [ml/m] gerechnetes Wasservolumen nach

Tabelle 24

$L$  [m] Länge der geprüften Strecke

Tabelle 24 Exemplarischer Auszug für OD 140 & 160 sowie PE 100 SDR 17 & 11 [42]

OD	PE 100 SDR 17	PE 100 SDR 11
140	29,81	25,39
160	38,93	32,90

Nach DIN EN 805 ist die Druckabfallprüfung bestanden, falls nach Gleichung (6) ebenfalls die abgelassene Wassermenge  $\Delta V$  die zulässige Wassermenge  $\Delta V_{\max}$  nicht übersteigt.

$$\Delta V \leq \Delta V_{\max} \quad [L] \tag{6}$$

Die Berechnung der zulässigen Wassermenge  $\Delta V_{\max}$  erfolgt nach folgender Gleichung.

$$\Delta V_{\max} = 1,2 \times V \times \Delta p \times \left( \frac{1}{E_w} + \frac{D}{e \times E_r} \right) \quad [L] \tag{7}$$

V [liter] Volumen des Prüfabschnittes

$\Delta p$  [bar] gemessener Druckverlust

$E_w$  [bar] kompressionsmodul des Wassers

D [m] Innendurchmesser des Rohres

e [m] Wanddicke des Rohres

$E_r$  [bar] Elastizitätsmodul der Rohrwandung in Umfangsrichtung

Falls die Prüfung nicht bestanden ist, muss die gesamte Druckprüfung abgebrochen, die Rohrleitung entspannt und im Anschluss noch einmal entlüftet werden. [43]

Durch die schnelle Druckabsenkung (Druckabfallprüfung) kontrahiert die Leitung. Diese Kontraktion wird während der Hauptprüfung in der DIN EN 805 sowie in der DVGW W 400-2 genutzt, um eine Aussage über die Dichtheit des Prüfabschnittes zu treffen. Zudem bewirkt die Kontraktion einen Druckanstieg in dem Prüfabschnitt. Der Druckanstieg wird für 30 min beobachtet und sofern der Druckverlauf innerhalb der 30min keine fallende Tendenz aufzeigt, so gilt die Prüfung als bestanden und die Leitung als dicht. Im Zweifelsfall kann die Prüfzeit auf 90 min verlängert werden. Dabei darf der Druck nicht mehr als 0,25 bar, gemessen vom höchsten Druck während der Hauptprüfung, fallen. Falls die Hauptprüfung oder verlängerte Hauptprüfung nicht bestanden werden, gilt die Leitung als undicht. [42][43]

Nach DVGW W 400-2 wird die Druckabfallprüfung in Abhängigkeit von dem verwendeten Rohrwerkstoff durchgeführt. Nach DIN EN 805 wird die Druckabfallprüfung abhängig vom

STP angewendet. Des Weiteren erleichtert das Beispieldiagramm (s. Bild 62) die Durchführung der Dichtheitsprüfung. Wann die Prüfung in die Verlängerung geht, wird nach DIN EN 805 und DVGW W 400-2 nicht näher definiert. Es wird lediglich erwähnt, dass im Zweifelsfall die Prüfung zu verlängern ist. Hierzu fehlen konkrete Grenzwerte, um zu entscheiden, wann die Hauptprüfung in die Verlängerung gehen muss.

### 5.1.3 Österreichisches Regelwerk ÖVGW W 101

Die ÖVGW W 101 [46] beschreibt Druckprüfungen von Wasserrohrleitungen und dient als Leitfaden zur Durchführung nach ÖNORM EN 805 [47] und ÖNORM B 2538 [48]. Diese Normen beinhalten Hilfestellungen zu Durchführungen sowie Erläuterungen zu ausgewählten Verfahren für Dichtheitsprüfungen nicht erdüberdeckter Rohrleitungen, die neu gebaut werden.

Druckprüfungen gelten u.a. für Fern-, Zubringer-, Haupt-, Versorgungs- und Anschlussleitungen sowie Turbinen- und Beschneiungsleitungen. Druckrohre aus Sphäroguss, Stahl, GFK, PVC, und PE können nach diesem Leitfaden geprüft werden. Dieser eignet sich jedoch nicht für Druckleitungen aus Faserzement-, Betonrohren oder Liner. [46]

In dem Leitfaden sind außerdem Angaben bezüglich Prüfausrüstung, -drücke und -abschnitte angegeben. Bei der Prüfausrüstung sind Anforderungen an Pumpen, Druckmessgeräte, Messbehälter für den Wasserablass und Temperaturmessgeräte gestellt. Prüfdrücke und -abschnitte werden analog nach DIN EN 805 gewählt. Zudem sind bei einer Befüllung und Spülung folgende Aspekte von Bedeutung [46]:

- Nutzung von Trinkwasser für Trinkwasserleitungen,
- Befüllung vom tiefsten Punkt des Prüfabschnittes,
- Nutzung von trinkwassertauglichen Schläuchen,
- Nutzung von Streckenschiebern.

Um die Entlüftung sicher zu stellen, sollen [46]:

- an Hochpunkten ausreichend große Entlüftungsventile vorgesehen werden (empfohlen werden für Ortsleitungen 1-2 Zoll und für Transportleitungen DN 50 mind.  $\frac{1}{4}$  des Leitungsquerschnittes),
- bei der Planung Molchschleusen berücksichtigt werden,
- die Füllungen langsam und mit kurzen Pausen geschehen, damit eine optimale Entlüftung stattfindet,
- die Leitungen nach der Füllung mit höherer Fließgeschwindigkeit gespült werden.

Neben Schutzmaßnahmen für das Personal wird auch gefordert, die Temperatureinwirkung gering zu halten. Dies betrifft eine Prüfung bei max. 20°C, Befüllung mit kaltem Wasser oder Beschattung der Rohrleitung. [46]

Als Prüfverfahren wird das Normal- und das Kontraktionsverfahren vorgeschlagen, jedoch nicht nach Wasser- oder Druckverlustverfahren unterschieden. Je Verfahren werden eine Vorprüfung, eine Druckabfallprüfung sowie eine Hauptprüfung durchgeführt. Erst nachdem

alle drei Prüfungen bestanden sind, gilt die Leitung als dicht. Die Vor- und Hauptprüfung werden analog zu der DIN EN 805 durchgeführt. Der Unterschied ist lediglich in der Druckabfallprüfung zu finden. Hier wird eine Druckabsenkung  $\Delta p$  innerhalb von 2 min nach Tabelle 24 empfohlen. [46]

Die dabei entnommene Wassermenge  $\Delta V$  ist zu bestimmen und mit der zulässigen Wassermenge  $\Delta V_{zul}$  nach Gleichung (8) zu vergleichen. [46]

$$\Delta V_{zul} = L \times V_{max} \quad [ml] \tag{8}$$

L [m] Länge des Prüfabschnittes

$V_{max}$  [ml/m] zulässiger Wasserverlust nach  
Tabelle 25

Tabelle 25 Exemplarischer Auszug für OD 140 & 160 sowie PE 100 SDR 17 & 11 [46]

DN/OD [mm]	STP bis 13 bar: $\Delta p = 1,3$ bar	
	PE 100	
	SDR 11	SDR 17
140	19,0	31,7
160	24,7	41,3

Sofern die Gleichung (9) erfüllt ist, so ist die Druckabfallprüfung bestanden.

$$\Delta V \leq \Delta V_{zul} \quad [ml] \tag{9}$$

Vorbereitende Maßnahmen und ausgewählte Prüfverfahren werden detailliert beschrieben. Anhand eines Beispieldiagramms einer Druckprüfung je Verfahren kann der Prüfablauf besser nachvollzogen werden. Zudem beinhaltet die ÖVGW W 101 Beispiele für häufig begangene Fehler. Versuchsdurchführungen werden allerdings nur oberflächlich beschrieben.

#### 5.1.4 Norsk Standard NS 3551

Die NS 3551:1986 [49] legt Regeln für Dichtheitsprüfungen von Freispiegelleitungen, Druckleitungen und Schachtbrunnen in Norwegen fest. Der Prüfdruck wird mit Hilfe von Wasser aufgebaut.

Auf folgende Prüfausrüstung wird detailliert eingegangen: [49]

- Belüftungs-, Sicherheits-, Absperr- und Entleerungsventil,
- Zuführungsvorrichtung sowie Dichtungsstopfen,

- Druckmessgerät und Wasserzähler.

Zudem wird der Anschluss der Prüfausrüstung schematisch dargestellt. Folgende Randbedingungen müssen eingehalten werden, so dass [49]:

- die Druckleitung während der Prüfung sich nicht verdrehen kann,
- bei Dichtheitsprüfungen alle Ventile geschlossen sind,
- das Entlüftungsventil am höchsten Punkt angebracht und während der Befüllung geöffnet ist,
- die zugeführte Wassermenge genau gemessen wird,
- bei einem Betriebsdruck  $PN < 10$  bar ein Prüfdruck von mindestens 1,5 PN und bei einem Betriebsdruck  $PN > 10$  bar ein Prüfdruck von mindestens  $PN + 5$  bar aufgebracht wird,
- in der Prüfstrecke eine Druckdifferenz an der höchsten Stelle während der Prüfung mindestens 1,1 PN beträgt,
- die größte zugeführte oder abgelassene Wassermenge pro Zeiteinheit nicht größer als die Grenzwassermenge in Tabelle 26 ist.

Tabelle 26 Grenzwassermenge pro Sekunde je für Innendurchmesser 100-500 [49]

Ungefährer Innendurchmesser [mm]	100	125	150	200	250	300	400	500
Wassermenge pro Sekunde [L/s]	0,3	0,5	0,7	1,2	1,9	2,7	4,8	7,5

Bei der Dichtheitsprüfung wird nach den zu prüfenden Materialien unterschieden. So gibt es unterschiedliche Prüfungen zu Leitungen aus [49]:

- Stahl und Gusseisen mit Zementmörtelauskleidung,
- Beton, Stahl und Gusseisen ohne Zementmörtelauskleidung,
- Kunststoffleitungen.

Bei Leitungen aus Stahl und Gusseisen mit Zementmörtelauskleidung wird die Leitung vollständig mit Wasser gefüllt. Der vorhandene Druck  $p_1$  wird gemessen und bis zum Prüfdruck erhöht. Die für diese Druckerhöhung verbrauchte Wassermenge  $q_{v1}$  wird ebenfalls gemessen. Der Ausgangsdruck  $p_1$  und die Wassermenge  $q_{v1}$  ergeben zusammen den Punkt 1 zum Zeitpunkt  $t_1$  (s. Bild 64). Nach Tabelle 27 wird das Zeitintervall  $\Delta t$  bestimmt und im Anschluss der gesunkene Druck  $p_2$  zum Zeitpunkt  $(t_1 + \Delta t)$  erneut abgelesen. Der Prüfdruck wird wieder hergestellt, indem die Wassermenge  $q_{v2}$  in die Leitung gepumpt wird. Der Druck  $p_2$  und die Wassermenge  $q_{v2}$  ergeben zusammen den Punkt 2 zum Zeitpunkt  $(t_1 + \Delta t)$ . Der gesunkene Druck und die zugegebene Wassermenge werden in gleichen Zeitintervallen  $\Delta t$  wiederholt. Die Messwerte werden mit den Punkten in eine Grafik, wie in Bild 64 dargestellt, eingetragen. Die einzelnen Punkte werden miteinander linear verbunden. Die Leitung gilt als dicht,

wenn die Verlängerungslinie der beiden letzten Punkte die x-Achse im Prüfdruck  $p_{\text{prüf}}$  innerhalb der angegebenen Toleranzen schneidet. [49]

Tabelle 27 Bestimmung Zeitintervall in Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser [49]

Rohrdurchmesser [mm]	Zeitintervall $\Delta t$
kleiner als 400	mindestens 30 min
größer als 400	mindestens 60 min

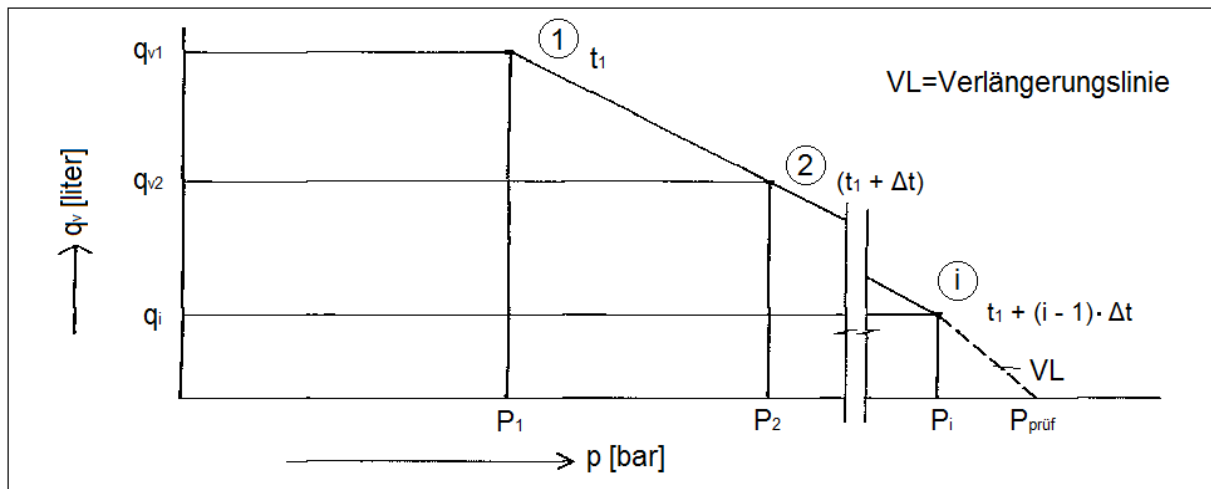


Bild 64 Verhältnis zwischen Druck und zugeführter Wassermenge [49]

Bei Leitungen aus Beton, Stahl und Gusseisen ohne Zementmörtelauskleidung wird die Leitung zunächst 4 Stunden lang mit Wasser gefüllt. Der Prüfdruck wird für mindestens 2 Stunden gehalten. [49]

Für Kunststoffleitungen gelten dieselben Randbedingungen. Als Ausnahme sind Leitungen, deren Betriebsdruck  $PN > 10$  bar aufweisen, zu nennen. Bei diesen Leitungen wird mindestens mit  $1,3 PN$  geprüft. Zudem müssen nachfolgende Bedingungen eingehalten werden:

- Frühestens 2 Tage nach Beendigung der Leitungsarbeiten darf geprüft werden.
- Die Leitung muss unter konstantem Druck gestanden haben, der mindestens 2 Tage zwischen 0 bar und dem Betriebsdruck lag.
- In den letzten 8 Stunden darf der Druck nicht mehr als  $\pm 5 \%$  abweichen.
- Während der Prüfung darf die Durchschnittstemperatur des Rohres  $30^\circ\text{C}$  nicht übersteigen.

- Der Temperaturunterschied zwischen dem zugeführten Wasser und in der Leitung befindlichem Wasser darf nicht mehr als 3°C betragen.

Bei den Prüfungen wird zwischen Leitungen mit einem Betriebsdruck PN größer und kleiner als 10 bar unterschieden.

Für Leitungen mit einem Betriebsdruck kleiner 10 bar müssen nachfolgende Prüfschritte durchgeführt werden: [49]

1. Der Leitung wird zu einem Zeitpunkt  $t_1 = 0$  ein Druck  $PN + 0,33$  zugeführt und  $120 \pm 5$  Minuten bis zum Zeitpunkt  $t_2$  konstant gehalten.
2. Zum Zeitpunkt  $t_2$  wird der Druck innerhalb von 2 Minuten auf  $1,5 PN$  angehoben und über  $40 \pm 1$  Minuten bis zum Zeitpunkt  $t_3$  konstant gehalten.
3. Zum Zeitpunkt  $t_3$  wird der Druck innerhalb von 2 Minuten auf  $PN + 0,33$  abgesenkt und über  $25 \pm 1$  Minuten bis zum Zeitpunkt  $t_4$  konstant gehalten.
4. Ab dem Zeitpunkt  $t_4$  wird die Leitung für  $40 \pm 1$  Minuten bis zum Zeitpunkt  $t_5$  kein Wasser zu- oder abgeführt.
5. Zum Zeitpunkt  $t_5$  wird die Wassermenge  $Q$  gemessen, die in die Rohrleitung gepumpt werden muss, damit der Druck stabil bei  $PN + 0,33$  bleibt.

Für Leitungen mit einem Betriebsdruck größer 10 bar müssen nachfolgende Prüfschritte durchgeführt: [49]

1. Der Leitung wird zu einem Zeitpunkt  $t_1 = 0$  ein Druck  $PN + 0,23$  zugeführt und  $120 \pm 5$  Minuten bis zum Zeitpunkt  $t_2$  konstant gehalten.
2. Zum Zeitpunkt  $t_2$  wird der Druck innerhalb von 2 Minuten auf  $1,3 PN$  angehoben und über  $40 \pm 1$  Minuten bis zum Zeitpunkt  $t_3$  konstant gehalten.
3. Zum Zeitpunkt  $t_3$  wird der Druck innerhalb von 2 Minuten auf  $PN + 0,23$  abgesenkt und über  $25 \pm 1$  Minuten bis zum Zeitpunkt  $t_4$  konstant gehalten.
4. Ab dem Zeitpunkt  $t_4$  wird die Leitung für  $40 \pm 1$  Minuten bis zum Zeitpunkt  $t_5$  kein Wasser zu- oder abgeführt.
5. Zum Zeitpunkt  $t_5$  wird die Wassermenge  $Q$  gemessen, die in die Rohrleitung gepumpt werden muss, damit der Druck stabil bei  $PN + 0,23$  bleibt.

Prüfungen werden nach verschiedene Rohrwerkstoffe unterschieden und näher erläutert. Zwar werden Prüfungen an Stahl und Gusseisen mit Zementmörtelauskleidung detailliert beschrieben, doch Prüfungen an Stahl und Gusseisen ohne Zementmörtelauskleidung wird keine weitere Beachtung geschenkt. Bei Prüfungen an Kunststoffleitungen fehlen Grenzwerte gänzlich, um eine Aussage über die Dichtheit treffen zu können.

### 5.1.5 Vergleich der Normen und Regelwerke zu Druckleitungen

In Deutschland beschreibt die Norm DIN EN 805 Dichtheitsprüfungen an Druckleitungen. Ergänzende und weiterführende Informationen wie z.B. Anforderungen an Messgeräte und an den Ablauf der Prüfungen stellt das Regelwerk DVGW W 400-2 zusammen. In der DIN

EN 805 wird nicht zwischen Rohrmaterialien und Nennweiten unterschieden. Es wird aber ein alternatives Prüfverfahren für Rohre mit viskoelastischem Verhalten vorgestellt. Dagegen unterscheiden sich die Prüfungen in DVGW W 400-2 dahingehend, dass bei Leitungen in Abhängigkeit der Nennweite und des Materials unterschiedliche Prüfverfahren vorgeschrieben sind. Hauptbestandteile sind in beiden Fällen eine Vor-, Druckabfall- und eine Hauptprüfung.

Dieselben Hauptbestandteile beinhaltet auch ÖVGW W 101. Ausgewählte Prüfverfahren werden auf Grundlage der ÖNORM EN 805 und ÖNORM B 2538 näher beschrieben. Der Prüfablauf ähnelt dem der DIN EN 805, jedoch sind Unterschiede in der Druckabfallprüfung auszumachen. Dort ähnelt der Prüfablauf dem Vorgehen in DVGW W 400-2, in welcher die zulässige Wassermenge je nach Nennweite berechnet werden muss.

Die NS 3551 bietet ebenfalls mehrere Prüfverfahren an. Diese beziehen sich auf die verwendeten Rohrmaterialien. Jedoch unterscheiden sie sich von den bisher erwähnten Normen und Regelwerken. Bei Leitungen aus Stahl wird der Prüfdruck in bestimmten Intervallen aufrecht gehalten, in das Prüfdiagramm eingetragen und anschließend geometrisch ausgewertet. Bei Kunststoffleitungen wird innerhalb von zeitlichen Vorgaben der Prüfdruck auf vorgegebene Drücke gesteigert und gemindert. Prüfgrenzen fehlen jedoch bei dieser Prüfung.

Dichtheitsprüfungen sind in den Normen und Regelwerken (vgl. im Anhang A.1) nur für Trinkwasserleitungen ausgelegt. Abwasserdruckleitungen können nur sinngemäß erfasst werden. Lediglich in der norwegischen Norm wird nicht zwischen Trink- und Abwasserdruckleitung unterschieden. Bei allen Normen sind die Prüfverfahren auf die jeweiligen Rohrmaterialien abgestimmt

Jede Norm bzw. jedes Regelwerk beschreibt neben vorbereitenden Arbeiten zusätzliche Prüfbedingungen, wie z.B. dass das Wasser vom tiefsten Punkt aus frei von Lufteinschlüssen in die Druckleitung gefüllt werden muss. Der Prüfdruck variiert zwischen Betriebsdruck und 1,5 x Betriebsdruck bzw. Betriebsdruck + 5 bar. Zudem weisen die Normen und Regelwerke unterschiedliche Prüfzeiten auf. Während die „kürzeren“ Prüfungen knapp 132 min in Anspruch nehmen, dauert das „lange“ Prüfverfahren knapp 60% länger (227 min).

#### 5.1.6 Fazit und weiterer Optimierungsbedarf

Die Recherche hat gezeigt, dass durchaus **nationale sowie internationale Regelwerke und Normen existieren, um eine Dichtheitsprüfung für Druckleitungen** durchzuführen.

Insgesamt sind jedoch **große Unterschiede in der Vorgehensweise** zu beobachten. Keines der Regelwerke weist **explizit auf Abwasserdruckleitungen** hin. Es werden lediglich einzelne Prüfverfahren vorgestellt. An dieser Stelle sei zu erwähnen, dass die Aussagekraft der einzelnen Prüfverfahren nicht beurteilt werden kann. **Hierzu könnten weitere Tests zielführend sein, um die Effektivität einzelner Prüfverfahren genauer zu beurteilen.**

Alle Regelwerke und Normen gehen darüber hinaus nicht auf betriebliche Fragestellungen ein, so dass Ansätze zum Umgang mit Abwasserdruckleitungen im Betrieb nicht zu erkennen sind. **Aus diesem Grunde erscheint es sinnvoll, künftig ein Merkblatt für den Betrieb und insbesondere die Prüfung von Abwasserdruckleitungen zu formulieren.**

## 5.2 Dichtheitsprüfungen durch das IKT

In diesem Abschnitt soll nunmehr untersucht werden, ob eine zeitliche Verkürzung der Dichtheitsprüfung nach DIN EN 805 bzw. DVGW W 400-2 möglich ist. Ziel ist es, ein Verfahren zu entwickeln, mit welchem in einer kurzen Zeit eine sichere Aussage getroffen werden kann, ob eine Leitung dicht oder undicht ist.

### 5.2.1 Prüfkriterien und –randbedingungen

Um Dichtheitsprüfungen an Bestandsleitungen möglichst genau abzubilden, sollen für die Versuchsstrecke unterschiedliche Prüfkriterien und Prüfrandbedingungen variiert und untersucht werden. Zudem sollen Grenzwerte ermittelt und die Prüfung nach DIN EN 805 bzw. DVGW W 400-2 optimiert werden. Klassische Prüfkriterien bzw. Prüfrandbedingungen sind dabei (s. Bild 65):

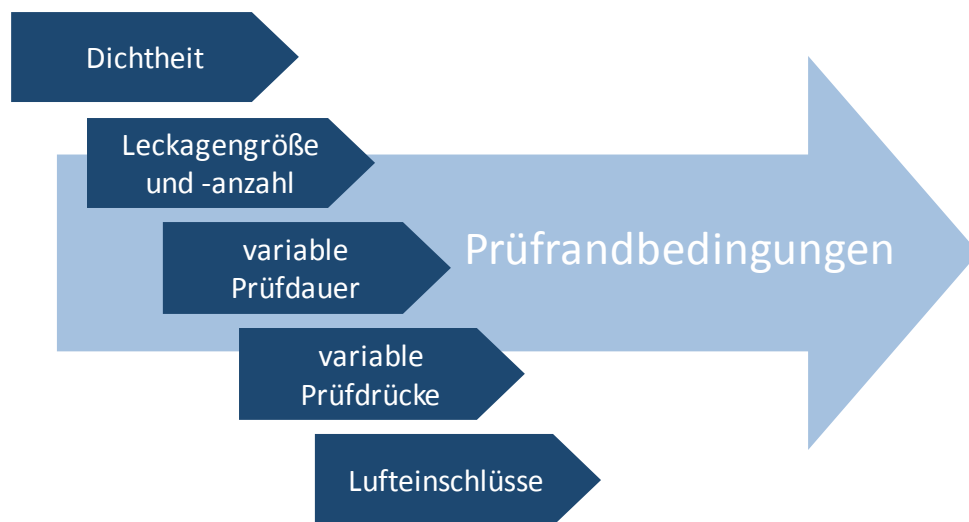


Bild 65 Prüfkriterien und –randbedingungen für Dichtheitsprüfungen

Für die durchgeführten Prüfungen sind die meisten Randbedingungen weitestgehend identisch. Allerdings wird je nach Prüfung ein Parameter wie z.B. Leckagengröße, Luftpfeinschlüsse oder Prüfdruck variiert. So kann das Ergebnis des veränderten Prüfparameters mit den anderen Prüfungen verglichen werden. Des Weiteren wird darauf geachtet, dass

- die Leckage 1 am Ventil im Abschnitt 3 und Leckage 2 am Ventil im Abschnitt 1 angeordnet ist (vgl. Bild 32 und Bild 30),
- die Oberflächentemperatur des Rohres stets über 20°C beträgt,
- innerhalb einer Prüfung die Außentemperatur nicht schwankt,
- die Dichtheit der gesamten Leitung, außer an den erzeugten Leckagen, sichergestellt und ggf. undichte Stellen ausgebessert werden,
- die Prüfgeräte kalibriert sind,

- die Messgeräte am tiefsten Punkt der Druckleitung angeschlossen sind,
- die Druckleitung gesäubert ist,
- Zugangsmöglichkeiten gewährleistet sind,
- die Prüfungen auf Abwasserdruckleitungen übertragen werden können.

### 5.2.2 Prüfprogramm

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

Durch die Vorprüfungen wurde festgestellt, dass in der Versuchsstrecke ein Lufteinschluss von 8 % des Gesamtvolumens zu einer **nicht bestandenen Dichtheitsprüfung** führt. Deshalb werden für die Hauptprüfungen die Lufteinschlüsse reduziert.

Mit 1,25 % und 2,5 % Lufteinschlüsse wird darüber hinaus versucht, die ungefähre Grenzmenge zu ermitteln, in der die Druckleitung noch geprüft werden kann, ohne dass die Druckabfallprüfung scheitert.

Ferner wird der Leckagendurchmesser reduziert. Hierzu werden Leckagendurchmesser von 55 µm und 80 µm gewählt.

Das gesamte Prüfprogramm ist der folgenden Tabelle zu entnehmen. Es beinhaltet die in Abschnitt 5.2.1 erwähnten Prüfrandbedingungen und -kriterien. Die verwendeten Geräte und Hilfsmittel sowie der Versuchsaufbau und die Versuchsdurchführung wurden im Hinblick auf die bereits durchgeführten Vorprüfungen nicht mehr verändert (vgl. Kapitel 4.3.3).

Tabelle 28 IKT Prüfprogramm

Druck [bar]	Prüfdauer [min]	Lufteinschluss [%]	Leckage [ $\mu\text{m}$ ]	
			Anzahl	Größe
8	nach Norm 192 min	ohne	2	80
		ohne	1	80
		ohne	2	55
		ohne	1	55
	verkürzt 30 min	2,5	keine	
		2,5	1	55
		1,25	keine	
		1,25	1	55
		ohne	keine	
4	nach Norm 192 min	ohne	2	80
		ohne	1	80
		ohne	2	55
		ohne	1	55
	verkürzt 30 min	2,5	keine	
		2,5	1	55
		1,25	keine	
		1,25	1	55
		ohne	keine	
6	nach Norm 192 min	1,25	keine	
	verkürzt 48 min	1,25	1	55
5	nach Norm 192 min	1,25	keine	
	verkürzt 48 min	1,25	1	55

### 5.2.3 Hauptprüfungen durch das IKT

Im Rahmen der Hauptprüfungen werden jeweils vier Versuche zusammengefasst und miteinander verglichen. In erster Linie wird sowohl mit unterschiedlicher Prüfdauer als auch mit den Prüfdrücken 8 bar und 4 bar geprüft (s. Bild 66). Aus technischen Gründen kann ein höherer Prüfdruck nicht aufgebracht werden, so dass der Prüfdruck von 8 bar den maximal möglichen Prüfdruck darstellt. Ebenso werden Leckagen sowie Luft einschüsse berücksichtigt.



Bild 66 Bevorzugte Prüfreihenfolge mit den Prüfdrücken 8 bar und 4 bar sowie unterschiedlicher Prüfdauer

Eine Prüfung durchläuft immer alle 4 (Haupt-) Phasen, so dass verschiedene Kombinationen aus Luft einschuss und eingebrachter Leckage abgedeckt werden. In folgender Abbildung kann der zeitlich reduzierte Prüfablauf eingesehen werden.

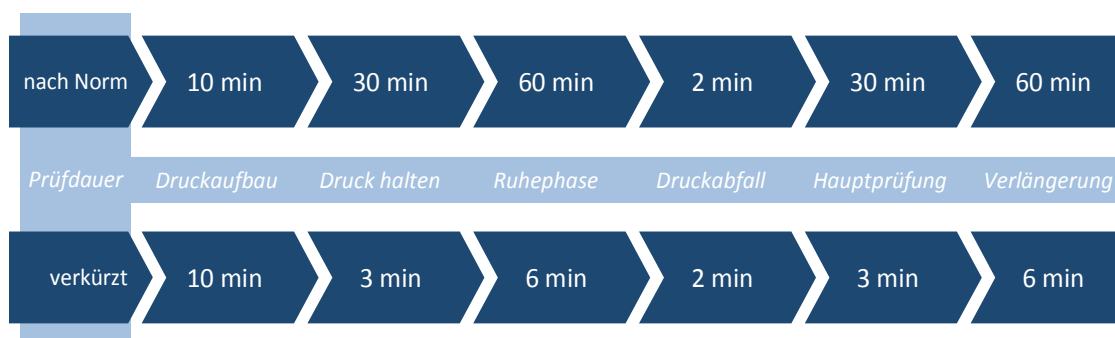


Bild 67 Prüfablauf mit der Prüfdauer nach Norm und verkürzt

Die einzelnen Ergebnisse des Prüfprogramms können in Form von Prüfprotokollen im Anhang eingesehen werden.

### Analyse und Vergleich der Ergebnisse der Hauptprüfung

Durch einen Vergleich der Hauptprüfungen (siehe Prüfergebnisse im Anhang) ist festzuhalten, dass alle hinzugefügten Leckagekombinationen erkannt wurden. Zudem war auffällig, dass bei Prüfungen mit Lufteinschlüssen stets ein geringer Druckabfall während der Hauptprüfung zu erkennen war. Aufgrund einer festgelegten Messtoleranz von  $\pm 12$  mbar wurden Prüfungen ohne Leckage und mit einer Druckabsenkung von max. 11 bar als bestanden gekennzeichnet.

Größere Leckagen mit einem Durchmesser von 2 x 80  $\mu\text{m}$  oder 2 x 55  $\mu\text{m}$  sorgten bereits im Rahmen der Vorprüfung für ein Nichtbestehen der Prüfung. Trotz der nicht bestandenen Vorprüfung wurden die Gesamtprüfungen für eine vergleichende Untersuchung aller Prüfungen dennoch weiter ausgeführt.

Die vorhandene Lufteinschlüsse von 2,5 % wurden in der Kombination mit und ohne Leckage bei allen Prüfungen im Zuge der Druckabfallprüfung erkannt.

Unterschiedliche Ergebnisse konnten jedoch bei den Prüfungen mit 1,25 % Lufteinschlüsse ermittelt werden. Die Lufteinschlüsse wurden bei einem Prüfdruck von 4 bar im Gegensatz zu Prüfungen mit 8 bar erkannt und führten zu einer nicht bestandenen Druckabfallprüfung. Geringe Prüfdrücke bewirken also, dass verhältnismäßig mehr Wasser aus der Druckleitung abgelassen wird als bei den Prüfungen mit 8 bar.

Als besonders wichtig erweist sich zudem die Bedingung, dass nach normgerechter Prüfung der Druck **während der Ruhephase nicht mehr als 20% (30% nach DIN EN 805) fallen darf**. Aufgrund der nunmehr verkürzten Prüfung kann dieses Kriterium keine Anwendung mehr finden. Die Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass bei zeitlich verkürzten Prüfungen der Druckabfall während der Ruhephase **nicht mehr als 8-9% des maximalen Prüfdrucks betrug**, wenn die Testleitung nicht mehr als 2,5% Luft beinhaltete sowie keine Leckagen vorgesehen wurden. Bei Berücksichtigung von Leckagen (unabhängig der Größe) betrug der Druckabfall mehr als 10%, so dass für weitere Untersuchungen der **Grenzwert für den Druckabfall während der Ruhephase für verkürzte Prüfungen mit 10%** angenommen und auch festgelegt wird.

#### **5.2.4 Erweiterte Prüfungen durch das IKT**

Auf Basis der durchgeführten Hauptprüfungen können differenzierte Aussagen über Dichtheitsprüfungen getroffen werden. Offene Punkte und Fragestellungen werden nachfolgend durch die erweiterten Prüfungen geklärt, so dass die Prüfungen weitergehende Erkenntnisse in Bezug auf Dichtheitsprüfungen geben sollen. Diese sind u.a.:

- Abhängigkeit des Prüfdruckes und der abgelassenen Wassermenge
- Prüfungen mit erneut unterschiedlichen Prüfzeiten
- Überprüfung der bestandenen verkürzten Prüfungen trotz Leckage

Nachfolgend werden erneut ähnliche Prüfungen zusammengefasst. Um die offenen Punkte zu klären, durchlaufen die Prüfungen folgende Phasen (s. Bild 68):

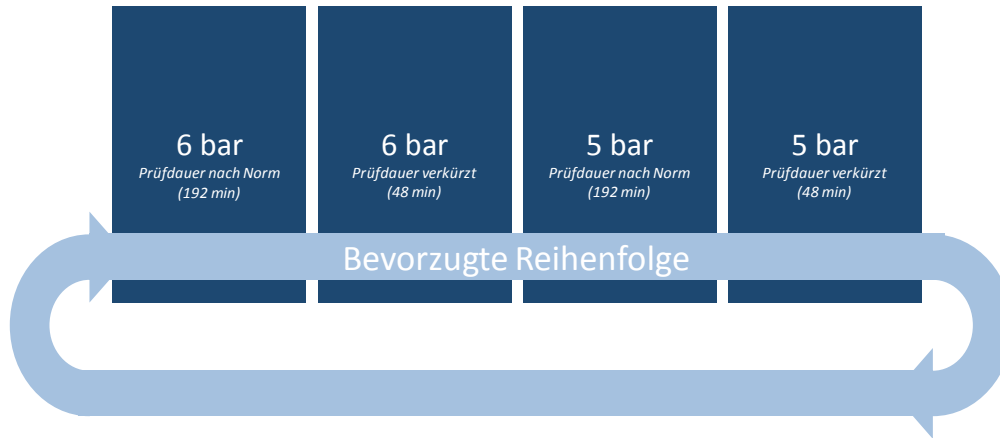


Bild 68 Bevorzugte Prüfreihenfolge mit den Prüfdrücken 6 bar und 5 bar sowie unterschiedlicher Prüfdauer

Für die erweiterten Versuche wurde eine Verdopplung der verkürzten Prüfdauer gewählt (ca. ein Fünftel der ursprünglichen Prüfzeit) (s. Bild 69).

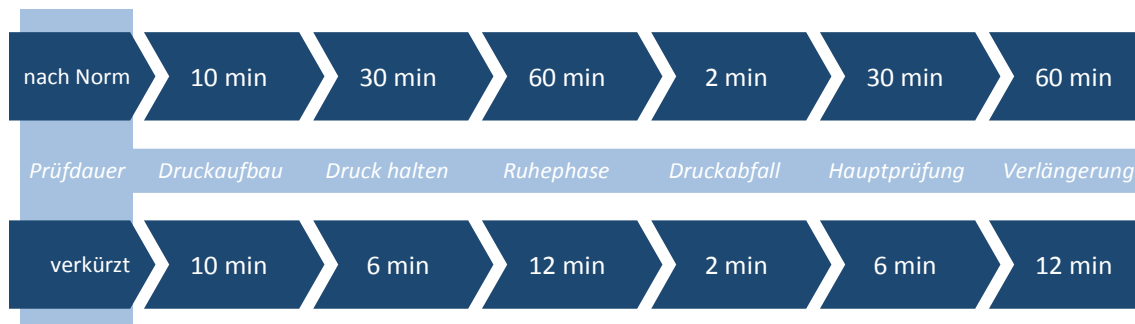


Bild 69 Prüfablauf nach Norm und verkürzt

**Analyse und Vergleich der Ergebnisse der erweiterten Prüfungen**

Anhand der ergänzenden Prüfungen (siehe Prüfergebnisse im Anhang) ist der Zusammenhang zwischen Prüfdruck und abgelassener Wassermenge besser zu erkennen. Während bei einem Prüfdruck von 6 bar und einem Lufteinschluss von 1,25 % die Druckabfallprüfung bestanden wird, fallen Prüfungen mit einem Prüfdruck von 5 bar und gleichem Lufteinschluss durch, wohingegen bei der Kombination aus Lufteinschluss (1,25 %) und Leckage (55 µm) die Leckage immer erkannt wurde. Bei Prüfungen mit 5 bar Prüfdruck konnten ebenso Leckagen und die geringen Lufteinschlüsse entdeckt werden.

Dies bestätigt, dass Druckleitungen mit nicht zu geringen Prüfdrücken geprüft werden sollten.

## 5.3 Zusammenfassung der Prüfergebnisse

### 5.3.1 Analyse der Ergebnisse

Die umfangreichen Versuche haben gezeigt, dass Dichtheitsprüfungen an der IKT-eigenen Testdruckleitung nach DIN EN 805 und DVGW W 400-2 präzise realisiert werden können. Die gewählten Prüfkriterien und –parameter (Abschnitt 5.2.1), welche unterschiedliche Situationen im Bestand darstellen sollen, konnten im Zuge der Prüfungen allesamt untersucht werden. Hierzu wurden Prüfungen unter Berücksichtigung einer verkürzten und einer norm- bzw. regelwerkkonformen Prüfdauer mit Systemprüfdrücken von 8, 6, 5 und 4 bar miteinander verglichen.

Bei der mit Wasser vollständig gefüllten Druckleitung wurden vorhandene Leckagen mit einem Leckagendurchmesser ab 55 µm entdeckt, was folglich zu einem Nichtbestehen der Haupt- bzw. verlängerten Hauptprüfung geführt hatte. Ab einer Leckagengröße 2 x 55 µm war bereits ein Scheitern der Vorprüfung zu erkennen. Ein Leckagendurchmesser von 80 µm wurde bereits in der Druckhaltephase erkannt.

Undichtheiten konnten demnach aufgrund des charakteristischen Druckverlaufes festgestellt werden. Dennoch konnte im Druckverlauf kein Unterschied ausgemacht werden, ob der Bereich um die Leckage herum mit Wasser oder Luft befüllt war. Alle Leckagen wurden sowohl mit einem Prüfdruck von 4 bar als auch 8 bar sowie einer normkonformen bzw. verkürzten Prüfdauer erkannt.

Für Prüfungen mit Lufteinschlüssen gilt, dass bereits 2,5 % Lufteinschlüsse, bezogen auf das Gesamtvolumen des zu prüfenden Abschnittes, für ein Nichtbestehen der Druckabfallprüfung sorgen. Sofern die Lufteinschlüsse nicht mehr als 1,25 % des Gesamtvolumens betragen, ist mit einem Bestehen der Druckabfallprüfung (8 bar) zu rechnen. Somit bleibt festzuhalten, dass die Druckleitung nicht absolut frei von Lufteinschlüssen sein muss.

Verkürzte Prüfungen mit 8 bar Prüfdruck weisen ähnliche Ergebnisse auf, wie die Prüfungen mit 8 bar Prüfdruck und einer normkonformen Prüfdauer. Sofern in der Druckleitung keine Lufteinschlüsse zu verzeichnen sind, weisen verkürzte Prüfungen mit 4 bar Prüfdruck ebenfalls ähnliche Ergebnisse auf wie normkonforme Prüfungen mit 4 bar Prüfdruck. Insgesamt beziehen sich die Ergebnisse stets auf die Aussage, ob eine Druckleitung dicht oder undicht bzw. ob sie frei von Lufteinschlüssen ist. Die abgelassene Wassermenge ist allein von dem Prüfdruck abhängig, so dass die Prüfdauer in diesem speziellen Fall nicht relevant ist. So können Prüfungen nach Norm zeitlich deutlich kürzer geprüft werden. Jedoch entstehen bei zeitlich kürzeren Prüfungen mit 4 bar Druck und Lufteinschlüssen leichte Abweichungen, die eine intensivere Interpretation der Ergebnisse nach sich ziehen.

Insgesamt kann unter Berücksichtigung der festgelegten Randbedingungen folgendes festgestellt werden:

- Leckagen werden (speziell an dieser Testleitung) grundsätzlich immer sofort erkannt.
- Lufteinschlüsse werden ebenso grundsätzlich sofort erkannt.
- Zeitlich kurze Prüfungen erlauben eine Aussage hinsichtlich der Dichtheit einer Leitung.

- Trotz Lufteinschlüsse ist eine Aussage hinsichtlich der Dichtheit möglich. Hierzu ist der graphische Druckverlauf genau zu interpretieren.
- Zur Beurteilung der Dichtheit auf Basis der zeitlich verkürzten Prüfung sind sehr gute Kenntnisse bzgl. Material, Hydraulik etc. notwendig.

In Tabelle 29 werden alle Prüfergebnisse zusammengefasst.

Tabelle 29 Ergebnistabelle der durchgeführten Dichtheitsprüfungen

Prüfdruck, -dauer	Leckagen- größe [µm]	Luft- einschluss [%]	Leckage erkannt?	Luft- einschluss erkannt?	Ergebnis nach Hauptprüfung	erwartetes Ergebnis nach Norm
8 bar, nach Norm	80		✓		nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	80		✓		nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55		✓		nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55		✓		nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
		2,5		✓	bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55	2,5	✓	✓	nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
		1,25		✗	bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55	1,25	✓	✗	nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
					bestanden	bestanden
8 bar, verkürzt	80		✓		nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	80		✓		nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55		✓		nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55		✓		nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
		2,5		✓	bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55	2,5	✓	✓	nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
		1,25		✗	bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55	1,25	✓	✗	nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
					bestanden	bestanden
4 bar, nach Norm	80		✓		nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	80		✓		nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55		✓		nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55		✓		nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung

		2,5		✓	bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55	2,5	✓	✓	nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
		1,25		✓	bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55	1,25	✓	✓	nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
					bestanden	bestanden
<b>4 bar, gekürzt</b>	80		✓		nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	80		✓		nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55		✓		nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55		✓		nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
		2,5		✓	bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55	2,5	✓	✓	nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
		1,25		✓	bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55	1,25	✓	✓	nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
					bestanden	bestanden
<b>6 bar, nach Norm</b>		1,25		✗	bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55	1,25	✓	✗	nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
<b>6 bar, gekürzt</b>		1,25		✗	bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55	1,25	✓	✗	nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
<b>5 bar, nach Norm</b>		1,25		✓	bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55	1,25	✓	✓	nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
<b>5 bar, gekürzt</b>		1,25		✓	bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung
	55	1,25	✓	✓	nicht bestanden	Abbruch nach Druckabfallprüfung

### 5.3.2 Abhängigkeit etwaiger Parameter

Die Analyse der Prüfergebnisse zeigt, dass Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Prüfparametern vorliegen. In der Druckhaltephase bewirken große Leckagendurchmesser (0,8 mm), dass der Prüfdruck bereits deutlich abfällt und kaum gehalten werden kann. Leckagendurchmesser größer 2 x 55 µm sorgen während der Ruhephase für ein Nichtbestehen. Kleinere Leckagendurchmesser (55 µm) bewirken dagegen, dass die Hauptprüfung bzw. verlängerte Hauptprüfung nicht bestanden wird.

Sofern in der Abwasserdruckleitung mehr als 2,5% Lufteinschlüsse vorhanden sind, führen diese zu einem Nichtbestehen der Druckabfallprüfung, **wobei dennoch eine Aussage bzgl. der Dichtheit getroffen werden kann, da die Hauptprüfung bestanden wird.** Bei vorhandenen Lufteinschlüssen gilt, dass je geringer der Prüfdruck ist, desto mehr übersteigt die abgelassene Wassermenge die zulässige Ablassmenge. Hierzu sollten Grenzwerte angepasst werden, so dass auch mit geringen Prüfdrücken die Druckabfallprüfung bestanden werden kann.

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

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

In Bezug auf die zeitlich verkürzten Dichtheitsprüfungen besteht für folgende Randbedingungen noch Forschungsbedarf:

- Die Ergebnisse gelten derzeit nur für PE-Leitungen. Weitere Rohrwerkstoffe sind dementsprechend zu untersuchen.
- Analog dazu sollten weitere Durchmesser untersucht werden.
- Der Einfluss der Rohrleitungslänge auf verkürzte Dichtheitsprüfungen sollte ebenso überprüft werden.
- Schließlich sollten weitere Kombinationen aus Leckage und Lufteinschluss untersucht werden.

## 6 Schadensrisiken

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

Das Risiko wird nach ISO 31000 „Risk management – Principles and guidelines“ [50] als Auswirkungen eines Ereignisses in Verbindungen mit seiner Eintrittswahrscheinlichkeit beschrieben. Eine Risikobeurteilung umfasst entsprechend der Norm die drei Punkte Risikoidentifikation, -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. Im Rahmen der Phase I des Forschungsvorhabens „Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und -dükern – Handlungsempfehlungen unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten“ wurden Handlungsempfehlungen erarbeitet, die ein mögliches Vorgehen zur Festlegung des notwendigen Umfangs von Zustandserfassungsmaßnahmen an Abwasserdruckleitungen aufzeigen [5]. Vorgeschlagen wird ein dreistufiges Vorgehen, bei dem Maßnahmen auf Basis einer Risikobeurteilung bezüglich Schadens- bzw. Betriebsausfällen der Leitungen eingeleitet werden. Da bislang zuverlässige Bewertungsgrundlagen zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit eines Schadens- bzw. Betriebsausfalls einer Leitung fehlen, können die Schadensrisiken derzeit nur auf Basis der Erfahrungen des Betreibers („Ingenieurverstand“) abgeschätzt werden.

Im Rahmen der Phase II wird aus diesem Grund ein Risikoansatz in Anlehnung an die ISO 31000 gewählt, der im Folgenden ausführlich erklärt wird. Der Schwerpunkt liegt dabei in der Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit sowie des Schadensausmaßes.

## 6.1 Der Risikomanagementprozess

Risikomanagement lässt sich im Allgemeinen als eine organisatorische Maßnahme bzw. organisatorischen Prozess im Umgang mit Projektrisiken beschreiben. Das Ziel besteht darin, die Risiken zu identifizieren, zu analysieren und zu bewerten [50].

Risikomanagement versteht sich als integraler Prozess eines Bauprojektes und macht somit einen Teil der Planungsaufgaben während eines Projektes aus. Somit ergeben sich für die Ermittlung der Schadensrisiken bei Abwasserdruckleitungen mehrere Teilprozesse, deren Struktur und Ablauf dem Bild 70 entnommen werden können.

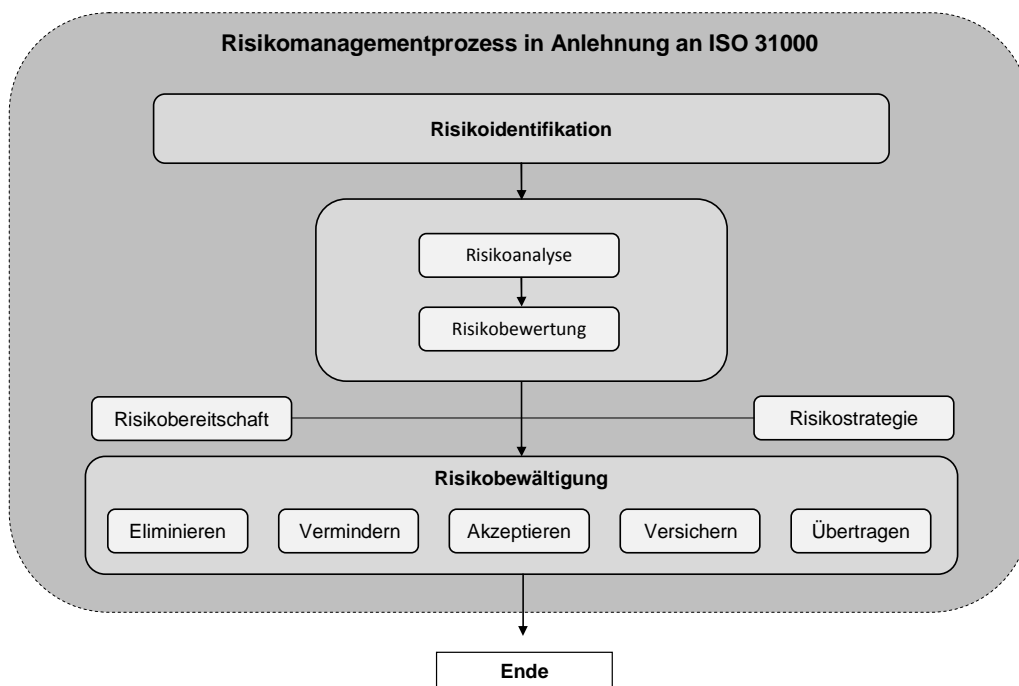


Bild 70 Der Risikomanagementprozess. In Anlehnung an [51]

Allgemein wird der Prozess in die vier Teilbereiche Risikoidentifikation, Risikoanalyse, Risikobewertung und Risikobewältigung gegliedert. Mit Abschluss des Risikomanagementprozesses gilt es, die Risikosituation, nach erfolgtem Risikocontrolling, für den weiteren Verlauf des Projektes zu überprüfen und zu beurteilen. Im Schwerpunkt dieser Betrachtung liegt dabei die Effizienz der getroffenen Bewältigungsmaßnahmen. Wird die angestrebte Wirksamkeit nicht erreicht, ist das Risikocontrolling erneut durchzuführen. Dieses gilt, wenn sich zugleich die Risikosituation im Projektverlauf verändert hat. Dadurch ergibt sich ein kontinuierlicher Prozess für das Risikomanagement. [51]

## 6.2 Risikoidentifikation

Die Risikoidentifikation stellt den Beginn des Risikomanagementprozesses dar. Die Herausforderung besteht darin, Methoden zu entwickeln, die das Erkennen sowohl von externen als auch internen Risiken ermöglichen.

Das primäre Ziel dieses Prozesses besteht in der strukturierten und detaillierten Erfassung aller Risikopotentiale. Identifizierte Risiken werden zu einer projektspezifischen Sammeliste zusammengefasst und den weiteren Teilprozessen des Risikomanagements zur Verfügung gestellt. Diese Listen eignen sich als Diskussionsgrundlage weiterer Phasen und dienen der Dokumentation erkannter Risiken [52].

Die Qualität der Risikoidentifikation ist ausschlaggebend für die weiteren Phasen der Prozesskette und der entscheidende Faktor für das Risikomanagement. Dabei gilt es zu beachten, dass die Identifikation von Risiken eine Beachtung sämtlicher Risiken impliziert. So sind neben aktuellen Risiken ebenso zukünftige, theoretisch denkbare und scheinbar unwesentliche Risiken zu beachten, die kumuliert oder in Wechselwirkung mit anderen von Bedeutung sein können [53].

### 6.2.1 Anforderungen an die Risikoidentifikation

Für das strukturierte und effiziente Erkennen von Risiken sind sechs Grundanforderungen zu nennen, die auf einer allgemeinen Risikoidentifikation basieren (siehe Bild 71).



Bild 71 Grundanforderungen für eine Risikoidentifikation, in Anlehnung an [53]

Die größte Bedeutung wird der **Aktualität** von risikorelevanten Informationen zugeordnet, die für das frühzeitige Eingreifen in bestimmte Situationen entscheidend ist. Untergeordnet wird weiterhin die **Vollständigkeit** dieser Informationen benannt. Erst eine umfängliche und detaillierte sowie formal und inhaltlich richtige Aufdeckung von Risiken ermöglicht das Eingreifen in Risikosteuerungsprozesse.

Insgesamt obliegt die Risikoidentifikation dem **Wirtschaftlichkeitsgedanken**. Daraus ergibt sich die Anforderung der **Systematik und Flexibilität**. Um der Gefahr von nicht erkannten Risiken zu entgehen, sollten die Instrumente und Methoden der Identifikation strukturiert und schnell anwendbar sein. Der Grad der **Beeinflussbarkeit** von identifizierten Risiken ist entscheidend für die Einschätzung von Eintrittswahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes bestimmter Risiken. Für die richtige Beurteilung der Relevanz eines Risikos ist diese Anforderung bedeutend. Als letztes Kriterium für die Risikoidentifikation wird der Begriff **Widerstand** angeführt. Damit ist z.B. die Sensibilisierung für die Gefährdung von Personen, Sachen, Umwelt, Vermögen oder Gewinn gemeint [53].

### 6.2.2 Methoden der allgemeinen Risikoidentifikation

Grundsätzlich werden für die Identifikation von Risiken zwei Methoden unterschieden, die **progressive** und die **retrograde** Methode. Während die **progressive Methode** auf die Quelle und die Ursache eines Risikos als Ursprung eines Risikoprozesses abzielt und daraus eine Wirkung auf einen Sachverhalt ableitet, stehen bei der **retrograden Methode** die Projektziele im Vordergrund, deren Nichterfüllung einen Rückschluss auf ein bestehendes Risiko ermöglicht.

Während bei der progressiven Methode das Risiko vom Ursprung an fortschreitend (progressiv) entlang der gegebenen Situation identifiziert wird und bereits bekannt ist, setzt die **retrograde Methode** auf eine rückläufige (retrograde) Betrachtung eines geplanten Zieles. Im Unterschied zu der **progressiven** Methode müssen die auftretenden Probleme erst auf ein Risiko zurückgeführt werden. Dieses gilt es demnach zu ermitteln [53].

### 6.2.3 Instrumente der Risikoidentifikation in der Baubranche

Neben den vorgestellten allgemeinen Methoden sind für die Ermittlung von Schadensrisiken drei praktische Instrumente für eine ausführliche Risikoidentifikation notwendig. Die einzelnen Instrumente bauen aufeinander auf. Sie ermöglichen die Identifikation von Risiken eines Projektes durch einen dreistufigen Prozess, der sich durch ein hohes Maß an Kreativität zu Beginn und eine starke Systematik in der letzten Stufe auszeichnet. Dieser Prozess kann dem Bild 72 entnommen werden [54].

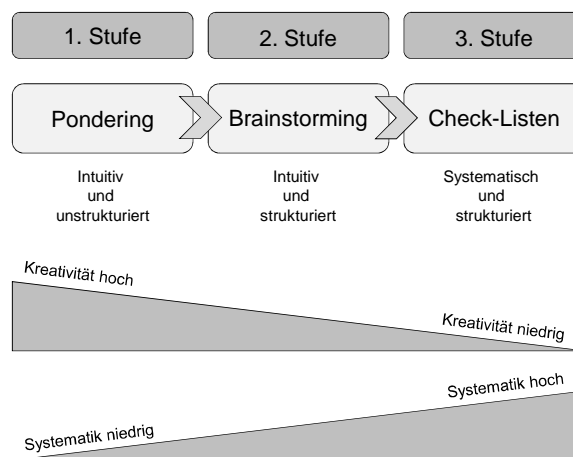


Bild 72 Stufen der Risikoidentifizierung [54]

Als erstes Instrument ist das **Pondering** zu benennen. Dieses kann aus dem Englischen frei als „Grübeleien“, „Nachdenken“ oder vielmehr als „Abwägen“ übersetzt werden. Das Instrument des **Ponderings** versteht sich als eine einfache, intuitive und unstrukturierte Risikoidentifikation, die für jedes Projekt durchgeführt werden sollte. Ohne Zuhilfenahme eines Leitfadens oder Checklisten werden Chancen und Gefahren eines Projektes sowie deren Ursachen aufgelistet. Es dient den verantwortlichen Projektbeteiligten als erster Überblick über mögliche Risiken und kann durch das systematische Erarbeiten der Projekt- und Vertragsunterla-

gen sowie auch durch Hinzunahme von Expertenbefragungen und Literaturanalysen erweitert werden [52]. Hierzu ist projektbezogen der Lenkungsreis hinzuzuziehen.

Ein weiterhin intuitiver, jedoch strukturierter Ansatz ist das **Brainstorming**. Dabei werden unter gruppendynamischem Einfluss mögliche Risiken und Risikofelder aufgegriffen und entwickelt. Für dieses Instrument der Risikoidentifikation sind einige festgelegte Strukturen und Regeln zu beachten. So liegt die optimale Teilnehmeranzahl für eine effiziente Sitzung bei fünf Personen und sollte eine Dauer von 30 Minuten nicht überschreiten. Für die Wahl der Teilnehmer ist auf einen Mix aus Fachbeteiligten unterschiedlicher Bereiche und Funktionen im Projekt zu achten. Auch der Einbezug von Fachfremden kann sich, hinsichtlich des Zieles eines breitgefächerten Umfanges an Ideen, als vorteilhaft erweisen. Neben einem Protokollführer ist der Gruppe ein Moderator zugewiesen, der für den kontinuierlichen Ablauf der Sitzung verantwortlich ist. Des Weiteren hat er die Aufgaben, für die Einhaltung der Regeln zu sorgen, die vorgetragenen Ideen zu sammeln und für alle Teilnehmer diese sichtbar zu machen, diese im Anschluss der Sitzung auszuwerten und zu gruppieren. Grundsätzlich steht beim **Brainstorming** die Anzahl der Ideen im Vordergrund. Die Qualität wird zunächst sekundär betrachtet. Beiträge und Ideen Anderer sollen und dürfen nicht bewertet oder kritisiert, sondern vielmehr aufgegriffen und weiterentwickelt werden [52].

Als drittes und letztes Instrument der Risikoidentifikation soll der systematische und strukturierte Ansatz über **Checklisten** aufgeführt werden. Die Checklisten enthalten eine Zusammenstellung verschiedener Einzelrisiken, die u. a. auf den Ergebnissen des Brainstormings oder vergangener Projekte basieren. Um eine effiziente Bearbeitung der **Checklisten** zu gewährleisten, sollten diese eine Gliederung nach Risikoarten und Risikogruppen aufweisen. Dieses hat den Vorteil einer großen Zeitersparnis bei dem Ausfüllen der Listen, ohne den Konkretisierungsgrad einzelner Risiken aufgrund einer zu umfassenden Betrachtung von Risikofeldern zu verlieren. Durch die Gliederung kann die Checkliste so an die betraute Stelle im Projektverlauf zur Weiterentwicklung und Aktualisierung weitergegeben werden [52].

#### 6.2.4 Qualitative Risikoanalyse

Mit erfolgter Erkennung, Zusammenstellung und Dokumentation gilt es, diese im nächsten Teilprozess zu analysieren. Anhand der gewonnen risikorelevanten Informationen aus der Risikoidentifizierung sind die Ursachen und das Gesamtausmaß der Wirkung zu ermitteln. Dieses erfolgt über die objektive Einschätzung der Projektbeteiligten, hinsichtlich der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Tragweite bzw. des Schadensausmaßes eines Risikos [55]. Weiter sind die Wechselwirkungen einzelner Risiken zu beachten, die kumulative Effekte aufweisen können. So können Einzelrisiken gesondert betrachtet ein unerhebliches Schadensausmaß aufweisen, während diese in Kombination mit anderen ein signifikantes Risiko darstellen. Die richtige Einschätzung identifizierter Risiken ist maßgebend für die Einleitung entsprechender Gegenmaßnahmen und Entwicklung von Steuerungsinstrumenten. Findet ein Risiko keine Beachtung oder wird zu niedrig eingeschätzt, werden diesbezüglich keine Bewältigungsmethoden ausgearbeitet. Die Risikoanalyse beinhaltet sowohl die Bewertung als auch die Klassifizierung von Risiken. Während die Bewertung eine Zuordnung bestimmter Wertgrößen zu den Risiken ermöglicht, werden die Ergebnisse daraus in der Risikoklassifizierung beschrieben. Beide Teilprozesse sollen nachfolgend genauer betrachtet werden.

Die Bewertung einzelner Risiken erfolgt in der Regel nach Risikogruppen, basierend auf der zuvor erarbeiteten Risikosammelliste aus der Identifizierung, durch die jeweiligen Experten. Aufgabe und Ziel der Bewertung ist es, die Eintrittswahrscheinlichkeit und die damit verbundene Tragweite bzw. das Schadensausmaß eines Einzelrisikos zu ermitteln [52].

Die Nutzung eines geeigneten Bewertungsverfahrens wird durch die Quantifizierbarkeit dieser Risikoparameter, sprich der Möglichkeit einer Zahlenwertzuweisung, bestimmt. Die Risikoparameter können anhand eines Punktwertes oder eines Intervalls dargestellt werden. Bei einer genauen und fundierten Datenbasis wird die Punktbewertung bevorzugt, während bei ungenauen Wertangaben eine Intervallskalierung herangezogen wird. Die Aussagekraft der Intervallbewertung ist anhand der größeren Bandbreite eingeschränkt, weist jedoch im Vergleich zur Punktbewertung keine unzuverlässigen Schätzwerte oder Scheingenauigkeiten auf. Auf der Grundlage dieser Darstellungsmethoden ergeben sich für eine allgemeine Risikobewertung zwei Verfahren, die dem Bild 73 entnommen werden können [53].

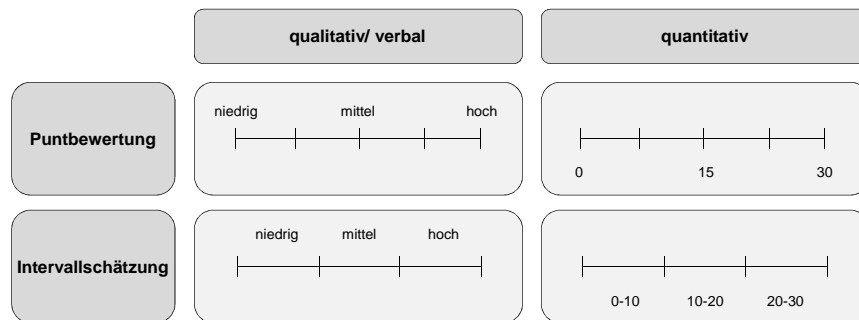


Bild 73 Risikobewertungsmöglichkeiten. In Anlehnung an [53]

Bei der **qualitativen Bewertung** werden Risiken ausschließlich mit Hilfe von verbalen Beschreibungen eingeschätzt. Ein aufwendigeres Verfahren ist die **quantitative Bewertung**. Voraussetzung zur Nutzung dieses Verfahrens ist die Bestimmbarkeit der Eintrittswahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes von Risiken [53].

Für die weitere praxisorientierte Bewertung vorhandener Risiken wird auf den Ansatz nach [52] zurückgegriffen. Risiken werden entweder **qualitativ** über feste Bewertungszahlen der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Schadensausmaß oder **quantitativ** über absolute Größen dieser bewertet. Beide Verfahren unterscheiden sich dabei hauptsächlich durch den damit verbundenen Aufwand [52]. Für das vorliegende Forschungsprojekt sollen zunächst die Risiken mit Hilfe von qualitativen Methoden ermittelt werden.

Die qualitative Risikobewertung erfolgt meist als grobe Ersteinstufung über die Relevanz eines Risikos und bringt in einem schnellen und unkomplizierten Verfahren die Gesamtbedeutung eines Risikos zum Ausdruck [56]. Ein bewährtes Verfahren dafür stellt die Bewertung von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß eines Risikos anhand fester Bewertungszahlen dar. Diesbezüglich werden beiden Faktoren die gleiche Anzahl an festen Werten zugewiesen, mit deren Multiplikation ein Risikowert berechnet werden kann. Die Bedeutung der relativen Werte kann der nachfolgenden Tabelle 30 entnommen werden. [52]

Tabelle 30 Risikobewertung über Bewertungszahlen.

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

In der vorliegenden Tabelle werden der Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Schadensausmaß Werte zwischen Eins und Fünf zugeordnet. Eine weitere Untergliederung ist zwar generell möglich, birgt jedoch die Möglichkeit einer höheren subjektiven Fehleinschätzung des Bearbeiters. Um dieser Gefahr entgegenzuwirken, wird an dieser Stelle die Verwendung von ausschließlich fünf Bewertungsstufen empfohlen.

Die Ermittlung des Schadensausmaßes, respektive der Zielabweichung wird in den meisten Unternehmen in der Regel quantitativ ausgedrückt, sprich in Stückzahlen oder Mengeneinheiten. Eine Möglichkeit ist die Anwendung einer Risiko- bzw. Schadensfalldatenbank.

Dabei werden „...potentielle Risiken und eingetretene Schäden und Ereignisse (...) systematisch erfasst, analysiert, gemessen und aggregiert. Bei der Erfassung sollte, neben der Risiko-/Schadenkategorie, der Schadensort, der Zeitpunkt sowie die Wirkungszusammenhänge zwischen diversen Ursachen, Schadensfällen und - orten analysiert werden“ [57]. Als Ergebnis erhält man eine empirische Verlustverteilung. Zusätzlich lässt sich eine entsprechende theoretische Verlustverteilung schätzen.

Im klassischen Risikomanagement lassen sich die Ziele jedoch in seltenen Fällen in Zahlen ausdrücken. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, das Schadensmaß verbal einzuschätzen.

### 6.3 Erstellung eines Fragebogens für die Netzbetreiber zur Bestimmung der Wichtigkeit der einzelnen Risikokriterien

Zur Bestimmung der maßgeblichen Kriterien wurde in der 3. Lenkungskreissitzung beschlossen, einen Fragebogen zu entwerfen und an die einzelnen Netzbetreiber zu schicken. Vorab wurden durch das IKT Einflüsse sowie mögliche Risikokriterien vorgeschlagen. Die Netzbetreiber hatten dabei die Möglichkeit, diese Angaben um weitere Aspekte zu erweitern.

In einem zweiten Schritt sollten die Netzbetreiber die einzelnen Einflüsse und Kriterien priorisieren. Hierzu standen Ihnen die Bewertungszahlen 1 (sehr klein/sehr gering) bis 5 (sehr groß/sehr hoch) zur Verfügung. Auf diese Weise ließ sich ermitteln, welche Einflüsse und Kriterien für die einzelnen Netzbetreiber wichtig sind, so dass gezielt risikogefährdete Druckleitungen für weitere Maßnahmen untersucht werden können.

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

Der Fragebogen ist insgesamt in zwei Teile unterteilt. In Teil A werden technische Einflussfaktoren und Randbedingungen vorgestellt und kurz definiert. Teil B handelt von möglichen Auswirkungen auf die Umwelt, sollte eine Leitung tatsächlich ausfallen.

Eine Systematisierung der einzelnen Attribute und Kriterien zu einer risikokonformen Bewertungsmatrix erfolgt im Anschluss des Abschnittes 6.6.

## 6.4 Teil A: Technische Einflussfaktoren

Der technische Zustand und die technische Nutzungsdauer sind von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängig. Im Folgenden werden die Einflussfaktoren nach ihrer Bedeutsamkeit auf die Zustandsentwicklung geordnet und erläutert. Hierzu wurde, wenn nicht anders gekennzeichnet, auf die Arbeit von Sorge [58] zurückgegriffen.

### 6.4.1 Festigkeits- und Werkstoffeigenschaften

Die Festigkeitseigenschaften eines Rohrwerkstoffs (z.B. Zugfestigkeit) bestimmen maßgeblich die Tragfähigkeit des Rohres und sind notwendig für weitere statische Berechnungen hinsichtlich der Resttragfähigkeit bei geschwächtem Rohrquerschnitt. Die Werkstoffeigenschaften (z. B. die Sprödigkeit von Graugussrohren mit Lamellengraphit) haben wesentlichen Einfluss auf mögliche Schadensbilder am Rohr.

### 6.4.2 Herstellungs- und Werkstofffehler

Herstellungs- und Werkstofffehler im oder an der betreffenden Leitung (Material) beeinträchtigen unter anderem die Resttragfähigkeit der Rohrleitung. Durchaus ist es möglich, dass sich auch dadurch das Korrosionsverhalten bei metallischen Leitungen ändern kann, was zu einer negativen Auswirkung der technischen Nutzungsdauer führen kann.

Grundsätzlich lässt sich ein Herstellungs- und Werkstofffehler in zwei Unterpunkte gliedern:

- Ein Konstruktionsfehler ist ein Fehler, der jedem Produkt bzw. jeder Leitung einer Serie anhaftet, weil bei der Konstruktion dieser Leitung nicht die erforderliche Sorgfalt angewendet worden ist.
- Fabrikationsfehler gibt es nur bei einzelnen Exemplaren einer Serie. Sie entstehen, weil in der Produktion nicht mit ausreichender Präzision und Sorgfalt gearbeitet und der Fehler bei der Qualitätskontrolle nicht entdeckt wurde.

### 6.4.3 Korrosion

Korrosionseinflüsse auf metallischen, kunststoffähnlichen und Asbest-Zement-Leitungen sind sowohl extern (durch Umgebungsbedingungen) als auch intern (durch Transportstoffeigenschaften) zu erwarten [59]. Korrosion wird im Allgemeinen definiert als die Reaktion eines metallischen Werkstoffes (elektrochemisch, chemisch, metallphysikalisch) mit seiner Umgebung, die eine messbare Veränderung des Werkstoffes bewirkt und zu einer Beeinträchtigung der Funktion (Beanspruchbarkeit) eines metallischen Bauteils oder eines ganzen Systems führen kann [60] [61]. Bei Rohrleitungen treten externe Korrosionen in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen und der Wirksamkeit der vorgesehenen Korrosionsschutzmaßnahmen (passive und aktive Korrosionsschutzmaßnahmen) örtlich differenziert auf [62] [63].

Das Auftreten interner Korrosion hängt außer von der Korrosivität des Transportstoffes wesentlich vom Design und den Betriebsbedingungen im Leitungssystem ab.

#### 6.4.3.1 *Abtragende Korrosion*

Es tritt ein gleichmäßiger und ungleichmäßiger Flächenabtrag auf, wobei es sich vorwiegend um elektrochemische Vorgänge handelt. Das Ausmaß der Korrosionsreaktionen nimmt mit der Ausdehnung der Objekte zu, so dass Rohrleitungen besonders gefährdet sind. Die externe Korrosionsgefährdung ändert sich auf Grund ihrer Potentialabhängigkeit mit dem Trassenverlauf teilweise recht stark und richtet sich nach der Bodenbeschaffenheit und nach möglichen elektrischen Einflüssen (Elementbildung oder Streuströme) [64] [65] [66].

#### 6.4.3.2 *Lochkorrosion*

Die Lochkorrosion kann auf Grund ihres Mechanismus sehr schnell zur Bauteilerstörung führen. Die Voraussetzung einer Lochkorrosion ist dann gegeben, wenn ein kritisches Korrosionspotential überschritten wird [63] [67].

#### 6.4.3.3 *Spannungsrissskorrosion*

Ein nicht unbeträchtlicher Teil der durch Korrosion verursachten Leckagefälle ist auf die Spannungsrissskorrosion zurückzuführen. Diese beginnt mit kleinsten Rissen in der Rohrwandung, die während des Betriebes bis zu einer kritischen Risslänge wachsen können und zu einer Leckage oder zum Bruch des Rohres führen. Ein für Spannungsrissskorrosion anfälliges Rohrmaterial, ein korrosiver Einfluss auf die Rohroberfläche sowie Zugbeanspruchung sind die Bedingungen für das Auftreten der Spannungsrissskorrosion.

### 6.4.4 **Bodeneigenschaften und Bodenaggressivität**

Bodeneigenschaften wie Wichte, Verdichtungsgrad, Verformungsmodul und Bindigkeit haben hauptsächlich Einfluss auf die Belastung einer Rohrleitung. Die Bodenaggressivität wird durch Parameter wie pH-Wert des Bodens, spezifischer Bodenwiderstand oder dem Wassergehalt beeinflusst. Die Untersuchungsmethoden nach DVGW-Arbeitsblatt GW 9 bzw. nach Steinrath [68] sind Bestandteil der materialtechnischen Zustandsuntersuchung [69].

### 6.4.5 **Verlegebedingungen, Montage- und Bettungsfehler, Lage der Leitung**

Die Möglichkeit der Einwirkungen durch Dritte bzgl. Verlegebedingungen, Montage- und Bettungsfehler stellt eine Besonderheit der Druckleitungen im Vergleich zu anderen verfahrenstechnischen Anlagen dar. Die Gefahr, dass eine Druckleitung durch die Einwirkung Dritter beschädigt wird, ergibt sich daraus, dass sich ein Großteil der Leitungen grundsätzlich auf öffentlich zugänglichem Gebiet befindet und somit der unmittelbare und nicht kontrollierbare Zugriff fremder Personen möglich ist.

Mit etwa 30% der Leckageereignisse zählt die Beschädigung durch Dritte neben der Korrosion zu den häufigsten Leckageursachen. Dabei handelt es sich fast ausschließlich um unbeabsichtigte Beschädigung infolge von Bodenaushub-, Bohrungs- oder Grabungsarbeiten. Weitere Ursachen sind u.a:

- Arbeiten an parallel verlegten Leitungen,

- landwirtschaftliche Bodenbearbeitung,
- geologische Bodenuntersuchungen.

Die Unkenntnis über das Vorhandensein oder die genaue Lage der Leitung wird als häufigste Begründung von den Verursachern genannt. Insgesamt zählen dazu besonders die Gebiete, in denen Bauarbeiten, oder geologische Untersuchungen zu erwarten sind, sowie Bereiche mit einer dichten Bebauung in Trassennähe. Auf diese Trassenabschnitte müssen sich die Maßnahmen zur Reduzierung der Gefahr aus externen Einwirkungen konzentrieren. Die Belastungen, die durch einen äußeren Eingriff zum Beispiel durch Baggerzähne oder Bohreinrichtungen gewaltsam auf die Rohrwandung einwirken, können die zulässigen Beanspruchungswerte zum Teil erheblich übersteigen. Eine erhöhte Wanddicke bzw. Festigkeit der Leitungen kann die Möglichkeit einer zerstörenden Wirkung zwar reduzieren, jedoch nicht ausschließen. Die Möglichkeiten zur Minimierung der Gefahr durch Einwirkung Dritter liegen vorwiegend in der Planungsphase (Trassenverlauf, Verlegetiefe, Design) und weniger in der Betriebsphase (regelmäßige Trassenkontrollen).

#### **6.4.6 Verkehrs- und Erdlasten, Belastungen aus Bodenbewegungen**

Die erwähnten Bodeneigenschaften und Verlegebedingungen wirken sich auf die Belastung der Druckrohrleitung ebenso aus wie der Verkehr. Auf Grundlage von ATV A 127 [70] wird eine Verkehrsbelastung von SLW 60 angenommen, da diese Belastungsart den für Verkehrsbelastungen relevanten Schwerverkehr einschließt. Schäden an der Rohrleitung, verursacht durch Bodenbewegung (z.B. unzulässige Setzungen), sind den sogenannten unechten Schäden zuzuordnen, da kein direkter Zusammenhang zur Zustandsverschlechterung (z.B. Verschleiß) der Rohrleitung besteht. Die Gefährdung durch Bodenbewegung bei Bauarbeiten in Rohrleitungsnähe wird in DVGW-Merkblatt W 380-30 bewertet [71].

#### **6.4.7 Rohrgeometrie**

Die Rohrgeometrie (insbesondere Nennweite und Wanddicke) wirkt sich auf das Tragverhalten des Rohres aus (Widerstandsmoment). Vor allem bei Graugussrohren wird das Tragverhalten durch ihre Nennweite bestimmt (kleine Nennweite = kleines Widerstandsmoment). Nach Kottman [72] versagen spröde Graugussrohre bis zu einer Nennweite von ca. DN 100 sehr häufig durch Querbrüche infolge hoher Längsbiegespannungen.

#### **6.4.8 Wasserparameter, Hydraulik und Betriebsregime**

Vor allem die Entstehung von Inkrustationen wird durch die in der Teilüberschrift erwähnten Faktoren beeinflusst. Ebenso wirkt sich die Zusammensetzung der Wasserparameter (z.B. Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht) laut DIN 50930 auf Innenkorrosionsprozesse an der Rohrleitung aus [73]. Die Bildung von Inkrustationen an der Rohrwand hat keinen direkten Einfluss auf die technische Zustandsverschlechterung und mögliche Schäden, beeinflusst aber die Leistungsfähigkeit und Versorgungsqualität (Druck). Zu den Auswirkungen des Betriebsregimes (z.B. Druck und Fließrichtung) auf die Bildung von Inkrustationen ist entsprechende Literatur vorhanden [74].

#### 6.4.9 Witterungseinflüsse

Das Schrumpfungsverhalten des Bodens bei Trockenperioden nach Schlechtwetterperioden und die Frosteindringtiefe nach einem kaltem Winter mit darauf folgenden trockenen Sommer und Herbst haben einen Einfluss auf das Querbruchverhalten bei Graugussrohren [72]. So sind die Zeiträume eines höheren Querbruch-Gefährdungspotenzials bei Auswertung der entsprechenden Wetterdaten eingrenzbar. Durch Annahme weiterer ungünstiger Verlegebedingungen nach ATV A 127 [70] und statischen Berechnungen der Resttragfähigkeit bei Längsbiegespannung wird das Querbruch-Gefährdungspotenzial von Druckrohrleitungen besser eingeschätzt. Aufgrund der Annahme einer normgerechten frostsicheren Verlegetiefe wird die Gefahr von Schäden durch Frost bei längeren Frostperioden nicht weiter untersucht.

#### 6.4.10 Alter der Leitung

Das Rohralter allein kann nicht für eine Bestimmung der technischen Restnutzungsdauer herangezogen werden [75]. Dennoch ist die Zustandsverschlechterung zeitabhängig. Zusätzlich wird das Rohralter bzw. die damit verbundenen Herstellungs- und Verlegeperioden über die Einteilung in werkstoffhomogene Gruppen (Rohrgeneration) berücksichtigt. Durch die Bestimmung der mittleren statistischen Nutzungsdauer nach DVGW-Hinweis W 401 wird das Rohralter ebenfalls berücksichtigt.

#### 6.4.11 Durchflussmenge

Der Durchfluss wird als das Durchflussvolumen bezeichnet, das in einer Zeiteinheit eine Querschnittsfläche durchströmt. Dabei ist die Durchflussmenge für das Gebiet der Druckrohrleitungen eine wichtige Prozessgröße, um sicherzustellen, ob eine Leitung voll ausgelastet ist oder eventuelle Reserven vorhanden sind.

#### 6.4.12 Abwasserpumpe und Pumpdruck

Abwasserpumpen eignen sich zur Förderung von Abwasser in kommunalen und industriellen Pumpwerken sowie Regenrückhaltebecken. Die Abwasserpumpe wird auch als Schmutzwasserpumpe bezeichnet und ermöglicht die Förderung von grob verschmutztem Wasser, welches oft feste Bestandteile unterschiedlicher organischer, anorganischer oder mineralischer Herkunft mitführt. Abwasserpumpen werden vorzugsweise einstufig gebaut und sind im Allgemeinen nicht selbstansaugend. Stattdessen werden sie komplett in das Fördermedium eingetaucht.

Bei den kommunalen Abwasserpumpen sind folgende Fördermedien typisch: Rohabwasser (z. B. Schmutzwasser, Fäkalien), Abwasser (mechanisch gereinigtes Wasser aus Klärbecken), Schlamm (z. B. Belebt-, Frisch-, Faul- sowie Impfschlamm) und Regenwasser. Bei industriellen Abwasserpumpen ist die Auswahl geeigneter Werkstoffe von enormer Bedeutung, da industrielles Abwasser u. U. sehr aggressiv oder abrasiv sein kann. Das Pumpengehäuse kann dazu mit leicht auswechselbaren Spaltringen oder Schleißwänden, die aus besonders verschleißfesten Werkstoffen hergestellt sind, ausgerüstet werden, so dass eine längere Nutzungsdauer gewährleistet ist. Insgesamt ist der Betrieb einer Druckrohrleitung von der Pumpentechnik abhängig. Mögliche Störungen können wie folgt beschrieben werden, die maßgeblich an einem Ausfall der Leitung beteiligt sein können:

- Fehlende Netzspannung
- Defekter Motor
- Blockierungen des Laufrads und Schneidwerks
- Falsche Drehrichtung
- Druckabfall
- Geschlossener Schieber
- Undichtheiten

#### 6.4.13 Zugänglichkeit und Länge des relevanten Leitungsabschnittes

„Druckentwässerungssysteme unterscheiden sich von konventionellen Schwerkraftentwässerungssystemen dadurch, dass anstelle einer Kanalisation mit zahlreichen Schächten geschlossene Rohrleitungen ohne Zugangsmöglichkeiten verwendet werden.“ [76]

Entsprechend der DIN EN 1671 „Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“ zeichnen sich Abwasserdruckleitungen im Allgemeinen durch Bögen, Hoch- und Tiefpunkte und eine geringe Verlegetiefe aus. Soweit Zugangsmöglichkeiten im Verlauf der Druckleitung vorhanden sind, haben diese meist große Abstände.

Als Zugangsöffnungen für Inspektionstechniken kommen prinzipiell Revisionsöffnungen, Spülstutzen, ein offenes Druckleitungsende und geöffnete Rohrverbindungen in Pumpstationen, Schächten und ggf. auch an Be- und Entlüftungsventilen in Frage. Während in der DIN EN 1671 [76] und dem DWA Arbeitsblatt 116-2 [77] für Druckleitungen keine Zugangsmöglichkeiten vorgesehen sind und Spülstutzen nach DIN EN 1671 [76] zu Beginn jeden Strangs angeordnet werden sollen, empfiehlt das Handbuch LfU [78] Kontroll- und Spülschächte in Abständen von 500 m bis 1.000 m. Je weiter Öffnungen, Revisionsschächte etc. voneinander entfernt sind, desto schwieriger erweist sich die Zugänglichkeit einer Leitung, was wiederum die Inspektion und evtl. anfallender Sanierungsarbeiten erschwert, so dass insgesamt mit einer höheren Planungszeit von Instandhaltungsmaßnahmen zu rechnen ist.

### 6.5 Teil B: Mögliche Auswirkungen auf die Umwelt

Teil B des Fragebogens befasst sich mit der Bedeutung einer Druckrohrleitung. Insbesondere soll mit Hilfe der Netzbetreiber herausgefunden werden, wie mögliche Auswirkungen auf die Umwelt priorisiert werden. In den folgenden Unterkapiteln werden die wichtigsten Kriterien kurz aufgeführt und erklärt.

#### 6.5.1 Bedeutung des Transportmediums

Nach der Art der Verschmutzung und der Herkunft wird in folgende Arten des Abwassers unterschieden:

- Häusliches Abwasser
- Gewerbliches und industrielles Abwasser
- Niederschlagswasser

Häusliches Abwasser ist insgesamt das in den Haushaltungen anfallende Abwasser, wobei die Verschmutzung durch die Fäkalien in den Spülaborten und durch die Wasch-, Bade- und Spülwässer erfolgt. Gewerbliches und industrielles Abwasser weisen nach ihrer Herkunft und nach der Technologie der Produktionsstätten eine unterschiedliche Verschmutzung auf. Die Verunreinigungen können infektiös bzw. chemischer Art sein, so dass sie bei ihrer Ableitung in öffentliche Kanalisation eine Gefahr für den Menschen und für die Anlagen bedeutet. Als Niederschlagswasser wird das Wasser bezeichnet, das durch Regen bzw. Tauwetter anfällt und der Kanalisation zugeleitet wird.

Für die Beurteilung der Bedeutung des Transportmediums sollte im besten Fall zwischen den einzelnen Abwasserarten unterschieden werden. Gerade bedeutende Industriestandorte sind besonders gefährdet, sollte eine Druckrohrleitung ausfallen. Werden alle Abwasserarten gemeinsam in einer Druckrohrleitung zusammengeführt, ist die Bedeutung einer solchen Leitung am höchsten. Eine genaue Überprüfung der einzelnen Abwasserarten für spezielle Leitungen ist in jedem Fall vorzunehmen.

### **6.5.2 Anzahl angeschlossener Wirtschaftseinheiten**

Eine Wirtschaftseinheit ist eine am arbeitsteiligen Wirtschaftsprozess beteiligte, in sich geschlossene und somit nach außen abgegrenzte, organisierte Marktpartei. Dabei ist zwischen Betrieben einerseits und privaten Haushalten andererseits zu differenzieren. Beide unterscheiden sich hinsichtlich Produktion und Konsum. Privathaushalte konsumieren primär und produzieren nur für den Eigenbedarf, während Betriebe als fremdbedarfsdeckende Wirtschaftseinheiten Sachgüter, Dienstleistungen oder Informationen für den Bedarf anderer Betriebe oder privater Haushalte bereitstellen [79].

Die Höhe der Anzahl sowie die einzelne Bedeutung der angeschlossenen Wirtschaftseinheiten an die Druckrohrleitung ist maßgebend für die Bedeutsamkeit bzw. Wichtigkeit der Leitung für den einzelnen Netzbetreiber.

### **6.5.3 Wasserschutzgebiete**

Zur langfristigen Sicherung der öffentlichen Wasserversorgung werden Wasserschutzgebiete festgesetzt. Wasserschutzgebiete (WSG) sind Gebiete, in denen zum Schutz von Gewässern (Grundwasser, oberirdische Gewässer, Küstengewässer) vor schädlichen Einflüssen besondere Ge- und Verbote gelten.

Wasserschutzgebiete werden im Abschnitt Öffentliche Wasserversorgung, Wasserschutzgebiete, Heilquellenschutz (§§ 50–53) des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) geregelt. Die Festsetzung von Schutzgebieten erfolgt durch Rechtsverordnung der zuständigen Landesregierung. Die Landesregierungen können diese Ermächtigung durch Rechtsverordnung auf andere Landesbehörden übertragen [80]. Zum Schutz können verschiedene Wasserschutz-zonen festgesetzt werden. Trinkwasserschutzgebiete sollen nach Maßgabe der allgemein anerkannten Regeln der Technik in Zonen mit unterschiedlichen Schutzbestimmungen unterteilt werden. Als allgemein anerkannte Regeln der Technik gelten im Wesentlichen die von der DVGW gemeinsam mit der LAWA erarbeiteten technischen Regeln Arbeitsblatt W 101 (Schutzgebiete für Grundwasser) und W 102 (Schutzgebiete für Talsperren).

Die Wichtigkeit, ob sich eine Leitung in einem Wasserschutzgebiet befindet, ist deswegen gegeben, da defekte Leitungen (z.B. Industrieabwässer) die unmittelbare Umgebung kontaminieren und dementsprechend belasten würden, was wiederum das Schadensausmaß erhöhen würde.

#### 6.5.4 Örtlichkeit der betreffenden Leitung

In der Bevölkerung stoßen Sanierungs- und Instandhaltungsmaßnahmen unterirdischer Infrastruktur zumeist auf Grund ihrer negativen Auswirkungen vor allem im innerstädtischen Bereich auf wenig Zustimmung.

Unter den vielfältigen Umweltauswirkungen durch den Betrieb von Baustellen, die zu Beeinträchtigungen und Belästigungen der Anwohner und in der Nachbarschaft führen können, haben neben den Lärmemissionen die Emissionen von Partikeln (Staubemissionen) eine herausragende Bedeutung. Dies zeigt sich insbesondere auch bei den baustellenbezogenen Beschwerden während sommerlicher und trockener Wetterperioden. Die Staubemissionen werden oft durch mangelndes Wissen um emissionsmindernde Maßnahmen und durch fehlende oder ungenügende Sorgfalt bei der Durchführung staubender Tätigkeiten bzw. der Be- oder Verarbeitung von staubenden Stoffen verursacht oder begünstigt. Baustellen können hinsichtlich ihres Bestimmungszwecks, der Lage und Dauer, der Komplexität sowie der verwendeten Baumaterialien, Technologien, Maschinen und Geräte sehr unterschiedlich beschaffen sein.

#### 6.5.5 Belegung des betreffenden unterirdischen Raumes

Bezüglich einer Inspektion, Sanierung oder gar Erneuerung einer Druckrohrleitung können sich einige Erschwernisfaktoren ergeben, wie z.B. benachbarte Kanalisationen, kreuzende Versorgungsleitungen, Fernmeldekabel oder aber auch Fernwärmeleitungen. Die Lage einer solchen Druckleitung sowie die Beschaffenheit und der bauliche Zustand können wichtige Kriterien für ein weiteres Vorgehen darstellen. Somit ist der unterirdische Bauraum von ortsspezifischen Gegebenheiten (Straßenbreite, Anlieger, Bebauung) abhängig. Der Aufwand zur Freilegung der Leitung, um einen Zugang zu ermöglichen, ist im Vorfeld genau zu bestimmen.

### 6.6 Erarbeitung einer qualitativen Bewertungsmatrix zur Abschätzung möglicher Risiken

Das Ziel der Risikobewertung ist eine qualitative Bewertung der identifizierten Risiken einschließlich ihrer Zusammenhänge. Deshalb sollte die Basis hierfür eine sorgfältig und vollständig durchgeführte Risikoidentifikation sein. Um die Anschaulichkeit und Übersichtlichkeit aller ermittelten und bewerteten Risiken zu wahren, können die verschiedensten Instrumente eingesetzt werden. Im Folgenden sollen zwei von ihnen in Grundzügen vorgestellt werden:

- Der **Risikoerfassungsbogen** ist ein schlichtes, aber durchaus geeignetes Mittel, um Risiken kurz und präzise zu beschreiben. Man kann neben möglichen Ursachen und Bewertungen ebenso Vermerke über Beziehungen zu anderen Risiken festhalten, sowie Prioritäten vergeben. Der Risikoerfassungsbogen kann gezielte Fragestellungen hinsichtlich Betrieb, Instandhaltung und weiteren Aspekten beinhalten. Auf diese

Weise erhält ein Nutzer eine konkrete Angabe über den Zustand einer Druckrohrleitung. Diese Informationen helfen dabei, die betreffende Leitung einer durch den Nutzer vordefinierten Risikokategorie zu zuordnen.

- Eine andere, sehr anschauliche Methode ist die **Risikomatrix** oder auch **Risk Map**. Dieses Werkzeug ist ein Koordinatensystem, dessen Achsen die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Schadenshöhe eines Risikos beschreiben.
- Durch die zuvor ermittelten Werte können die einzelnen Risiken also direkt im Diagramm als Punkte abgetragen werden. Beziehungen zwischen Risiken lassen sich durch Pfeile oder andere Darstellungsmöglichkeiten kenntlich machen.
- Dennoch ist die genaue Darstellung einer solchen Risikomatrix von großer Bedeutung, da sich innerhalb einer solchen Darstellung einzelne Bereiche definieren lassen. Zur Bestimmung dieser Bereiche sind die Risiko-Isolinien heranzuziehen. Werte gleicher Risikozahl,  $R = \text{const.}$ , ergeben schließlich eine solche Risiko-Isolinie, d.h. eine Linie konstanten Risikos, die in einem Diagramm eingetragen werden kann. Ist ein Wert eines Risikos festgelegt, so trennt die Risiko-Isolinie den Bereich des hinnehmbaren Restrisikos von dem des nicht vertretbaren Risikos. In der folgenden Abbildung sind speziell für dieses Beispiel die Risiko-Isolinien in hunderter Schritten aufgeführt (beginnend mit  $R=100$  unten links, bis hin zu  $R=1800$  oben rechts).

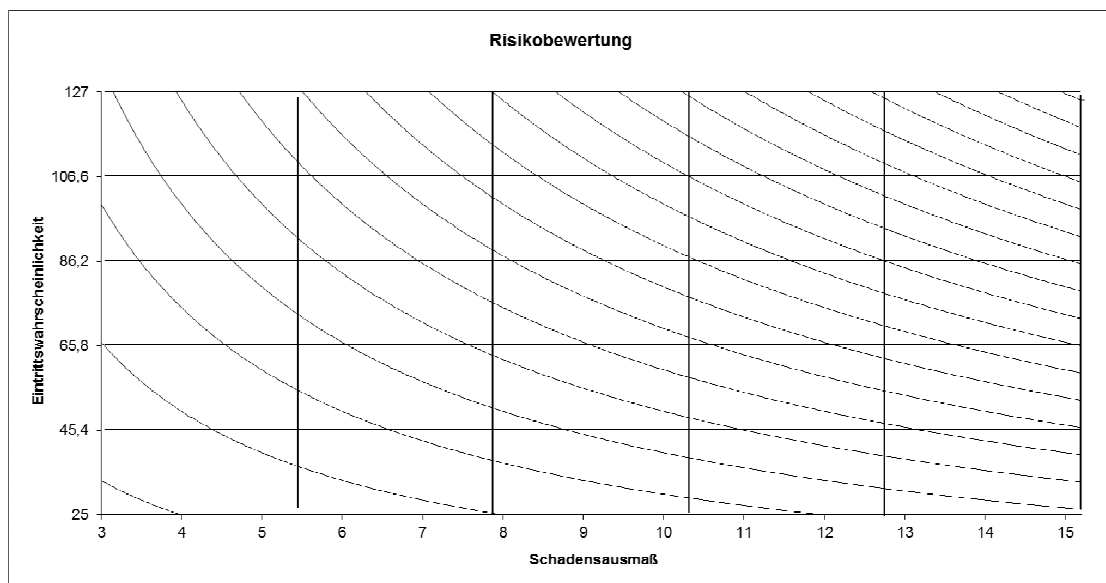


Bild 74 Risiko-Isolinien

Das folgende Bild 75 zeigt dabei eine Vereinfachung unter Berücksichtigung der Isolinien. Zum besseren Verständnis der Matrix werden die Isolinien vereinfachend in vier Bereiche überführt. In folgender Risikomatrix sind die Isolinien für  $R=400$ ,  $R=700$  sowie  $R=1100$  eingezeichnet. Insgesamt ist zu beachten, dass die Werte zu den jeweiligen Achsen aus einer Punktbewertung resultieren und somit **dimensionslos** sind.

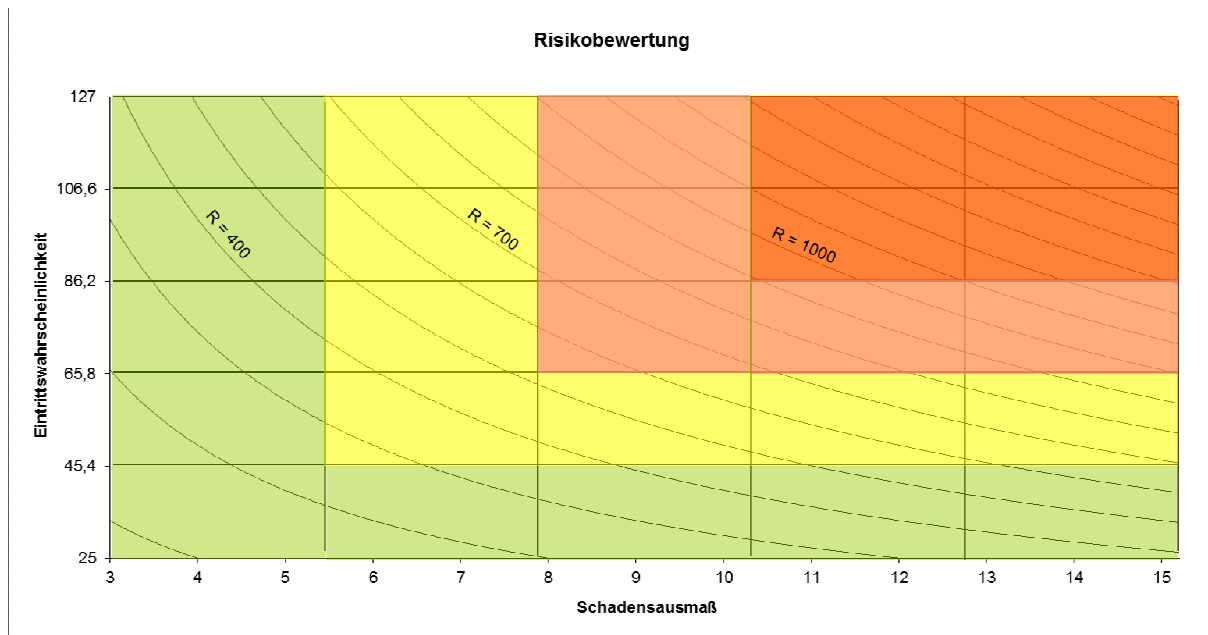
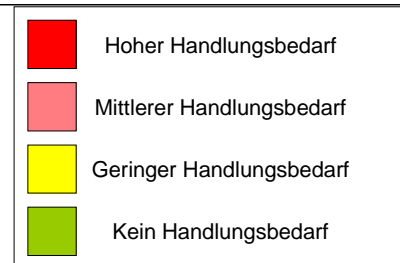


Bild 75 Risikomatrix



An dieser Stelle sei nochmals zu erwähnen:

Bei den ermittelten Werten zur Eintrittswahrscheinlichkeit und zum Schadensausmaß handelt es sich um dimensionslose Werte. Die Werte sind immer abhängig von der jeweiligen Wichtigkeit sowie der Bewertungszahl. Je nachdem wie die individuell ermittelte Wichtigkeit festgelegt wird, kann es zu unterschiedlichen Achsenwerten führen. Der "Nullpunkt" der Risikomatrix ist in jedem Fall nicht zwangsläufig mit den Koordinaten (0/0) zu definieren, sondern orientiert sich stets an der minimal möglichen Eintrittswahrscheinlichkeit (=Summe aus Wichtigkeit \* Bewertungszahl "1" pro Risikokriterium) sowie dem minimal möglichen Schadensausmaß (=Summe aus Wichtigkeit \* Bewertungszahl "1" pro Schadensausmaßkriterium). Analog dazu lässt sich auch die maximale Eintrittswahrscheinlichkeit sowie das maximale Schadensausmaß bestimmen.

Es ist unbedingt darauf zu achten, dass für eine homogene Risikoanalyse die Wichtigkeiten, die Risikokriterien sowie die Schadensausmaßkriterien für alle Bewertungen im eigenen Leitungsnetz gleich definiert sind.

### 6.6.1 Bestimmung und Priorisierung der risikorelevanten Kriterien

#### 6.6.1.1 Bestimmung der Wichtung mittels eines Fragebogens

Mithilfe eines Fragebogens konnten in einem weiteren Schritt die Kriterien herausgelöst werden, die für die Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit maßgebend sind. Durch den Fragebogen konnte darüber hinaus die Wichtigkeit der einzelnen Risiken bestimmt werden. Die einzelnen Netzbetreiber konnten die Wichtigkeit der Risikofaktoren mit den Werten 1 (unwichtig) bis 5 (sehr wichtig) bestimmen. Für diese Wichtung wurden die Mittelwerte aus allen eingegangenen Fragebögen bestimmt. Aus dieser Risikoidentifikationsphase ergeben sich demnach folgende wesentlichen Risikofaktoren, die bereits in den vorherigen Abschnitten beschrieben wurden und für eine weitere Analyse Berücksichtigung finden (Tabelle 32).

Tabelle 31 Risikofaktoren und Wichtung

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

Die Wichtungsergebnisse zeigen, dass für die Netzbetreiber das Alter einer Druckrohrleitung sowie die Durchflussmenge als auch die Werkstoffeigenschaften die maßgeblichen Kriterien bei der Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit sind. Für die Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeiten muss der Betreiber demnach die einzelnen Kriterien subjektiv hinsichtlich seines Druckrohrnetzes bewerten. Beispielsweise ergeben sich somit Postulate wie: Je höher das Alter der Druckleitung ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls (oder Sanierung etc.) einer Leitung. Wichtig ist hierbei stets die Beurteilung des ausgerufenen Ziels. Insgesamt lassen sich die Kriterien auf viele Handlungsfelder projizieren, so dass ein Ziel auch im Hinblick auf die Sanierungs-/Inspektionsdringlichkeit einer Leitung formuliert werden kann.

#### 6.6.1.2 Bestimmung der Wichtung auf Basis multikriterieller Bewertungsverfahren

Zur Bestimmung der Wichtung der Risikokriterien kann auch ein multikriterielles Bewertungsverfahren herangezogen werden. Das multikriterielle Verfahren "Analytischer Hierarchie Prozess (kurz: AHP)" ist dabei eine Sonderform der klassischen Nutzwertanalyse, das von dem Mathematiker Thomas Lorie Saaty in den 70er Jahren in den USA entwickelt wurde. Die Besonderheit ist die mehrstufige Anordnung von Kriterien und deren Gewichtung, die über mehrere Ebenen abläuft. Über die wachsende Feingliederung der Kriterien entsteht eine Baumstruktur [81]. Der Grundgedanke liegt darin, die Ziele und möglichen Lösungsalternativen in einer hierarchischen Struktur zu erfassen und zu gliedern [160]. Der AHP ba-

siert auf den paarweisen Vergleich von Kriterien und Alternativen, welcher mit einer 9-Punkte-Bewertungsskala (AHP-Skala) durchgeführt wird. Im Zuge dieser Bewertung werden im Anschluss über verschiedene Matrizenberechnungen Eigenvektoren berechnet, welche zu einem Gesamtergebnis aggregiert werden [82].

Als analytisch wird der AHP deswegen bezeichnet, weil er die Problemkonstellation in all ihren Abhängigkeiten analysiert. Die entscheidungsrelevanten Informationen werden in eine hierarchische Struktur gebracht. Bei dem AHP handelt es sich ferner um einen Prozess, weil ein prozessualer Ablauf vorgegeben wird, wie Entscheidungen strukturiert und analysiert werden können. Die Entscheidungsfindung und das Ergebnis können mit Hilfe des AHP nachvollziehbar gestaltet werden. Eine weitere Stärke des AHP liegt in dem Aufdecken von Inkonsistenzen, wenn bspw. ein Entscheider unlogische Bewertungen abgegeben hat [83].

Für den vorliegenden Fall wird jedoch nur ein Teil des AHP benötigt. In erster Linie sollen die einzelnen Risikokriterien nach ihrer Wichtigkeit bewertet. Hierzu lässt sich dieses Vorgehen mit Hilfe der Kriterienbewertung bewerkstelligen, wie im folgenden Verlauf noch gezeigt wird.

**Vergleich der Kriterien**

Anhand einer 9-Punkte-Werteskala werden im folgenden Schritt die Kriterien gewichtet. Die Kriterien werden untereinander paarweise im Hinblick auf alle relevanten Elemente der nächst höheren Stufe verglichen [84]. Die von Saaty verwendete Skala beinhaltet ebenso die Verwendung von reziproken Skalenwerten, die von ihm zwingend vorschrieben werden. D.h., wenn ein Element eine etwas größere Bedeutung hat als ein anderes Element (z.B. Wert 3), bedeutet dies im Umkehrschluss, dass dem anderen Element der Wert 1/3 zugeordnet wird. Bei einem umgekehrten Verhältnis werden demzufolge die Kehrwerte der in Tabelle 6 aufgezeigten Skalenwerte verwendet.

Tabelle 32 9-Punkte-Bewertungsskala, nach [85]

	Definition	Interpretation
1	Gleiche Bedeutung	Beide verglichenen Elemente haben die gleiche Bedeutung für das nächsthöhere Element
3	Etwas größere Bedeutung	Erfahrung und Einschätzung sprechen für eine etwas größere Bedeutung eines Elements im Vergleich zu einem anderen.
5	Erheblich größere Bedeutung	Erfahrung und Einschätzung sprechen für eine erheblich größere Bedeutung eines Elements im Vergleich zu einem anderen.
7	Sehr viel größere Bedeutung	Die sehr viel größere Bedeutung eines Elements hat sich in der Vergangenheit klar gezeigt.
9	Stark dominierend	Es handelt sich um den größtmöglichen Bedeutungsunterschied zwischen zwei Elementen.
2, 4, 6, 8	Zwischenwerte	

Tabelle 33 Reziproke 9-Punkte-Bewertungsskala, nach [85]

	Definition	Interpretation
1	Gleiche Bedeutung	Beide verglichenen Elemente haben die gleiche Bedeutung für das nächsthöhere Element
1/3	Etwas geringere Bedeutung	Erfahrung und Einschätzung sprechen für eine etwas geringere Bedeutung eines Elements im Vergleich zu einem anderen.
1/5	Erheblich geringere Bedeutung	Erfahrung und Einschätzung sprechen für eine erheblich geringere Bedeutung eines Elements im Vergleich zu einem anderen.
1/7	Sehr viel geringere Bedeutung	Die sehr viel geringere Bedeutung eines Elements hat sich in der Vergangenheit klar gezeigt.
1/9	Stark unterlegen	Es handelt sich um den größtmöglichen Bedeutungsunterschied zwischen zwei Elementen.
1/2, 1/4, 1/6, 1/8	Zwischenwerte	

### Berechnung der Kriteriengewichte

Mit Hilfe des Eigenwertverfahrens lässt sich nunmehr eine Rangfolge der Kriterien (bzw. später der Alternativen) berechnen. Dabei werden die Vergleichswerte der vorangegangenen Matrizen in normierte Werte umgewandelt. Diese Werte werden anschließend in einen normierten Eigenvektor überführt, der die relative Wichtigkeit der verschiedenen Attribute abbildet und somit eine Gewichtung der Kriterien darstellt.

Die vereinfachte Berechnung des Eigenvektors läuft nach diesem Standardverfahren ab [81]. Alle Vergleichswerte werden dabei spaltenweise addiert und normiert. Die aufbereiteten Vergleichswerte werden zeilenweise addiert und erneut normiert. Die ausgewiesenen Spaltenwerte geben dann den Eigenvektor an. Die Vorgehensweise ist in der folgenden Tabelle 35 angegeben.

Tabelle 34 Schema zur Berechnung der AHP-Gewichtung, nach [84]

Attribute	$A_1$	$A_2$	$A_n$	Normierte Evaluationsmatrix			Zeilen-summe $\sum r_i$	Normierter Eigenvektor $w_i$
				$A_1$	$A_2$	$A_n$		
$A_1$	$A_{11} = 1$	$A_{12}$	$A_{1n}$	$\frac{A_{11}}{C_1}$	$\frac{A_{12}}{C_2}$	$\frac{A_{1n}}{C_n}$	$r_1$	$w_1 = \frac{r_1}{n}$
$A_2$	$A_{21} = \frac{1}{A_{12}}$	$A_{22} = 1$	$A_{2n}$	$\frac{A_{21}}{C_1}$	$\frac{A_{22}}{C_2}$	$\frac{A_{2n}}{C_n}$	$r_2$	$w_2 = \frac{r_2}{n}$
$A_n$	$A_{n1} = \frac{1}{A_{1n}}$	$A_{n2} = \frac{1}{A_{2n}}$	$A_{nn} = 1$	$\frac{A_{n1}}{C_1}$	$\frac{A_{n2}}{C_2}$	$\frac{A_{nn}}{C_n}$	$r_n$	$w_n = \frac{r_n}{n}$
Spalten-summe $\sum C_i:$	$C_1 = \sum_{i=1}^n A_{i1}$	$C_2 = \sum_{i=1}^n A_{i2}$	$C_n = \sum_{i=1}^n A_{in}$	1	1	1	n	1

### Konsistenzprüfung

In den folgenden Abschnitten wird nach den Arbeiten von Saaty die Vorgehensweise der Konsistenzprüfung beschrieben [81]. Eine Evaluationsmatrix ist konsistent, wenn  $a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}$  für beliebige  $i, j$  und  $k$  gilt. Paarvergleiche erfolgen zumeist rein subjektiv. Bei komplexen Entscheidungsaufgaben mit einer Vielzahl untereinander abhängiger Kriterien kann es durchaus vorkommen, dass solche Paarvergleiche inkonsistent sind. Bis zu einem geringen Grad sind Inkonsistenzen jedoch erlaubt und gefährden die gesamte Entscheidung nicht. Bei hoher Inkonsistenz muss der Entscheidungsprozess und somit die Bewertung erneut durchgeführt werden. Zur Überprüfung der Konsistenz werden der von Saaty eingeführte Konsistenzindex CI (consistency index) und die Konsistenzratio CR (consistency ratio) berechnet. Dafür muss zunächst der Eigenwert der Bewertungsmatrix ermittelt werden, denn die Berechnung der Gewichte beim AHP beruht auf der Theorie des größten Eigenwertes einer Matrix. Wird die lineare Abbildung  $f$  durch eine Matrix  $A$  dargestellt, so hat die Eigenwertgleichung die Form

$$A \cdot x = \lambda \cdot x \text{ oder } (A - \lambda \cdot I)x = 0, \tag{10}$$

wobei  $I$  die Einheitsmatrix ist. Zur Ermittlung des CI wird ein Vergleich des maximalen Eigenwertes  $\lambda_{\max}$  der Paarvergleichsmatrix und des Eigenwertes  $\lambda$  der voll konsistenten Matrix (=Rang der Matrix) durchgeführt. Je größer die Differenz zwischen  $\lambda_{\max}$  und  $\lambda$  ist, desto inkonsistenter ist die Matrix. Die Differenz ist allerdings von der Größe der Matrix abhängig, so dass für eine Normierung die Ermittlung des CR durchzuführen ist. Hierbei wird die ermittelte Differenz, also der Konsistenzindex CI, ins Verhältnis zum Zufallskonsistenzindex RI (random index) gesetzt und somit die CR ermittelt (siehe Tabelle 8). Der RI wurde durch Zufallspaarvergleiche für verschiedene  $n \times n$  Matrizen bestimmt. Für eine hohe Anzahl an Zufallspaarvergleichsmatrizen ermittelte Saaty die Eigenwerte. Dadurch stellte Saaty fest, dass die

Konsistenz eben von der Größe einer Matrix abhängig ist. Zur Beurteilung einer Konsistenz muss also der CI-Wert mit dem Durchschnittswert RI verglichen werden. Der RI-Wert ist also der Mittelwert der zufällig ermittelten CI-Werte der jeweiligen nxn-Matrizen [81].

Für die Größe von CR gilt nach Saaty 0,1 als Richtwert. Wird dieser Wert überschritten, gilt der Entscheidungsprozess als inkonsistent und wird Auswirkungen auf die Interpretierbarkeit und Logik der Ergebnisse haben. Der Entscheider sollte demnach den Bewertungsprozess überdenken und erneut durchführen. Die Berechnung des CI und der CR wird mit folgenden Formeln berechnet.

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \tag{11}$$

$$CR = CI / RI \tag{12}$$

Tabelle 35 RI-Werte, nach [81]

Anzahl der Kriterien	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI-Wert	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

**Beispielhafte Berechnung der Wichtung für die Risikofaktoren**

Beispielhaft wird auf folgender Seite die Wichtung der Risikofaktoren ermittelt. Hierzu wurde das im Rahmen der Dissertation von Kamarianakis [86] entwickelte Software-Tool DEMUS<sup>2</sup> genutzt, mit welchem die Bewertung von Entscheidungsproblemen auf Basis des AHP-Algorithmus ermöglicht werden kann. Der Screenshot zeigt dabei die Bewertung bzw. Priorisierung der Risikofaktoren. Hierzu wurden fiktiv Werte vergeben, die lediglich zur Anschauung dienen. Für weitere Informationen wird an dieser Stelle auf [86] verwiesen.

DEMUS<sup>2</sup> - Classic

Datei Ergebniswertuna Hilfe

Kriterien Alternativen Paarvergleich

Kriterium 1	Kriterium 2	Wert
GeometrieDurchmes. 5	Alter	5
GeometrieDurchmes. 5	Lage/Verkehrseinfluss	5
GeometrieDurchmes. 2	Montage/Planung/Bett...	2
GeometrieDurchmes. 2	Verstärkmaterial	2
GeometrieDurchmes. 7	Bodeneigenschaften	7
GeometrieDurchmes. 1	Technische Randbedi...	1
GeometrieDurchmes. 2	Transportmedium	2
Alter 8	Lage/Verkehrseinfluss	8
Alter 4	Montage/Planung/Bett...	4
Alter 3	Verstärkmaterial	3
Alter 0	Bodeneigenschaften	0
Alter 8	Technische Randbedi...	8
Alter 8	Transportmedium	8
Lage/Verkehrseinfluss 4	Montage/Planung/Bett...	4
Lage/Verkehrseinfluss 5	Verstärkmaterial	5
Lage/Verkehrseinfluss 4	Bodeneigenschaften	4
Lage/Verkehrseinfluss 2	Technische Randbedi...	2
Lage/Verkehrseinfluss 2	Transportmedium	2
Montage/Planung/Bett... 2	Verstärkmaterial	2
Montage/Planung/Bett... 4	Bodeneigenschaften	4
Montage/Planung/Bett... 1	Technische Randbedi...	1
Montage/Planung/Bett... 2	Transportmedium	2
Verstärkmaterial 6	Bodeneigenschaften	6
Verstärkmaterial 3	Technische Randbedi...	3
Verstärkmaterial 4	Transportmedium	4
Bodeneigenschaften 5	Technische Randbedi...	5
Bodeneigenschaften 4	Transportmedium	4
Technische Randbedi... 2	Transportmedium	2

Kriterienvergleich

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Technische Randbedingungen <.....> Transportmedium

< Zurück Nächster >

Berechnen

Kriterium	Gewichtung
GeometrieDurchmesser	0,123
Alter	0,4
Lage/Verkehrseinfluss	0,05
Montage/Planung/Bettungsfehler	0,119
Verstärkmaterial	0,158
Bodeneigenschaften	0,021
Technische Randbedingungen	0,074
Transportmedium	0,054

Berechnung

Konsistenz CR : 0,052

Bild 76 Screenshot DEMUS<sup>2</sup>: Priorisierung der Risikofaktoren

### 6.6.2 Bestimmung des risikorelevanten Schadensausmaßes

Zur Bestimmung eines Schadensausmaßes lassen sich im Normalfall mehrere unterschiedliche Herangehensweisen wählen. Das Schadensausmaß könnte beispielsweise hinsichtlich seiner technischen Auswirkungen definiert und bestimmt werden. Aufgrund der Tatsache dass es sich jedoch um eine qualitative Risikoanalyse handelt, ist die Bestimmung technischer Schadensausmaßraten als schwierig anzusehen. Ein idealer Ansatz ist nach Ermessen der Betreiber grundsätzlich in wirtschaftlich orientierten Lösungen zu suchen. Demzufolge sind für das Schadensausmaß ökonomische Faktoren heranzuziehen. Grundsätzlich ist die Frage nach der Höhe von Kosten ohnehin zu stellen, so dass neben klassischen Initialkosten, auch indirekte Kosten mit in eine Betrachtung einfließen sollten.

Unter den Initialkosten fallen jene Kosten an, die zu Beginn einer möglichen Sanierung, d.h. Renovierung, Reparatur oder Erneuerung, grundsätzlich ermittelt werden können (Kalkulation der Baukosten).

Die indirekten Kosten umfassen Kosten, die nicht direkt an der Druckleitung beteiligte Gruppen betreffen. Hierbei handelt es sich zum Beispiel um die Verkehrsumleitung und –sicherung, den Substanzverlust der Straße, die Beschädigung der Vegetation (Absenken des Grundwassers; Beschädigung von Wurzeln) oder aber auch die Anzahl der angeschlossenen Haushalte/Industrie, die über einen bestimmten Zeitraum mit Einschränkungen zu rechnen haben. Jene Kosten finden im Rahmen von Kalkulationen bislang keine Berücksichtigung, sie belasten aber dennoch nachhaltig die Volkswirtschaft [87].

Analog zu den Ausführungen bzgl. der Eintrittswahrscheinlichkeit werden auch für die Kriterien des Schadensausmaßes Wichtungen bestimmt. Im Zuge der Lenkungskreissitzungen wurde gefragt, wie die einzelnen Kriterien zu gewichten sind. Grundsätzlich stellen die Kosten für Netzbetreiber den wichtigsten Aspekt dar, so dass dieses Kriterium doppelt so stark (Wichtung: 2,0) in die Bewertung einfließt wie die beiden übrigen Kriterien (Wichtung: je 1,0). Dennoch hat ein Netzbetreiber die Möglichkeit, nach eigenem Ermessen den Wert der Wichtung zu definieren.

**Unabhängig davon lässt sich die Priorisierung nach den Ausführungen in Kapitel 6.6.1.2 mit Hilfe des AHP bewerkstelligen.**

Zusammenfassend werden zur Bestimmung des Schadensausmaßes folgende Attribute herangezogen (Tabelle 36):

Tabelle 36 Kriterien für das Schadensausmaß und deren Wichtung

Kriterien für das Schadensausmaß	Wichtung
Kosten für Sanierung/Erneuerung/Inspektion etc.	2,00
Anzahl der angeschlossenen Haushalte/Industrie	1,00
Auswirkungen auf die Umwelt	1,00

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes werden darüber hinaus fünf Ebenen zur Beschreibung des Schadensausmaßes festgesetzt, wie bereits in Abschnitt 6.5.2 gezeigt wurde:

- Sehr niedrig
- Niedrig
- Mittel
- Hoch
- Sehr hoch

Die beschriebene qualitative Form der Ermittlung des Schadensausmaßes ist eine adäquate Methode für die Risikoanalyse, da sich das Ziel oder die Teilziele nur in wenigen Fällen quantifizieren lassen und das mögliche Schadensausmaß bestimmt werden muss.

## 6.7 Vorgehensweise bei der Risikobewertung

### 6.7.1 Bewertung des fallspezifischen Risikos

Nachdem bei allen identifizierten Risiken basierend auf den oben beschriebenen Methoden die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß ermittelt wurden, können diese in ein Risikoportfolio eingetragen werden. Dabei handelt es sich um ein Instrument, das einen Überblick über die Risikolage gibt. Dargestellt wird „...die multiplikative Verknüpfung der Dimensionen der Zielabweichung und der Eintrittswahrscheinlichkeit...“ des Risikos [88]. Das Risikoportfolio dient den Entscheidungsträgern als Grundlage für den nächsten Schritt des Risikomanagementprozesses, der Risikobewältigung.

Zur Bestimmung der einzelnen Risiken sind zunächst die verschiedenen Druckrohrleitungen zu bewerten. In Anlehnung an die Klassifizierung aus den vorherigen Abschnitten werden beispielhaft sechs Druckrohrleitungen hinsichtlich ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit und ihres Schadensausmaßes bewertet. Dazu müssen die jeweiligen Leitungen genauestens analysiert werden, so dass eine Angabe der Eintrittswahrscheinlichkeit möglich ist. Die Eintrittswahrscheinlichkeit wird wiederum mit der durch die Netzbetreiber zuvor festgelegten Wichtigkeit multipliziert. Durch Addition der Punkte ergibt sich so eine Gesamtpunktzahl, die die qualitative Eintrittswahrscheinlichkeit wiedergeben soll.

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

**Beispielhaft wird die Bewertung für eine Druckrohrleitung A** erklärt (Tabelle 37). Hierzu werden die Risikofaktoren im Rahmen einer Leitungs-Analyse bewerten. Auf diese Weise lassen sich verbal die Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmen. Analog zu diesem Vorgehen ist mit den weiteren Druckrohrleitungen vorzugehen (B bis F).

Tabelle 37 Risikofaktoren/Beschreibung einzelner Parameter

Risikofaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungs-Analyse	Eintrittswahrscheinlichkeit
Geometrie/Durchmesser der Druckrohrleitung	Das Rohr weist eine unverhältnismäßig ungünstige Geometrie auf (Viele Richtungswechsel, Bögen, etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall kritisch zu betrachten	Wahrscheinlich
Alter der Druckrohrleitung	Das Alter ist größer 50 Jahre. Untersuchungen zeigen, dass alte Leitungen sanierungsbedürftig sind	Sehr wahrscheinlich
Lage/Tiefe der Druckrohrleitung	Die Leitung befindet sich in der Nähe von hohen Verkehrslasten. Die Leitung befindet sich oberflächennah.	Sehr wahrscheinlich
Montage- /Bettungsfehler	Die Firma XY hat zu damaliger Zeit Einbaufehler verursacht	Möglich
Technische Aspekte bzgl. der Pumpe	Störungen wurden in den letzten Jahren sehr häufig registriert	Wahrscheinlich
Durchflussmenge	Hoher Anteil an aggressiven Abwässern	Sehr wahrscheinlich
Werkstoffeigenschaften	Die Werkstoffeigenschaften sind gem. Bestandsplänen kritisch zu betrachten	Wahrscheinlich

In den folgenden Tabellen sind exemplarisch die **fiktiven** Druckleitungen A bis F bewertet, deren Bewertung anschließend in die Risikomatrix mündet.

Tabelle 38 Risikobewertung der fiktiven Druckrohrleitung A

	Eintrittswahrscheinlichkeit	Wichtung	Punkte
Rohrgeometrie	Wahrscheinlich	2,57	10,29
Alter Leitung	Sehr wahrscheinlich	4,14	20,71
Festigkeit- und Werkstoffeigenschaft	Sehr wahrscheinlich	3,86	19,29
Lage Tiefe Leitung	Möglich	2,57	7,71
Durchflussmenge	Wahrscheinlich	3,86	15,43
Pumptechnik	Sehr wahrscheinlich	3,29	16,43
Montage Bettungsfehler	Wahrscheinlich	3,00	12,00
<b>Gesamt</b>			<b>101,86</b>

	Schadensausmaß	Wichtung	Punkte
Kosten für Sanierung etc	Sehr niedrig	2,00	2,00
Anzahl Wirtschaftseinheiten	niedrig	1,00	2,00
Auswirkung auf Umwelt	niedrig	1,00	2,00
<b>Gesamt</b>			<b>6,00</b>

Tabelle 39 Risikobewertung der fiktiven Druckrohrleitung B

	Eintrittswahrscheinlichkeit	Wichtung	Punkte
Rohrgeometrie	Unmöglich	2,57	2,57
Alter Leitung	Unwahrscheinlich	4,14	8,29
Festigkeit- und Werkstoffeigenschaft	Möglich	3,86	11,57
Lage Tiefe Leitung	Unmöglich	2,57	2,57
Durchflussmenge	Unmöglich	3,86	3,86
Pumptechnik	Unmöglich	3,29	3,29
Montage Bettungsfehler	Unwahrscheinlich	3,00	6,00
<b>Gesamt</b>			<b>38,14</b>

	Schadensausmaß	Wichtung	Punkte
Kosten für Sanierung etc	niedrig	2,00	4,00
Anzahl Wirtschaftseinheiten	mittel	1,00	3,00
Auswirkung auf Umwelt	niedrig	1,00	2,00
<b>Gesamt</b>			<b>9,00</b>

Tabelle 40 Risikobewertung der fiktiven Druckrohrleitung C

	Eintrittswahrscheinlichkeit	Wichtung	Punkte
Rohrgeometrie	Möglich	2,57	7,71
Alter Leitung	Möglich	4,14	12,43
Festigkeit- und Werkstoffeigenschaft	Sehr wahrscheinlich	3,86	19,29
Lage Tiefe Leitung	Unwahrscheinlich	2,57	5,14
Durchflussmenge	Unwahrscheinlich	3,86	7,71
Pumptechnik	Möglich	3,29	9,86
Montage Bettungsfehler	Unwahrscheinlich	3,00	6,00
<b>Gesamt</b>			<b>68,14</b>

	Schadensausmaß	Wichtung	Punkte
Kosten für Sanierung etc	niedrig	2,00	4,00
Anzahl Wirtschaftseinheiten	sehr hoch	1,00	5,00
Auswirkung auf Umwelt	mittel	1,00	3,00
<b>Gesamt</b>			<b>12,00</b>

Tabelle 41 Risikobewertung der fiktiven Druckrohrleitung D

	Eintrittswahrscheinlichkeit	Wichtung	Punkte
Rohrgeometrie	Wahrscheinlich	2,57	10,29
Alter Leitung	Sehr wahrscheinlich	4,14	20,71
Festigkeit- und Werkstoffeigenschaft	Sehr wahrscheinlich	3,86	19,29
Lage Tiefe Leitung	Möglich	2,57	7,71
Durchflussmenge	Wahrscheinlich	3,86	15,43
Pumptechnik	Sehr wahrscheinlich	3,29	16,43
Montage Bettungsfehler	Wahrscheinlich	3,00	12,00
<b>Gesamt</b>			<b>101,86</b>

	Schadensausmaß	Wichtung	Punkte
Kosten für Sanierung etc	sehr hoch	2,00	10,00
Anzahl Wirtschaftseinheiten	hoch	1,00	4,00
Auswirkung auf Umwelt	hoch	1,00	4,00
<b>Gesamt</b>			<b>18,00</b>

Tabelle 42 Risikobewertung der fiktiven Druckrohrleitung E

	Eintrittswahrscheinlichkeit	Wichtung	Punkte
Rohrgeometrie	Unmöglich	2,57	2,57
Alter Leitung	Unwahrscheinlich	4,14	8,29
Festigkeit- und Werkstoffeigenschaft	Möglich	3,86	11,57
Lage Tiefe Leitung	Unmöglich	2,57	2,57
Durchflussmenge	Unmöglich	3,86	3,86
Pumptechnik	Unmöglich	3,29	3,29
Montage Bettungsfehler	Unwahrscheinlich	3,00	6,00
<b>Gesamt</b>			<b>38,14</b>

	Schadensausmaß	Wichtung	Punkte
Kosten für Sanierung etc	sehr hoch	2,00	10,00
Anzahl Wirtschaftseinheiten	hoch	1,00	4,00
Auswirkung auf Umwelt	hoch	1,00	4,00
<b>Gesamt</b>			<b>18,00</b>

Tabelle 43 Risikobewertung der fiktiven Druckrohrleitung F

	Eintrittswahrscheinlichkeit	Wichtung	Punkte
Rohrgeometrie	Sehr wahrscheinlich	2,57	12,86
Alter Leitung	Sehr wahrscheinlich	4,14	20,71
Festigkeit- und Werkstoffeigenschaft	Möglich	3,86	11,57
Lage Tiefe Leitung	Wahrscheinlich	2,57	10,29
Durchflussmenge	Unwahrscheinlich	3,86	7,71
Pumptechnik	Sehr wahrscheinlich	3,29	16,43
Montage Bettungsfehler	Sehr wahrscheinlich	3,00	15,00
<b>Gesamt</b>			<b>94,57</b>

	Schadensausmaß	Wichtung	Punkte
Kosten für Sanierung etc	mittel	2,00	6,00
Anzahl Wirtschaftseinheiten	hoch	1,00	4,00
Auswirkung auf Umwelt	hoch	1,00	4,00
<b>Gesamt</b>			<b>14,00</b>

Nachdem die einzelnen fiktiven Leitungen exemplarisch bewertet wurden, sind die Ergebnisse in eine Risikomatrix zu überführen (s. Bild 77).



Bild 77 Risikomatrix der Druckrohrleitungen A bis F

Im oben gezeigten Risikoportfolio kann anhand der ermittelten Risikopositionen abgelesen werden, welche Risiken zuerst angegangen werden müssen. Man beginnt mit den Risiken im Bereich „Hoher Handlungsbedarf“ und handelt alle Risiken ab, bis hin zu den Risiken, die keinen Handlungsbedarf benötigen. Liegen zwei Risiken in der gleichen Zone und haben eine ähnliche Zielabweichung, hat das Risiko mit der größten Eintrittswahrscheinlichkeit Priorität. In der obigen Abbildung würde mit Risiko „D“ begonnen werden, da die Entscheidungsträger dieses Risiko mit einem sehr hohen Schadensausmaß und einer sehr hohen Eintrittswahrscheinlichkeit bewertet haben, so dass von einem hohen Handlungsbedarf ausgegangen werden muss. Risiko „F“ dagegen gefährdet die Leitung bzw. das Umfeld ebenfalls in deutlichem Umfang, jedoch sind die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß geringer. Somit ist sehr genau zu überlegen, wie das Risiko im Verlauf gesteuert werden soll. Im nächsten Schritt wird das abgebildete Risiko „C“ angegangen. Dabei handelt es sich um ein Risiko, das wahrscheinlich eintreten wird und dabei einen mittleren bis schwerwiegenden Schaden nach sich zieht. Eine Steuerung des Risikos ist dabei unumgänglich. Dieses Schema wird fortgesetzt, bis zu Risiko „A“, das mit hoher Wahrscheinlichkeit eintreten, jedoch einen unbedeutenden Schaden verursachen wird. Die beschriebene Beurteilung der Risiken aus dem Portfolio führen zu den entsprechenden Steuerungsmaßnahmen, die im folgenden Kapitel beleuchtet werden.

### 6.7.2 Risikosteuerung

Basierend auf der vorangegangenen Klassifikation der Risiken im Portfolio wird die Risikosteuerung vorgenommen. Die formulierten Ziele der einzelnen Netzbetreiber und des Risikomanagements nach ISO 31000 gelten dabei als Leitfaden, da diese als Entscheidungsgrundlage für die entsprechend zu wählenden Steuerungsinstrumente fungieren. Das erste Ziel der Risikosteuerung ist es, mit den zur Verfügung stehenden Möglichkeiten eine „...Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit (...) oder aber eine Begrenzung der Auswirkungen von Risiken...“ zu erreichen [89].

Wie bereits in der Begriffserklärung des Risikomanagements dargelegt wurde, muss der Risikomanagementprozess als Regelkreis verstanden werden. Dabei stellt die Risikokontrolle den letzten Schritt im Kreislauf des Risikomanagementprozesses dar. Die Aufgabe der Risikokontrolle ist „...die risikopolitischen Instrumente im Hinblick auf den Zielerreichungsgrad, ihrer Wirtschaftlichkeit und Wirksamkeit ständig zu überwachen und zu dokumentieren“ [88]. Die Risikokontrolle beinhaltet die ständige Überprüfung der Risikoidentifikation auf potentielle bzw. latente neue Risikoobjekte und Risikofaktoren. Analog müssen die Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadensausmaße der bewerteten Risiken kontinuierlich beobachtet werden, um die Wirksamkeit der Steuerungsmaßnahmen und den entsprechenden Verlauf sicherzustellen. Von besonderer Wichtigkeit ist bei der Risikokontrolle die Überprüfung der Risikosteuerung. Dabei muss zum einen ein ergebnisorientierter Soll/Ist-Vergleich durchgeführt werden. Der angestrebte Risikozustand wird mit dem erreichten Risikozustand verglichen. Zum anderen sollte die Risikokontrolle nicht ermitteln, ob das Steuerungsinstrument effektiv auf das Risiko eingewirkt hat, sondern muss während des Risikosteuerungsprozesses kontinuierlich den Verlauf des Risikos überprüfen [88]. Um eine möglichst effiziente Arbeitsweise bei der Kontrolle des Soll/Ist-Zustands sicherzustellen, ist es empfehlenswert, ein Ziel-Risikoportfolio zu erstellen (s. Bild 78).

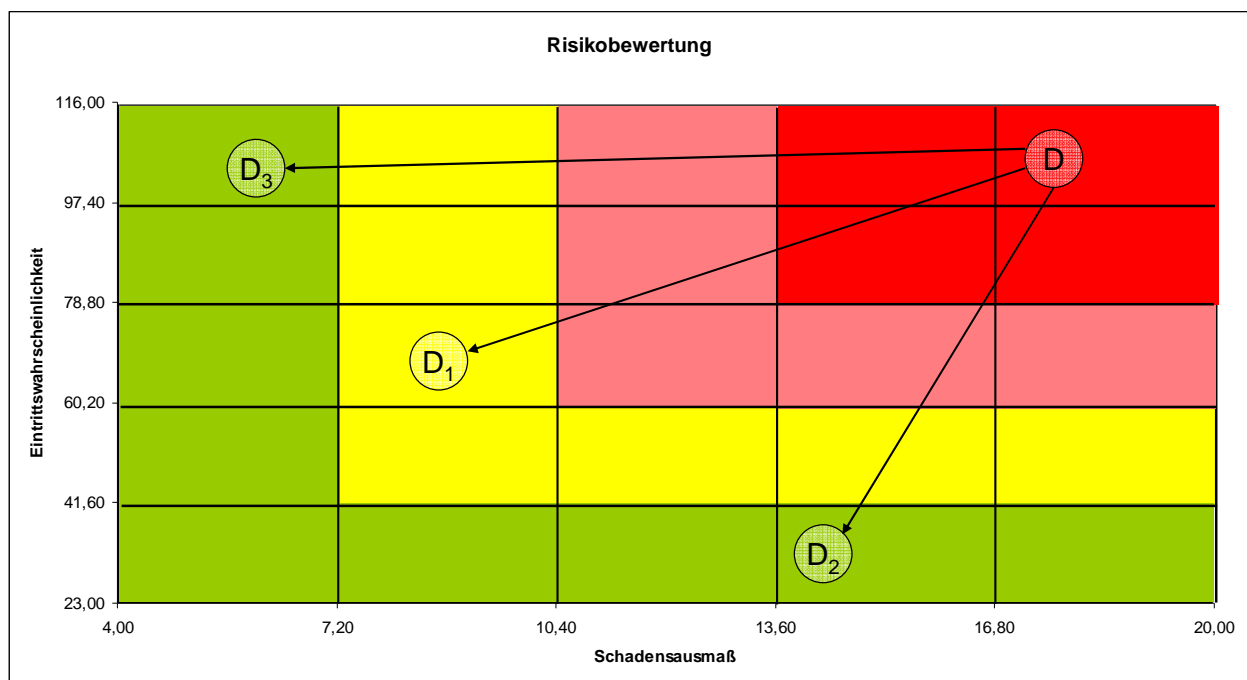


Bild 78 Ziel-Risikoportfolio

Im abgebildeten Ziel-Risikoportfolio symbolisiert das Ausgangsrisiko „D“ den Ist-Zustand, unter „D1“ wird das anvisierte Risikoniveau des Ausgangsrisikos dargestellt. Es wurde eine Risikominderung vorgenommen, wobei jedoch das Risikoobjekt weiterhin besteht. Der Risikofaktor aber wurde so reduziert, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß erheblich gesunken sind. Der Ist-Zustand „D2“, aus der Abbildung, stellt das Risikoniveau des Ausgangsrisikos nach der Anwendung eines Risikotransfers dar. Das Risikoobjekt existiert weiterhin, jedoch wurden die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ausfalls stark und das Schadensausmaß leicht gesenkt. Gründe für eine Verringerung der Wahrscheinlichkeit liegen bspw. in einer Inspektion, die entgegen einer vorherigen Untersuchung auf Basis vorhandener Unterlagen ein noch sehr gutes Ergebnis hinsichtlich Betrieb, Standsicherheit und Dichtheit liefert.

Der Ist-Zustand von Risiko „D3“ verkörpert das Risikoniveau des Ausgangsrisikos nach dem Einsatz der Risikovermeidung. Das Risikoobjekt kann als weiterhin bestehend interpretiert werden, jedoch wurde der Risikofaktor so manipuliert, dass gewissermaßen kein Schaden mehr eintreten kann. Aus dem dargestellten Beispiel wird ersichtlich, dass ein kontinuierlicher Vergleich des angestrebten Risikoniveaus mit den jeweiligen Ist-Zuständen ermöglicht, die Risikosituationen einzuschätzen und gegebenenfalls Änderungen vorzunehmen.

Für das Druckrohrleitungsnetz ergeben sich somit strategisch wichtige Zielformulierungen. Nach einer risikoanalytischen Betrachtung des eigenen Netzbestandes ist eine Klassifizierung der verschiedenen Druckleitungen nunmehr möglich. Der Netzbetreiber kann nach eigenem Ermessen entscheiden, ob dieser durch bestimmte Maßnahmen eine Reduzierung des Risikos veranlassen möchte. Beispielsweise lassen sich auf Basis des Risikoportfolios verschiedene Bestandsklassen definieren, so dass ein Netzbetreiber die Möglichkeit hat, klassenweise die Risiken zu steuern.

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

## 6.8 Fazit und weiteres Vorgehen

In Rahmen dieses Kapitels wurden einzelne Schadensrisiken vorgestellt und beschrieben. Die einzelnen Kriterien können nunmehr im Zuge einer qualitativen Risikoanalyse hinsichtlich ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit und ihres Schadensausmaßes bewertet werden, so dass Druckleitungsnetze von einzelnen Netzbetreibern priorisiert werden können. Generelles Ziel ist es, die Ergebnisse in eine übersichtliche Risikomatrix zu übertragen, die Netzbetreibern eine Priorisierung des notwendigen Handlungsbedarfs im Hinblick auf die eigenen Leitungen geben soll. Auf dieser Grundlage können Netzbetreiber Risiken steuern und gegebenenfalls auch optimieren.

Das vorliegende Risikomodell wurde den Lenkungskreisteilnehmern in vollständiger Form präsentiert und vorgestellt. Insgesamt war eine positive Reaktion auf das erarbeitete Risikomodell zu verzeichnen. Es wurde festgehalten, dass ein solches Modell grundsätzlich für eine erste Risikobewertung eingesetzt werden kann, zumal derartige Bewertungsmodelle gänzlich fehlen. Einige der Lenkungskreisteilnehmer erklärten sich dazu bereit, ihr Druckleitungsnetz auf Grundlage des vorgestellten Risikomodells zu untersuchen. Diese Bewertung sowie die Untersuchung der Leitungsnetze werden im folgenden Kapitel zusammengefasst. Die konkrete Umsetzung des Modells erfolgte stets in Abstimmung mit den jeweiligen Netzbetreibern.

Bevor eine Umsetzung der hier gezeigten qualitativen Risikoanalyse erfolgt, werden im nächsten Kapitel zunächst Handlungsempfehlungen zur Ableitung von Intervallen zur Wiederholungsinspektionen erarbeitet. Die hier vorgestellte Risikoanalyse zeigt derzeit lediglich das Vorgehen sowie die zugrunde liegende Bewertungsmethodik. Die Risikobewertung gibt allerdings noch keine Informationen darüber, auf welche Art und Weise die Bewertungspunkte bzgl. Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit ermittelt werden. Ebenso ist derzeit nicht bekannt, wie mit den Leitungen umgegangen werden soll, nachdem diese in eine Risikomatrix übertragen wurden. Zur Vervollständigung des Risikomodells werden im folgenden Kapitel dementsprechend ein Fragebogen zur Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes erarbeitet sowie der Handlungsbedarf für jede Risikoklasse abgeleitet.

## 7 Handlungsempfehlungen zur Ableitung von Intervallen zur Wiederholungsinspektion

In Kapitel 5 wurde gezeigt, dass eine Dichtheitsprüfung nach Regelwerk bzw. Norm zeitlich auch verkürzt erfolgen kann, so dass der Betrieb von Abwasserdruckleitungen nur für eine kurze Zeit unterbrochen werden muss. Auf Basis der in Kapitel 6 vorgestellten Risikoanalyse können nunmehr erste Empfehlungen zur Ableitung von Intervallen zur Wiederholungsinspektion formuliert werden. Die Erkenntnisse aus Kapitel 6 werden nunmehr zu einem Fragebogen zusammengefasst. Dies hat den Vorteil, dass alle Daten zum Druckleitungsbestand erfasst werden können. Dieses Vorgehen stellt somit den ersten Schritt dar, um Empfehlungen zur Ableitung von Intervallen aussprechen zu können.

### 7.1 Erarbeitung eines Fragebogens zur Bestimmung des Leitungszustandes

Bereits in Kapitel 6 wurde ein erster Fragebogen zur Priorisierung der Schadensrisiken an Netzbetreiber verschickt. In der Folge wurden die wichtigsten Risiken zusammengestellt und durch die Netzbetreiber gewichtet.

Mit Hilfe dieser Schadenskriterien wurde ein Vorgehen erarbeitet, um die Erfahrungen der Netzbetreiber zielgenau erfassen zu können. Die Informationen wurden daraufhin systematisch in das Risikomodell integriert. Auf Basis einer Leitungsbeschreibung konnten Netzbetreiber schnell die wichtigsten Informationen somit zusammentragen.

Auf Grundlage der aufgeführten Risikofaktoren sowie der dazugehörigen Leitungsanalyse war eine genaue Benennung qualitativer Eintrittswahrscheinlichkeiten möglich.

Es ist jedoch zu erwähnen, dass die im Kapitel 6 ermittelten Risikofaktoren im Rahmen der Umsetzung nochmals hinsichtlich ihrer Definition verfeinert werden mussten. Bei der Anwendung der Kriterien hat sich ergeben, dass einzelne Netzbetreiber konstruktive Verbesserungsvorschläge gemacht haben. Diese Anmerkungen sind nunmehr in die Bearbeitung dieses Kapitels geflossen.

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Beschreibungen zur Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit kurz vorgestellt. Dazu wurde für jedes Risikokriterium in Abhängigkeit der Eintrittswahrscheinlichkeit eine verbale Beschreibung realisiert. Auf diese Weise hat ein Anwender die Möglichkeit, den Wert der Eintrittswahrscheinlichkeit besser einzuordnen und schließlich festzulegen.

An dieser Stelle sei betont, dass alle Beschreibungen **ohne** jede Daten-Basis erarbeitet wurden und nur **als Beispiele** gemeint sind **bzw. zur Orientierung dienen sollen**. Den Beschreibungen liegen entsprechend auch keine statistischen Auswertungen zugrunde, so dass die Beschreibungen auch nur für den jeweiligen spezifischen Fall der Risikoanalyse gelten. Wenn auch keine statistischen Daten vorliegen, so kann die Risikoanalyse mit Hilfe dieses Fragebogens beispielhaft qualitativ durchgeführt werden.

**7.1.1 Leitungs-Analyse für die Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit**

*7.1.1.1 Geometrie/Durchmesser der Druckrohrleitung<sup>1</sup>*

Die Beschreibung bzw. Analyse der Geometrie der Druckrohrleitung kann wie in Tabelle 44 erfolgen.

*Tabelle 44 Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit "Geometrie/Durchmesser"*

Beschreibung im Zuge einer Leitungs-Analyse	Eintrittswahrscheinlichkeit
Das Rohr weist eine sehr günstige Geometrie auf (Keine Richtungswechsel, keine Bögen, minimalste Steigungen, etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich (1, nach Tabelle 30)
Das Rohr weist eine günstige Geometrie auf (leichte Richtungswechsel, keine Bögen, minimale Steigungsänderungen etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich (2, nach Tabelle 30)
Das Rohr weist eine ungünstige Geometrie auf (mehrere Richtungswechsel, einige Bögen, minimale Steigungsänderungen etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich (3, nach Tabelle 30)
Das Rohr weist eine unverhältnismäßig ungünstige Geometrie auf (Viele Richtungswechsel, Viele Bögen, etc., viele Steigungsänderungen). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall kritisch zu betrachten	Wahrscheinlich (4, nach Tabelle 30)
Das Rohr weist eine äußerst unverhältnismäßig ungünstige Geometrie auf (Sehr viele Richtungswechsel, ungewöhnliche Bögen, etc., viele und steile Steigungsänderungen). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall äußerst kritisch zu betrachten	Sehr wahrscheinlich (5, nach Tabelle 30)

<sup>1</sup> Die Beschreibung sowie die Eintrittswahrscheinlichkeit sind allein auf Basis von Expertengesprächen mit Netzbetreibern erarbeitet worden. Statistische Auswertungen lagen nicht vor. Die Beschreibungen dienen lediglich als Beispiele zur Bestimmung bzw. zur qualitativen Einordnung des Risikos.

7.1.1.2 Werkstoffeigenschaften/Material der Druckrohrleitung<sup>1</sup>

Die Beschreibung bzw. Analyse der Werkstoffeigenschaften der Druckrohrleitung kann wie in Tabelle 45 erfolgen.

Tabelle 45 Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit "Werkstoffeigenschaften/Material"

Beschreibung im Zuge einer Leitungs-Analyse	Eintrittswahrscheinlichkeit
Das Rohr weist sehr gute Werkstoffeigenschaften auf (Keine Korrosion möglich, Anschlüsse sind technisch sehr gut ausgeführt). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich (1, nach Tabelle 30)
Das Rohr weist gute Werkstoffeigenschaften auf (Keine Korrosion möglich, Anschlüsse sind gut ausgeführt, Anzahl der Anschlüsse ist hoch etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich (2, nach Tabelle 30)
Das Rohr weist normale Werkstoffeigenschaften auf (Korrosion ist möglich, Spülungen haben das Rohr teilweise beschädigt, hohe Anzahl an Anschlüssen). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich (3, nach Tabelle 30)
Das Rohr weist ungünstige Werkstoffeigenschaften auf (Korrosion ist definitiv möglich, erste Inkrustationen sind erkennbar, leichte Fehlstellen in der Rohrwandung, Spülungen haben das Rohr beschädigt, erste Sanierungen wurden durchgeführt, hohe Anzahl an Anschlüssen). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall kritisch zu betrachten	Wahrscheinlich (4, nach Tabelle 30)
Das Rohr weist äußerst ungünstige Werkstoffeigenschaften auf (Korrosion vorhanden, erhebliche Fehlstellen in der Rohrwandung, Inkrustationen sind erkennbar, Spülungen haben das Rohr stark beschädigt, mehrere Sanierungen wurden durchgeführt, Leckagen sind zu erkennen). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall äußerst kritisch zu betrachten	Sehr wahrscheinlich (5, nach Tabelle 30)

<sup>1</sup> Die Beschreibung sowie die Eintrittswahrscheinlichkeit sind allein auf Basis von Expertengesprächen mit Netzbetreibern erarbeitet worden. Statistische Auswertungen lagen nicht vor. Die Beschreibungen dienen lediglich als Beispiele zur Bestimmung bzw. zur qualitativen Einordnung des Risikos.

7.1.1.3 *Alter der Druckrohrleitung*<sup>1</sup>

Die Beschreibung bzw. Analyse des Alters der Druckrohrleitung kann wie in Tabelle 46 erfolgen.

Tabelle 46 *Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit "Alter der Druckrohrleitung "*

Beschreibung im Zuge einer Leitungs-Analyse	Eintrittswahrscheinlichkeit
Das Rohr weist ein sehr geringes Alter auf (0 bis 10 Jahre). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich (1, nach Tabelle 30)
Das Rohr weist ein geringes Alter auf (11 bis 20 Jahre). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich (2, nach Tabelle 30)
Das Rohr weist ein mittleres Alter auf (21 bis 40 Jahre). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich (3, nach Tabelle 30)
Das Rohr weist ein hohes Alter auf (41 bis 60 Jahre). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall kritisch zu betrachten	Wahrscheinlich (4, nach Tabelle 30)
Das Rohr weist ein sehr hohes Alter auf (größer 61 Jahre). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall äußerst kritisch zu betrachten	Sehr wahrscheinlich (5, nach Tabelle 30)

---

<sup>1</sup> Die Beschreibung sowie die Eintrittswahrscheinlichkeit sind allein auf Basis von Expertengesprächen mit Netzbetreibern erarbeitet worden. Statistische Auswertungen lagen nicht vor. Die Beschreibungen dienen lediglich als Beispiele zur Bestimmung bzw. zur qualitativen Einordnung des Risikos.

7.1.1.4 Bodeneigenschaften im Bereich der Druckrohrleitung<sup>1</sup>

Die Beschreibung bzw. Analyse der Bodeneigenschaften kann wie in Tabelle 47 erfolgen.

Tabelle 47 Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit "Bodeneigenschaften"

Beschreibung im Zuge einer Leitungs-Analyse	Eintrittswahrscheinlichkeit
Der Boden weist ideale Bedingungen für die Kombination Boden/Rohr auf. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich (1, nach Tabelle 30)
Der Boden weist gute Bedingungen für die Kombination Boden/Rohr auf. Teilweise sind unterschiedliche Böden anzutreffen. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich (2, nach Tabelle 30)
Der Boden weist normale Bedingungen für die Kombination Boden/Rohr auf. Unterschiedliche Bodenarten sind anzutreffen. Ebenso ist in einigen Stellen der Boden nicht ausreichend verdichtet. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich (3, nach Tabelle 30)
Der Boden weist ungünstige Bedingungen für die Kombination Boden/Rohr auf. Unterschiedliche Bodenarten sind anzutreffen. Ebenso ist in einigen Stellen der Boden nicht ausreichend verdichtet. Teilweise liegt die Leitung im Freien. Die Leitung liegt im nicht frostfreien Bereich. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall als kritisch zu betrachten	Wahrscheinlich (4, nach Tabelle 30)
Der Boden weist schlechte Bedingungen für die Kombination Boden/Rohr auf. Unterschiedliche Bodenarten sind anzutreffen. An vielen Stellen ist der Boden nicht ausreichend verdichtet. Die Leitung liegt im nicht frostfreien Bereich. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall äußerst kritisch zu betrachten	Sehr wahrscheinlich (5, nach Tabelle 30)

<sup>1</sup> Die Beschreibung sowie die Eintrittswahrscheinlichkeit sind allein auf Basis von Expertengesprächen mit Netzbetreibern erarbeitet worden. Statistische Auswertungen lagen nicht vor. Die Beschreibungen dienen lediglich als Beispiele zur Bestimmung bzw. zur qualitativen Einordnung des Risikos.

7.1.1.5 Montage/Bettungsfehler/Baumängel/Unterlagen der Druckrohrleitung<sup>1</sup>

Die Beschreibung bzw. Analyse der Montage/Bettungsfehler kann wie in Tabelle 48 erfolgen.

Tabelle 48 Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit Montage / Baumängel / Unterlagen

Beschreibung im Zuge einer Leitungs-Analyse	Eintrittswahrscheinlichkeit
Die Baumaßnahme wurde vollständig geplant. Der Netzbetreiber hatte stets Überblick über die Maßnahme. Alle Unterlagen liegen lückenlos vor. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich (1, nach Tabelle 30)
Die Baumaßnahme wurde vollständig geplant. Der Netzbetreiber hatte stets Überblick über die Maßnahme. Alle Unterlagen liegen lückenlos vor. Während des Baus gab es vereinzelt Probleme. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich (2, nach Tabelle 30)
Die Baumaßnahme wurde teilweise ausreichend geplant. Der Netzbetreiber hatte nicht immer einen Überblick über die Baumaßnahme. Nicht alle Unterlagen liegen vor. Schwierige Kommunikation mit dem Bauunternehmer. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich (3, nach Tabelle 30)
Eine Planung liegt nicht mehr vor. Der Netzbetreiber hatte keinen Überblick über die Baumaßnahme. Dennoch existieren Unterlagen über vergangene Inspektionen. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall als kritisch zu betrachten	Wahrscheinlich (4, nach Tabelle 30)
Es liegen keine ausreichenden Informationen vor. Ebenso gibt es keine Informationen zum Bau der Druckleitung. Verlauf der Druckleitung ist gänzlich unbekannt. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall äußerst kritisch zu betrachten	Sehr wahrscheinlich (5, nach Tabelle 30)

<sup>1</sup> Die Beschreibung sowie die Eintrittswahrscheinlichkeit sind allein auf Basis von Expertengesprächen mit Netzbetreibern erarbeitet worden. Statistische Auswertungen lagen nicht vor. Die Beschreibungen dienen lediglich als Beispiele zur Bestimmung bzw. zur qualitativen Einordnung des Risikos.

7.1.1.6 Lage/Verkehrseinfluss der Druckrohrleitung<sup>1</sup>

Die Beschreibung bzw. Analyse der "Lage/Verkehrseinfluss" kann wie in Tabelle 49 erfolgen.

Tabelle 49 Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit "Lage/Verkehrseinfluss"

Beschreibung im Zuge einer Leitungs-Analyse	Eintrittswahrscheinlichkeit
Keine äußeren Einflüsse zu erkennen (keine hohen Lasten, kein Verkehr, oberflächennah, keine Bebauung). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich (1, nach Tabelle 30)
Keine äußeren Einflüsse zu erkennen (keine hohen Lasten, kein Verkehr, oberflächennah, wenig Bebauung). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich (2, nach Tabelle 30)
Äußere Einflüsse zu erkennen (teilweise Verkehr, oberflächennah, Bebauung). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich (3, nach Tabelle 30)
Äußere Einflüsse zu erkennen (Verkehr, nicht oberflächennah, Bebauung). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall als kritisch zu betrachten	Wahrscheinlich (4, nach Tabelle 30)
Äußere Einflüsse zu erkennen (hoher Verkehr, Leitung liegt unterhalb einer Straße, innerstädtisch, nicht oberflächennah, Bebauung). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall äußerst kritisch zu betrachten	Sehr wahrscheinlich (5, nach Tabelle 30)

<sup>1</sup> Die Beschreibung sowie die Eintrittswahrscheinlichkeit sind allein auf Basis von Expertengesprächen mit Netzbetreibern erarbeitet worden. Statistische Auswertungen lagen nicht vor. Die Beschreibungen dienen lediglich als Beispiele zur Bestimmung bzw. zur qualitativen Einordnung des Risikos.

7.1.1.7 Technische Randbedingungen (Pumpen, Pumpleistung etc.) der Druckrohrleitung<sup>1</sup>

Die Beschreibung bzw. Analyse der technischen Randbedingungen kann wie in Tabelle 50 erfolgen.

Tabelle 50 Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit "technische Randbedingungen (Pumpen, Pumpleistung, etc.)"

Beschreibung im Zuge einer Leitungs-Analyse	Eintrittswahrscheinlichkeit
Neue Pumpe, keine Ausfälle, Sicherheitssysteme. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich (1, nach Tabelle 30)
Relativ neue Pumpe, keine Ausfälle, Sicherheitssysteme. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich (2, nach Tabelle 30)
Ältere Pumpe, vereinzelt Ausfälle. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich (3, nach Tabelle 30)
Alte Pumpe, vereinzelt Ausfälle, Schwierigkeiten bei hohem Abwasseranteil. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall als kritisch zu betrachten	Wahrscheinlich (4, nach Tabelle 30)
Sehr alte Pumpe, häufige Ausfälle, Schwierigkeiten bei hohem Abwasseranteil. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall äußerst kritisch zu betrachten	Sehr wahrscheinlich (5, nach Tabelle 30)

7.1.1.8 Transportmedium in der Druckrohrleitung<sup>1</sup>

Die Beschreibung bzw. Analyse des Transportmediums kann wie in Tabelle 51 erfolgen.

Tabelle 51 Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit "Transportmedium"

Beschreibung im Zuge einer Leitungs-Analyse	Eintrittswahrscheinlichkeit
Die Transportmenge ist gering, das Medium „Regenwasser“. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich (1, nach Tabelle 30)
Die Transportmenge ist gering, das Medium „Mischwasser“. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich (2, nach Tabelle 30)
Die Transportmenge ist normal, das Medium „Mischwasser“. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich (3, nach Tabelle 30)
Die Transportmenge ist normal, das Medium „Mischwasser“, zusätzlich Industrieabwasser. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall als kritisch zu betrachten	Wahrscheinlich (4, nach Tabelle 30)
Die Transportmenge ist hoch, das Medium „Mischwasser“, zusätzlich sehr hoher Anteil an Industrieabwässern. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall äußerst kritisch zu betrachten	Sehr wahrscheinlich (5, nach Tabelle 30)

<sup>1</sup> Die Beschreibung sowie die Eintrittswahrscheinlichkeit sind allein auf Basis von Expertengesprächen mit Netzbetreibern erarbeitet worden. Statistische Auswertungen lagen nicht vor. Die Beschreibungen dienen lediglich als Beispiele zur Bestimmung bzw. zur qualitativen Einordnung des Risikos.

## 7.1.2 Leitungs-Analyse für die Bestimmung des Schadensausmaßes

### 7.1.2.1 Schadensausmaß „Kosten“<sup>1</sup>

Das Schadensausmaß spiegelt die Höhe der zu erwartenden Konsequenz (hier Kosten) wider. Die Analyse der Kosten geht mit der Frage einher, wie hoch die Kosten zur Wiederinbetriebnahme der Leitung ausfallen würden. Dabei ist es in diesem Stadium irrelevant, ob eine Sanierung, Reparatur oder Erneuerung zur erneuten Inbetriebnahme vorgesehen ist. Die Beschreibung bzw. Analyse der Kosten kann wie in Tabelle 52 erfolgen.

Tabelle 52 Beschreibung des Schadensausmaßes „Kosten“

Kosten für Sanierung/Erneuerung/Reparatur etc.	Schadensausmaß
Der Schaden ist derart minimal, dass einfache Maßnahmen zur Behebung des Schadens/Vorfalles ausreichen (z.B. Spülung/Reinigung)	Sehr niedrig (1, nach Tabelle 30)
Der Schaden ist minimal, dass Maßnahmen zur Behebung des Schadens/Vorfalles ausreichen (z.B. mehrere Spülungen/Reinigung)	Niedrig (2, nach Tabelle 30)
Der Schaden betrifft mehrere Bereiche. Teilweise sind erste Reparaturmaßnahmen erforderlich.	Mittel (3, nach Tabelle 30)
Der Schaden betrifft mehrere, großflächige Bereiche. Sanierungen sind erforderlich. Ebenso könnten technische Anlagen ausgetauscht bzw. neu gebaut werden	Hoch (4, nach Tabelle 30)
Der Schaden betrifft viele, großflächige Bereiche. Der Großteil der Leitung ist beschädigt. Umfangreiche Sanierungen sind erforderlich. Ebenso müssen technische Anlagen ausgetauscht bzw. neu gebaut werden. Eine Erneuerung der gesamten Leitung ist nicht auszuschließen.	Sehr hoch (5, nach Tabelle 30)

### 7.1.2.2 Schadensausmaß „Auswirkungen auf die Umwelt“<sup>1</sup>

Das Schadensausmaß spiegelt die Höhe der zu erwartenden Konsequenz (hier Schäden, die erheblichen Einfluss auf die direkte Umwelt haben könnten) wider. Die Analyse geht mit der Frage einher, wie hoch der Schaden für die Umwelt (Flora, Fauna, Mensch, usw.) ausfallen würden. Die Beschreibung bzw. Analyse der Auswirkungen auf die Umwelt kann wie in Tabelle 53 erfolgen.

<sup>1</sup> Die Beschreibung sowie das Schadensausmaß sind allein auf Basis von Expertengesprächen mit Netzbetreibern erarbeitet worden. Statistische Auswertungen lagen nicht vor. Die Beschreibungen dienen lediglich als Beispiele zur Bestimmung bzw. zur qualitativen Einordnung des Risikos.

Tabelle 53 Beschreibung des Schadensausmaßes „Auswirkungen auf die Umwelt“

Auswirkungen auf die Umwelt	Schadensausmaß
Leitung befindet sich auf privatem Grundstück, kein TW-Schutzgebiet, innerstädtisch	Sehr niedrig (1, nach Tabelle 30)
Kein TW-Schutzgebiet, Waldflächen	Niedrig (2, nach Tabelle 30)
Landwirtschaftliche Flächen	Mittel (3, nach Tabelle 30)
TW-Schutzgebiet	Hoch (4, nach Tabelle 30)
Wassergewinnungsflächen	Sehr hoch (5, nach Tabelle 30)

### 7.1.2.3 Schadensausmaß „Anzahl der angeschlossenen Haushalte/Industrie“<sup>1</sup>

Das Schadensausmaß spiegelt die Höhe der zu erwartenden Konsequenz (hier indirekte Kosten, die „Dritten“ entstehen könnten) wider. Die Analyse geht mit der Frage einher, wie hoch die qualitativ zu beurteilenden Kosten für Dritte ausfallen würden.

Die Beschreibung bzw. Analyse der Kosten kann wie in Tabelle 54 erfolgen.

Tabelle 54 Beschreibung des Schadensausmaßes „Anzahl der angeschlossenen Haushalte/Industrie“

Indirekte Kosten: Anzahl der angeschlossenen Haushalte/Industrie	Schadensausmaß
Der Schaden tritt nur an Leitungen privater Haushalte ein	Sehr niedrig (1, nach Tabelle 30)
Der Schaden tritt an einer Leitung des Netzbetreibers auf. Es sind wenige Haushalte betroffen	Niedrig (2, nach Tabelle 30)
Der Schaden tritt an einer Leitung des Netzbetreibers auf. Es sind mehrere Haushalte betroffen.	Mittel (3, nach Tabelle 30)
Der Schaden tritt an einer Leitung des Netzbetreibers auf. Es sind viele Haushalte betroffen. Kleinere Gewerbe sind ebenso von dem Schaden betroffen.	Hoch (4, nach Tabelle 30)
Der Schaden tritt an einer wichtigen Transportleitung auf. Sowohl einzelne Wohngebiete als auch Gewerbe sind an diese Leitung angeschlossen. Ebenso ist die Wichtigkeit einzelner Einrichtungen wie Hotels, Krankenhäuser, Hospitale, etc. maßgebend.	Sehr hoch (5, nach Tabelle 30)

<sup>1</sup> Die Beschreibung sowie das Schadensausmaß sind allein auf Basis von Expertengesprächen mit Netzbetreibern erarbeitet worden. Statistische Auswertungen lagen nicht vor. Die Beschreibungen dienen lediglich als Beispiele zur Bestimmung bzw. zur qualitativen Einordnung des Risikos.

## 7.2 Ableitung der Risikoklasse

Auf Basis des Fragenkatalogs können nunmehr die einzelnen Risikoklassen definiert werden. In Anlehnung an die vier Risikoklassen wird im Anschluss daran der Handlungsbedarf definiert. Auf Basis des Handlungsbedarfes kann ein Netzbetreiber **individuell die Wiederholungsintervalle** bestimmen. Insgesamt sollte der Netzbetreiber jedoch stets für eine betriebliche Zustandserfassung sorgen, die risikoklassenübergreifend auf den neuesten Stand gebracht werden sollte. Hierzu sollten z.B. Kenndaten zur Leistungsfähigkeit der Leitung erfasst werden, wie

- Förderströme der Pumpe (MID)
- Druck am Pumpwerk
- Förderfrequenz bzw. Umdrehungen/min
- Stromaufnahme bzw. Pumpenlaufzeiten
- Anfallende Abwassermenge /Füllstände der Pumpensümpfe
- Betriebskosten

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

### 7.2.1 Leitungen mit „keinem Handlungsbedarf“

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

- Nachträglicher Einbau von Spülanschlüssen
- Nachträglicher Einbau von Kontrollschächten sowie Entlüftungsventilen
- Nachträglicher Einbau von Absperrschiebern am Ende eines jeweiligen Abschnittes

### 7.2.2 Leitungen mit „geringem Handlungsbedarf“

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

### 7.2.3 Leitungen mit „mittlerem Handlungsbedarf“

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

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

### 7.2.4 Leitungen mit „hohem Handlungsbedarf“

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

**Ein Optimierungsbedarf besteht hierbei nach wie vor für nicht kunststoffbasierte Abwasserdruckleitungen, für welche noch kein verkürztes Dichtheitsprüfverfahren entwickelt wurde.**

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

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

## 8 Umsetzung der Handlungsempfehlungen bei Betreibern

Im Zuge dieses Kapitels werden die einzelnen Handlungsempfehlungen nunmehr umgesetzt. Hierzu werden für die Städte Bottrop, Burscheid sowie Gevelsberg einzelne Druckleitungen einer qualitativen Risikoanalyse unterzogen. Auf Basis der ermittelten Risikomatrix können schließlich weitere Handlungsempfehlungen formuliert werden. Dazu wird teilweise gezeigt, wie Risiken gesteuert und modifizierte Dichtheitsprüfungen durchgeführt werden können.

### 8.1 Risikoanalyse von Druckleitungen der Stadt Bottrop

Dieser Abschnitt befasst sich nunmehr mit der eigentlichen Umsetzung der erarbeiteten Handlungsempfehlungen. Hierzu wurde zunächst der Netzbetreiber der Stadt Bottrop direkt vor Ort besucht. Auf Basis bestehender Unterlagen sowie von Expertengesprächen konnte eine Risikoanalyse einzelner Druckleitungen realisiert werden.

#### 8.1.1 Tappenhof

##### 8.1.1.1 Allgemeine Beschreibung der Druckleitung

Das Neubaugebiet „Tappenhof“ liegt im Stadtteil Kirchhellen der Stadt Bottrop. Die Entwässerung des gesamten Gebietes erfolgt im Freigefälle. Das Abwasser wird schließlich im südöstlichen Bereich lokal in einem Schachtbauwerk gesammelt, von wo es über eine Druckleitung in ein weiteres Schachtbauwerk überführt wird. Letzteres ist wiederum an eine Transportdruckleitung angeschlossen.

Folgende Abbildung zeigt das Baugebiet „Tappenhof“. Der Pfeil kennzeichnet die ungefähre Lage der zu untersuchenden Druckleitung.

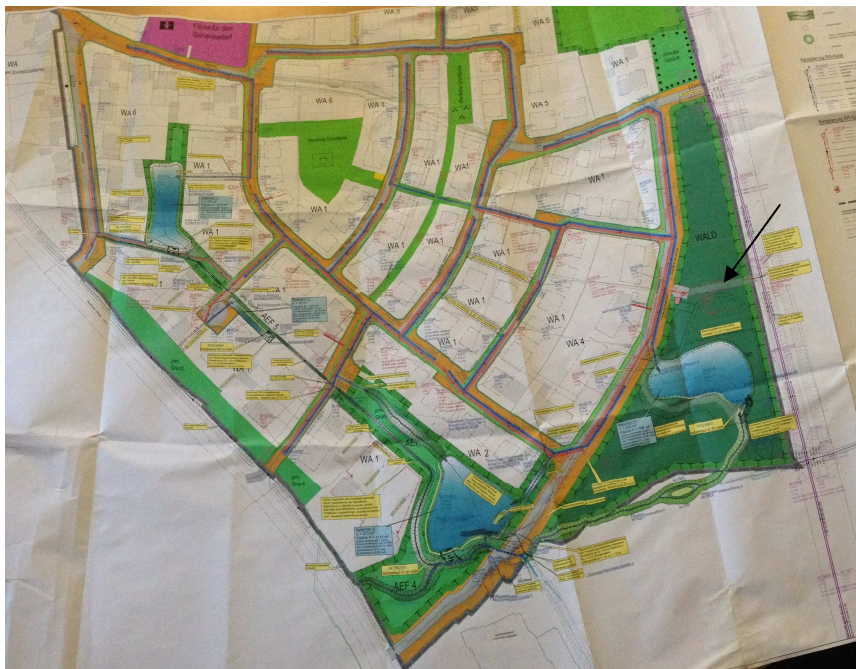


Bild 79 Übersicht des Baugebietes „Tappenhof“ in Bottrop

Die zu untersuchenden Druckleitung ist eine PE-HD DA 90 / DN 80-Leitung, welche eine Gesamtlänge von ca. 35 m hat. An der westlichen Seite ist die Leitung an einer Pumpstation angeschlossen. Das östliche Ende der Leitung mündet in die Übergabestation, welche wiederum an die bestehende Transportleitung DN 450 der Emschergenossenschaft anschließt (Asbestzement).

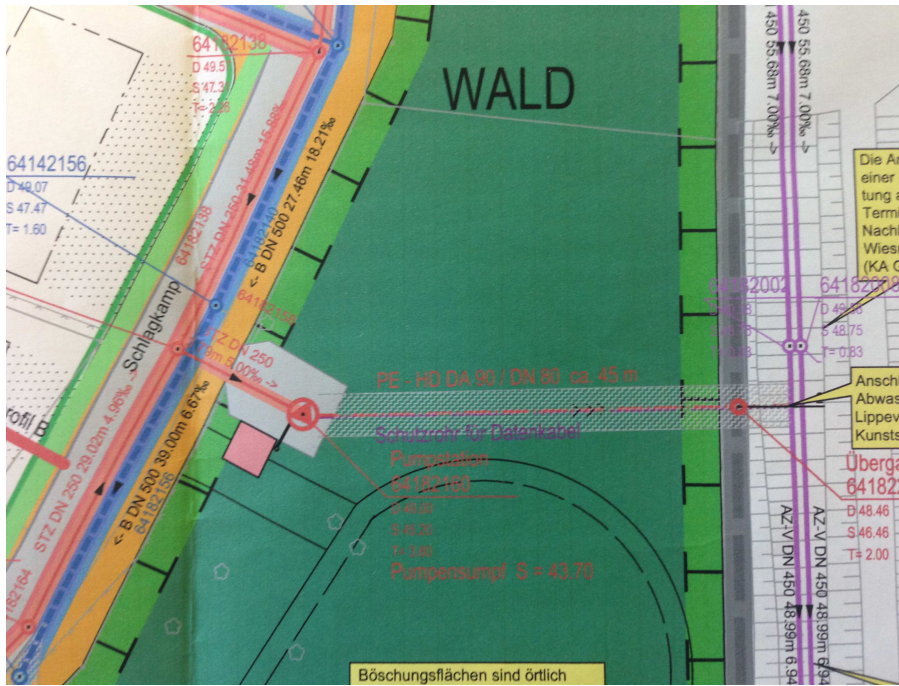


Bild 80 Details der verlegten Druckleitung

### 8.1.1.2 Analyse der Druckleitung

Mit dem Netzbetreiber wurde während eines Expertengesprächs die Leitung nunmehr hinsichtlich ihres Risikos analysiert. Die Wichtung der Kriterien wurde dabei in Anlehnung an die Ausführungen aus Kapitel 6 nicht verändert. Das IKT stand bei der Beurteilung beratend zur Seite. **Die Punktevergabe erfolgte stets durch den Netzbetreiber.** Die wichtigsten Informationen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Alter: 5 Jahre
- Material: PE-HD
- Durchmesser: DN 80
- Länge: ca. 45 m
- Einbautiefe: ca. 1,40 m
- GW-Stand: unterhalb der Leitung

Tabelle 55 Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Individuelle Wichtung nach Kap. 6.6.1.1 oder Kap. 6.6.1.2
Gesamt = Wichtung \* Punkte

Risikofaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Eintrittswahrscheinlichkeit	Wichtung	Bewertungszahl (nach Tabelle 30)	Gesamt
<b>Geometrie/Durchmesser</b> <i>(nach Tabelle 44, Zeile 1)</i>	Das Rohr weist eine sehr günstige Geometrie auf (Keine Richtungswechsel, keine Bögen, minimalste Steigungen, etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	2,57	1,00	<b>2,57</b>
<b>Werkstoff/Materialeigenschaften</b> <i>(nach Tabelle 45, Zeile 1)</i>	Das Rohr weist sehr gute Werkstoffeigenschaften auf (Keine Korrosion möglich, Anschlüsse sind technisch sehr gut ausgeführt). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	3,86	1,00	<b>3,86</b>
<b>Alter</b> <i>(nach Tabelle 46, Zeile 1)</i>	Das Rohr weist ein sehr geringes Alter auf (0 bis 10 Jahre). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	4,14	1,00	<b>4,14</b>
<b>Bodeneigenschaften</b> <i>(nach Tabelle 47, Zeile 1)</i>	Der Boden weist ideale Bedingungen für die Kombination Boden/Rohr auf. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	2,00	1,00	<b>2,00</b>
<b>Einbaufehler, Bettungsfehler, Baumängel, Unterlagen</b> <i>(nach Tabelle 48, Zeile 1)</i>	Die Baumaßnahme wurde vollständig geplant. Der Netzbetreiber hatte stets Überblick über die Maßnahme. Alle Unterlagen liegen lückenlos vor. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	3,00	1,00	<b>3,00</b>
<b>Lage, Verkehrseinfluss</b> <i>(nach Tabelle 49, Zeile 1)</i>	Keine äußeren Einflüsse zu erkennen (keine hohen Lasten, kein Verkehr, oberflächennah, keine Bebauung). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	2,57	1,00	<b>2,57</b>
<b>Technische Randbedingungen (Pumpem, Pumpleistung, etc.)</b> <i>(nach Tabelle 50, Zeile 1)</i>	Neue Pumpe, keine Ausfälle, Sicherheitssysteme. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	3,29	1,00	<b>3,29</b>
<b>Transportmedium</b> <i>(nach Tabelle 51, Zeile 3)</i>	Die Transportmenge ist normal, das Medium „Regen- und Mischwasser“. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	3,86	3,00	<b>11,58</b>

<b>Gesamt</b>	<b>33,01</b>
---------------	--------------

Summe aller Punkte

Im zweiten Schritt wurde das Schadensausmaß nach den bereits bekannten Randbedingungen qualitativ bestimmt. Lediglich die Wichtungen für die „indirekten Kosten“ wurden auf 0,5 reduziert. Auffällig ist dabei, dass die Kosten ein geringes Schadensausmaß aufweisen, wohingegen die indirekten Kosten wie „Wirtschaftseinheiten“ und „Umwelt“ gerade für diese Leitung als ungewöhnlich hoch eingestuft wurden.

Tabelle 56 Ermittlung des Schadensausmaßes

Schadensausmaßfaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Schadensausmaß	Wichtung	Bewertungszahl (nach Tabelle 30)	Gesamt
Kosten für Sanierung etc (nach Tabelle 52)	Der Schaden ist minimal, dass Maßnahmen zur Behebung des Schadens/Vorfalls ausreichen (z. B. mehrere Spülungen/Reinigung)	niedrig	2,00	2,00	4,00
Anzahl Wirtschaftseinheiten (nach Tabelle 54)	Der Schaden tritt an einer Leitung des Netzbetreibers auf. Es sind viele Haushalte betroffen. Kleinere Gewerbe sind ebenso von dem Schaden betroffen.	hoch	0,50	4,00	2,00
Auswirkung auf Umwelt (nach Tabelle 53)	Landwirtschaftliche Flächen	mittel	0,50	3,00	1,50

<b>Gesamt</b>	<b>7,50</b>
---------------	-------------

Summe aller Punkte

Eine Beurteilung der Ergebnisse erfolgt im Anschluss aller folgenden Risikoanalysen aus dem Gebiet „Bottrop“.

### 8.1.1.3 Dichtheitsprüfung der Druckleitung

Das entwickelte IKT-Konzept für eine vereinfachte, effektive und schnelle Dichtheitsprüfung wurde an der in Kapitel 8.1.1.1 beschriebenen Druckleitung angewendet. Erstmals konnte das in Kapitel 4 erarbeitete zeitlich verkürzte Prüfverfahren angewendet werden. Die Dichtheitsprüfung wurde durch die IKT-Mitarbeiter begleitet und auch durchgeführt.

### Versuchsaufbau

Der am Tiefpunkt befindliche Pumpschacht wies einen Spülstutzen mit einem 2“-Innengewinde auf. An diesem wurde ein Drucksensor installiert. Von dort aus verlief die Regelstrecke über einen dehnungsarmen Schlauch zu einer T-Verbindung. Über einen Ablass konnte an dem einen Ende dieser Verbindung Wasser der Versuchsstrecke entnommen werden. An dem zweiten Ende wurde eine weitere T-Verbindung montiert (s. Bild 81). Diese diente als Wasserverteiler zum Befüllen des Ausgleichsbehälters sowie der Versuchsstrecke. Am entgegengesetzten Ende des Ausgleichsbehälters wurde ein Luftkompressor angeschlossen. Ein am Drucksensor angeschlossenes Kabel führte zum Auswertelaptop. Die Wassereinspeisung erfolgte über einen am Hydranten angeschlossenen C-Storz.



*Bild 81 Spülstutzen im Pumpschacht (links), Drucksensor am Hochpunkt (mitte), Ausgleichsbehälter mit geschlossenem C-Schlauch (rechts)*

### Versuchsdurchführung

Zunächst wurde der Ausgleichsbehälter bis zu einem gemessenen Druck von 5,5 bar mit Wasser gefüllt. Der am Hochpunkt montierte Drucksensor wurde zur Druckabsenkung entfernt. Dies hatte den Vorteil, dass bei einem späteren Befüllen der Druckleitung die noch in der Leitung befindliche Luft am Hochpunkt entweichen konnte. Als nächstes wurde der Ausgleichsbehälter vom System getrennt und die Versuchsstrecke über den dehnungsarmen Schlauch und den Drucksensor mit Wasser gefüllt. Durch ein zeitgleiches Stoppen der Wasserzufuhr am Tiefpunkt und der Montage des Drucksensors am Hochpunkt wurde ein geschlossenes, luftfreies und druckloses System geschaffen. Um nun z.B. die 5,5 bar Systemprüfdruck zu erreichen, fand ein Wasserzufluss in die Leitung statt, bis ein Druck von ca. 5,5 bar erreicht war. Nun wurde die Wasserzufuhr vom System getrennt und der Ausgleichsbehälter wieder hinzugefügt. Um den Druck in der Druckhaltephase halten zu können, wurde über den am Ausgleichsbehälter angeschlossenen Luftkompressor der Druck kontinuierlich nachgeregelt. Für den Druckabfall diente ein Ablassventil zwischen Ausgleichsbehälter und Durchflussmessgerät.

### Versuchsauswertung

In der ersten Prüfung (s. *Bild 82*) wurde innerhalb von 1 min der Systemprüfdruck von ca. 5,0 bar aufgebracht und in der Druckhaltephase konstant gehalten. Um den Druck aufrecht zu erhalten, musste in sehr kurzen Zeitabständen nachgepumpt werden. Der Druck hat schließlich nach der Ruhephase einen Endwert von 5,278 bar angenommen. Die **Vorprüfung** war somit **bestanden**, da der gemessene Druckabfall weniger als 10 % des zulässigen Druckabfalls betrug (2,85 %).

In der darauf folgenden Druckabfallprüfung wurde eine Druckabsenkung um 0,678 bar auf 4,600 bar durchgeführt. Da die dadurch entnommene Wassermenge von 0,272 L die nach DIN EN 805 zulässige berechnete Ablassmenge von 0,264 L minimal um 3,04 % überschritt, war die **Druckabfallprüfung bestanden**. Durch die oben beschriebene nachträgliche Ab-

dichtung des Zulaufes war ein Lufteinschluss entstanden, der eine höher entnommene Wassermenge mit sich brachte.

In der Hauptprüfung stieg der Druck, wie erwartet, an und nahm einen maximalen Wert von 4,634 bar an. Da der Druck einen Endwert von 4,630 bar annahm, fand eine Druckabsenkung von 4 mbar statt. Die **Hauptprüfung** war somit **bestanden**.

*Die Dichtheitsprüfung war nach IKT-Vorgehen (verkürzt) in Anlehnung an die DVGW W 400-2 und DIN EN 805 bestanden.*

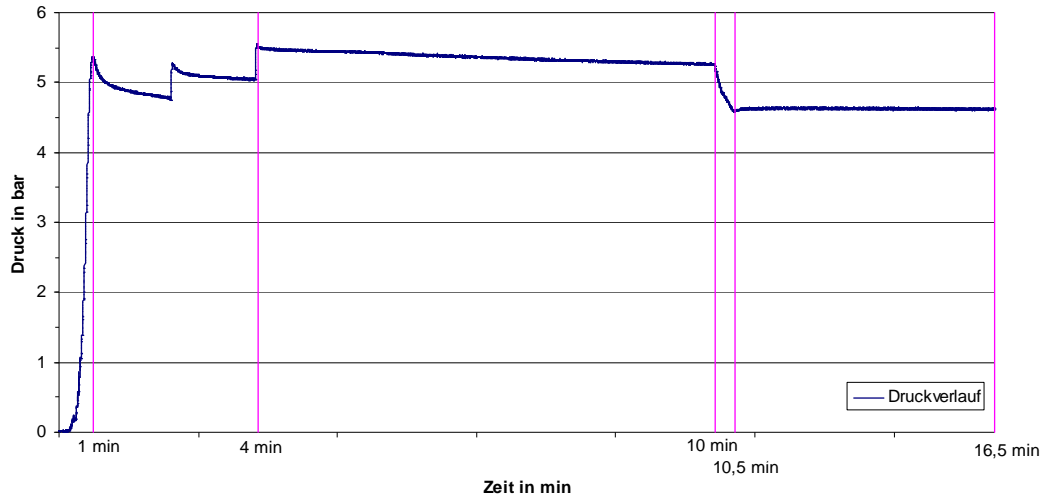


Bild 82 Druckverlauf der Dichtheitsprüfung an der Prüfstrecke am Tapperhof

Tabelle 57 Messergebnisse der Dichtheitsprüfung an der Prüfstrecke am Tapperhof

	Messwerte			Beschreibung
Angaben durch den Auftraggeber	$STP_{vorgegeben}$ [bar]	5,0	✓	
	Rohrtyp	PE 100 SDR 17		
	Leitungslänge [m]	35		Länge der Prüfstrecke
Vorprüfung	$STP_{real}$ [bar]	5,433	✓	Systemprüfdruck nach dem Druckaufbau
	$p$ [bar]	5,278		Druck nach der Ruhephase
	$\Delta p$ [%]	2,85 % ✓		Druckabfall muss nach den IKT-Untersuchungen weniger als 10% betragen
Druckabfallprüfung	$\Delta p_{zul}$ [bar] 10-15% des $STP_{real}$	0,543	0,815	zulässige Druckabsenkung
	$E_w$ [N/mm <sup>2</sup> ]	2027		Kompressionsmodul des Wassers
	$E_{r, PE100}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	800		Elastizitätsmodul des Rohrwerkstoffes
	$D$ [mm]	90		Rohraußendurchmesser
	$e$ [mm]	5,4		Wanddicke
	$V$ [L]	172,34		Wasservolumen der Prüfstrecke
	$\Delta p$ [bar]	0,678		gemessene Druckabsenkung
	$V_{zul}$ [L]	0,264		höchstzulässiges Wasservolumen
	$V_{ab}$ [L]	0,272		abgelassenes Wasservolumen
	Überschreitung	3,04 %		Differenz der Wasservolumen
Hauptprüfung	$p_{max}$ [bar]	4,634		maximaler Druck nach der Druckabfallprüfung
	$\Delta p$ [mbar]	4		Druckabsenkung ausgehend vom maximalen Druck $p_{max}$
	$p_{end}$ [bar]	4,630		Enddruck nach abgeschlossener Hauptprüfung



Tabelle 58 Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Risikofaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Eintrittswahrscheinlichkeit	Wichtung	Punkte	Punkte
Geometrie/Durchmesser	Das Rohr weist eine günstige Geometrie auf (leichte Richtungswechsel, keine Bögen, minimale Steigungsänderungen etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich	2,57	2,00	5,14
Werkstoff/Materialeigenschaften	Das Rohr weist ungünstige Werkstoffeigenschaften auf (Korrosion ist definitiv möglich, erste Inkrustationen sind erkennbar, leichte Fehlstellen in der Rohrwandung, Spülungen haben das Rohr beschädigt, erste Sanierungen wurden durchgeführt, hohe Anzahl an Anschlüssen). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall kritisch zu betrachten	Wahrscheinlich	3,86	4,00	15,44
Alter	Das Rohr weist ein mittleres Alter auf (21 bis 40 Jahre). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	4,14	3,00	12,42
Bodeneigenschaften	Der Boden weist ideale Bedingungen für die Kombination Boden/Rohr auf. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	2,00	1,00	2,00
Einbaufehler, Bettungsfehler, Baumängel, Unterlagen	Die Baumaßnahme wurde teilweise ausreichend geplant. Der Netzbetreiber hatte nicht immer einen Überblick über die Baumaßnahme. Nicht alle Unterlagen liegen vor. Schwierige Kommunikation mit dem Bauunternehmer. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	3,00	3,00	9,00
Lage, Verkehrseinfluss	Äußere Einflüsse zu erkennen (teilweise Verkehr, oberflächennah, Bebauung). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	2,57	3,00	7,71
Technische Randbedingungen (Pumpem, Pumpleistung, etc.)	Relativ neue Pumpe, keine Ausfälle, Sicherheitssysteme. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich	3,29	2,00	6,58
Transportmedium	Die Transportmenge ist normal, das Medium „Regen- und Mischwasser“. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	3,86	3,00	11,58

<b>Gesamt</b>	<b>69,87</b>
---------------	--------------

Im zweiten Schritt wurde das Schadensausmaß nach den bereits bekannten Randbedingungen qualitativ bestimmt. Lediglich die Wichtungen für die „indirekten Kosten“ wurden auf 0,5 reduziert. Die möglichen Kosten weisen ein mittleres Schadensausmaß auf, wohingegen die indirekten Kosten wie „Wirtschaftseinheiten“ und „Umwelt“ niedrig eingestuft wurden.

Tabelle 59 Ermittlung des Schadensausmaßes

Schadensausmaßfaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Schadensausmaß	Wichtung	Punkte	Punkte
Kosten für Sanierung etc	Der Schaden betrifft mehrere Bereiche. Teilweise sind erste Reparaturmaßnahmen erforderlich.	mittel	2,00	3,00	6,00
Anzahl Wirtschaftseinheiten	Der Schaden tritt an einer Leitung des Netzbetreibers auf. Es sind wenige Haushalte betroffen	niedrig	0,50	2,00	1,00
Auswirkung auf Umwelt	Kein TW-Schutzgebiet, Waldflächen	niedrig	0,50	2,00	1,00

<b>Gesamt</b>	<b>8,00</b>
---------------	-------------

### 8.1.3 Gesamtbewertung der Abwasserdruckleitungen

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

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

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

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

Die **durchgeführte Dichtheitsprüfung** bestätigt ebenso die qualitative Einschätzung bzgl. der Leitung A, so dass weitere Maßnahmen zunächst nicht mehr getroffen werden müssen.

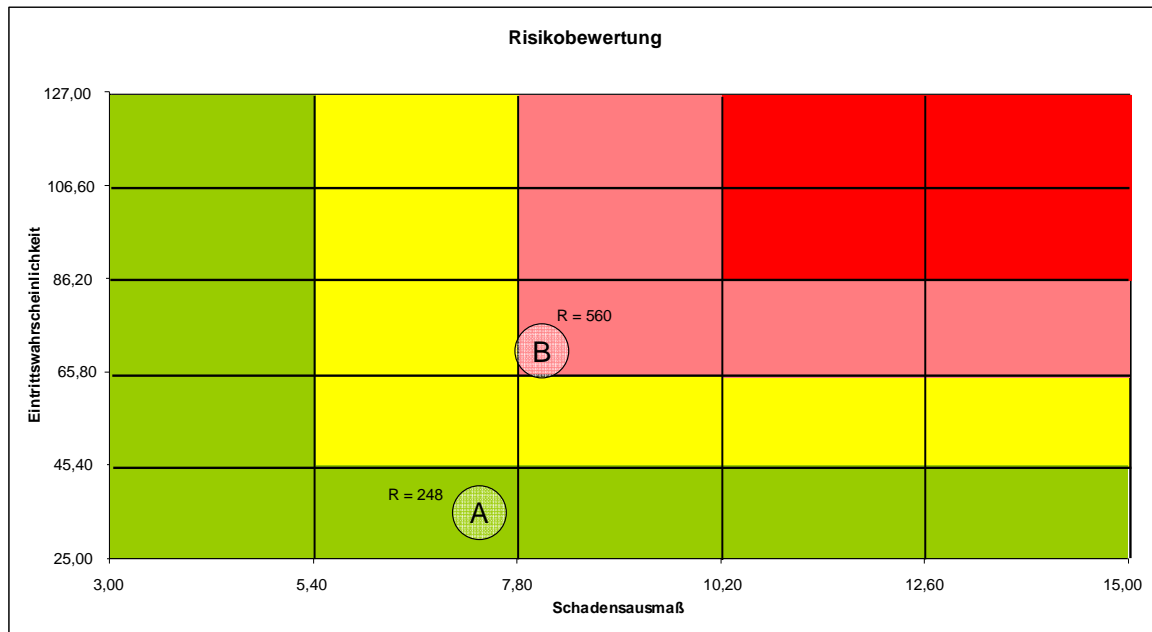


Bild 84 Risikomatrix „Bottrop“

## 8.2 Risikoanalyse von Druckleitungen der Stadt Burscheid

Im Rahmen dieser Risikobetrachtung werden für die Stadt Burscheid insgesamt vier Abwasserdruckleitungen analysiert. Hierzu wurden alle Informationen während eines Interviews vor Ort beim Netzbetreiber ermittelt. Die Ergebnisse der Risikoanalyse sind in den folgenden Abschnitten zusammengefasst.

### 8.2.1 Dürscheid

#### 8.2.1.1 Allgemeine Beschreibung der Druckleitung

In einem Stadtteil wird das Schmutzwasser im Pumpwerk Dürscheid gesammelt. Die Entwässerung erfolgt schließlich über die ca. 860m lange Druckleitung. Das Abwasser wird im nordwestlichen Bereich in einen Freigefällekanal (Kleinhamberg) überführt.

Folgende Abbildung zeigt die zu untersuchende Druckleitung.

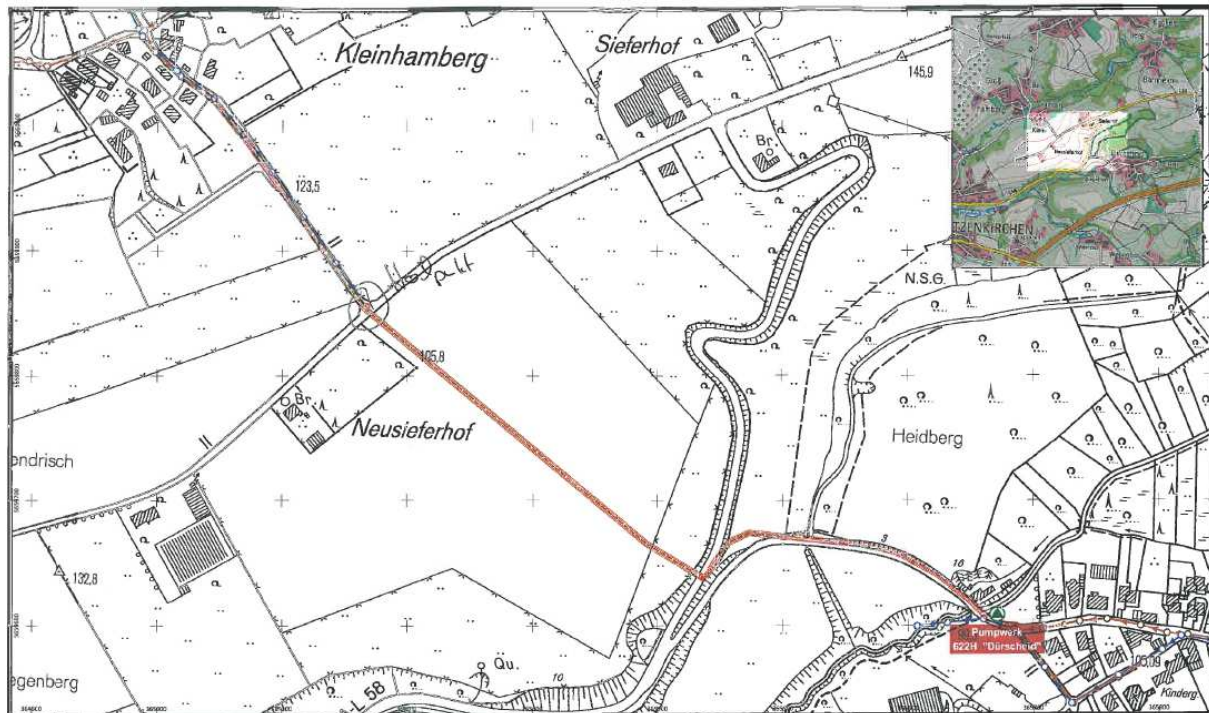


Bild 85 Übersicht des Baugebietes „Tappenhof“ in Bottrop

Die zu untersuchenden Druckleitung ist eine PE-HD DN125-Leitung, welche eine Gesamtlänge von ca. 857 m hat. An der südöstlichen Seite ist die Leitung an einer Pumpstation angeschlossen. Das nordwestliche Ende der Leitung mündet in den Freispiegelkanal.

#### 8.2.1.2 Analyse der Druckleitung

Mit dem Netzbetreiber wurde während eines Expertengesprächs die Leitung nunmehr hinsichtlich ihres Risikos analysiert. Die Wichtung der Kriterien wurde dabei in Anlehnung an Kapitel 6 nicht verändert. Das IKT stand bei der Beurteilung beratend zur Seite. Die Punktevergabe erfolgte stets durch den Netzbetreiber. Die wichtigsten Informationen können wie folgend zusammengefasst werden:

- Alter: 21 Jahre
- Material: PE-HD
- Durchmesser: DN 125
- Länge: ca. 860 m; Einbautiefe: ca. 1,40 m
- GW-Stand: unterhalb der Leitung
- Keine Entlüftungsmöglichkeiten
- Höhenunterschied zwischen Anfang und Ende der Leitung: ca. 32m
- Tiefpumpwerk (höhere technische Anforderungen)

Tabelle 60 Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Risikofaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Eintrittswahrscheinlichkeit	Wichtung	Punkte	Punkte
<b>Geometrie/Durchmesser</b>	Das Rohr weist eine ungünstige Geometrie auf (mehrere Richtungswechsel, einige Bögen, minimale Steigungsänderungen etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	2,57	3,00	<b>7,71</b>
<b>Werkstoff/Materialeigenschaften</b>	Das Rohr weist gute Werkstoffeigenschaften auf (Keine Korrosion möglich, Anschlüsse sind gut ausgeführt, Anzahl der Anschlüsse ist hoch etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich	3,86	2,00	<b>7,72</b>
<b>Alter</b>	Das Rohr weist ein mittleres Alter auf (21 bis 40 Jahre). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	4,14	3,00	<b>12,42</b>
<b>Bodeneigenschaften</b>	Der Boden weist ideale Bedingungen für die Kombination Boden/Rohr auf. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	2,00	1,00	<b>2,00</b>
<b>Einbaufehler, Bettungsfehler, Baumängel, Unterlagen</b>	Die Baumaßnahme wurde teilweise ausreichend geplant. Der Netzbetreiber hatte nicht immer einen Überblick über die Baumaßnahme. Nicht alle Unterlagen liegen vor. Schwierige Kommunikation mit dem Bauunternehmer. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	3,00	3,00	<b>9,00</b>
<b>Lage, Verkehrseinfluss</b>	Äußere Einflüsse zu erkennen (teilweise Verkehr, oberflächennah, Bebauung). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	2,57	3,00	<b>7,71</b>
<b>Technische Randbedingungen (Pumpen, Pumpleistung, etc.)</b>	Ältere Pumpe, vereinzelt Ausfälle. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	3,29	3,00	<b>9,87</b>
<b>Transportmedium</b>	Die Transportmenge ist gering, das Medium „Mischwasser“. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich	3,86	2,00	<b>7,72</b>

<b>Gesamt</b>	<b>64,15</b>
---------------	--------------

Im zweiten Schritt wurde das Schadensausmaß nach den bereits bekannten Randbedingungen qualitativ bestimmt. Lediglich die Wichtungen für die „indirekten Kosten“ wurden auf 0,5 reduziert.

Tabelle 61 Ermittlung des Schadensausmaßes

Schadensausmaßfaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Schadensausmaß	Wichtung	Punkte	Punkte
Kosten für Sanierung etc	Der Schaden betrifft mehrere Bereiche. Teilweise sind erste Reparaturmaßnahmen erforderlich.	mittel	2,00	3,00	6,00
	- Insgesamt höherer Aufwand - beengte Verhältnisse - Vollsperrung des Verkehrs				
Anzahl Wirtschaftseinheiten	Der Schaden tritt an einer Leitung des Netzbetreibers auf. Es sind wenige Haushalte betroffen	niedrig	0,50	2,00	1,00
Auswirkung auf Umwelt	Landwirtschaftliche Flächen	mittel	0,50	3,00	1,50

<b>Gesamt</b>	<b>8,50</b>
---------------	-------------

Eine Beurteilung der Ergebnisse erfolgt im Anschluss aller folgenden Risikoanalysen aus dem Gebiet „Burscheid“.

## 8.2.2 Heddinghofen

### 8.2.2.1 Allgemeine Beschreibung der Druckleitung

Im Stadtteil Heddinghofen wird das Schmutzwasser im gleichnamigen Pumpwerk gesammelt. Die Entwässerung erfolgt schließlich über die ca. 500m lange Druckleitung. Das Abwasser wird schließlich im nördlichen Bereich in einen Freigefällekanal (Kleinhamberg) überführt.

Folgende Abbildung zeigt die zu untersuchende Druckleitung.

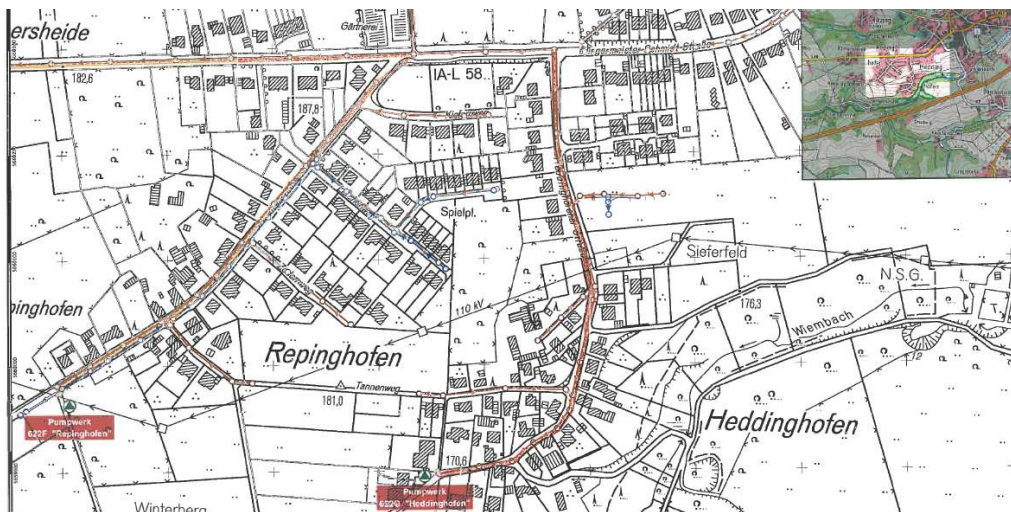


Bild 86 Übersicht „Heddinghofen“ in Burscheid

Die zu untersuchenden Druckleitung ist eine PE-HD DN100-Leitung, welche eine Gesamtlänge von ca. 493 m hat. An der südlichen Seite ist die Leitung an eine Pumpstation angeschlossen. Das nördliche Ende der Leitung mündet in den Freispiegelkanal.

#### *8.2.2.2 Analyse der Druckleitung*

Mit dem Netzbetreiber wurde während eines Expertengesprächs die Leitung hinsichtlich ihres Risikos analysiert. Die Wichtung der Kriterien wurde dabei in Anlehnung an Kapitel 6 nicht verändert. Das IKT stand bei der Beurteilung beratend zur Seite. Die Punktevergabe erfolgte stets durch den Netzbetreiber. Die wichtigsten Informationen können wie folgend zusammengefasst werden:

- Alter: 23 Jahre; Material: PE-HD
- Durchmesser: DN 100
- Länge: ca. 500 m
- Einbautiefe: ca. 1,20 m; GW-Stand: unterhalb der Leitung
- Keine Entlüftungsmöglichkeiten
- Höhenunterschied zwischen Anfang und Ende der Leitung: ca. 25m
- Tiefpumpwerk (höherer betrieblicher Aufwand)

Tabelle 62 Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Risikofaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Eintrittswahrscheinlichkeit	Wichtung	Punkte	Punkte
<b>Geometrie/Durchmesser</b>	Das Rohr weist eine ungünstige Geometrie auf (mehrere Richtungswechsel, einige Bögen, minimale Steigungsänderungen etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	2,57	3,00	<b>7,71</b>
<b>Werkstoff/Materialeigenschaften</b>	Das Rohr weist sehr gute Werkstoffeigenschaften auf (Keine Korrosion möglich, Anschlüsse sind technisch sehr gut ausgeführt). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	3,86	1,00	<b>3,86</b>
<b>Alter</b>	Das Rohr weist ein mittleres Alter auf (21 bis 40 Jahre). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	4,14	3,00	<b>12,42</b>
<b>Bodeneigenschaften</b>	Der Boden weist ideale Bedingungen für die Kombination Boden/Rohr auf. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	2,00	1,00	<b>2,00</b>
<b>Einbaufehler, Bettungsfehler, Baumängel, Unterlagen</b>	Die Baumaßnahme wurde teilweise ausreichend geplant. Der Netzbetreiber hatte nicht immer einen Überblick über die Baumaßnahme. Nicht alle Unterlagen liegen vor. Schwierige Kommunikation mit dem Bauunternehmer. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	3,00	3,00	<b>9,00</b>
<b>Lage, Verkehrseinfluss</b>	Äußere Einflüsse zu erkennen (teilweise Verkehr, oberflächennah, Bebauung). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	2,57	3,00	<b>7,71</b>
<b>Technische Randbedingungen (Pumpen, Pumpleistung, etc.)</b>	Relativ neue Pumpe, keine Ausfälle, Sicherheitssysteme. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich	3,29	2,00	<b>6,58</b>
<b>Transportmedium</b>	Die Transportmenge ist gering, das Medium „Mischwasser“. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich	3,86	2,00	<b>7,72</b>

<b>Gesamt</b>	<b>57,00</b>
---------------	--------------

Im zweiten Schritt wurde das Schadensausmaß nach den bereits bekannten Randbedingungen qualitativ bestimmt. Lediglich die Wichtungen für die „indirekten Kosten“ wurden auf 0,5 reduziert. Auffällig ist dabei, dass die indirekten Kosten wie „Wirtschaftseinheiten“ und „Umwelt“ als niedrig bzw. sehr niedrig eingestuft wurden.

Tabelle 63 Ermittlung des Schadensausmaßes

Schadensausmaßfaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Schadensausmaß	Wichtung	Punkte	Punkte
Kosten für Sanierung etc	Der Schaden betrifft mehrere Bereiche. Teilweise sind erste Reparaturmaßnahmen erforderlich.	mittel	2,00	3,00	6,00
	- Höherer Aufwand bzgl. Verkehrssicherung				
Anzahl Wirtschaftseinheiten	Der Schaden tritt an einer Leitung des Netzbetreibers auf. Es sind wenige Haushalte betroffen	niedrig	0,50	2,00	1,00
Auswirkung auf Umwelt	Leitung befindet sich auf privatem Grundstück, kein TW-Schutzgebiet, innerstädtisch	Sehr niedrig	0,50	1,00	0,50

<b>Gesamt</b>	<b>7,50</b>
---------------	-------------

Eine Beurteilung der Ergebnisse erfolgt im Anschluss aller folgenden Risikoanalysen aus dem Gebiet „Burscheid“.

### 8.2.3 Haus Landscheid

#### 8.2.3.1 Allgemeine Beschreibung der Druckleitung

Im Gebiet Landscheid wird das Schmutzwasser im gleichnamigen Pumpwerk gesammelt. Die Entwässerung erfolgt schließlich über die ca. 730m lange Druckleitung. Das Abwasser wird schließlich im südöstlichen Bereich in einen Freigefällekanal (Engelrath) überführt.

Folgende Abbildung zeigt die zu untersuchende Druckleitung.

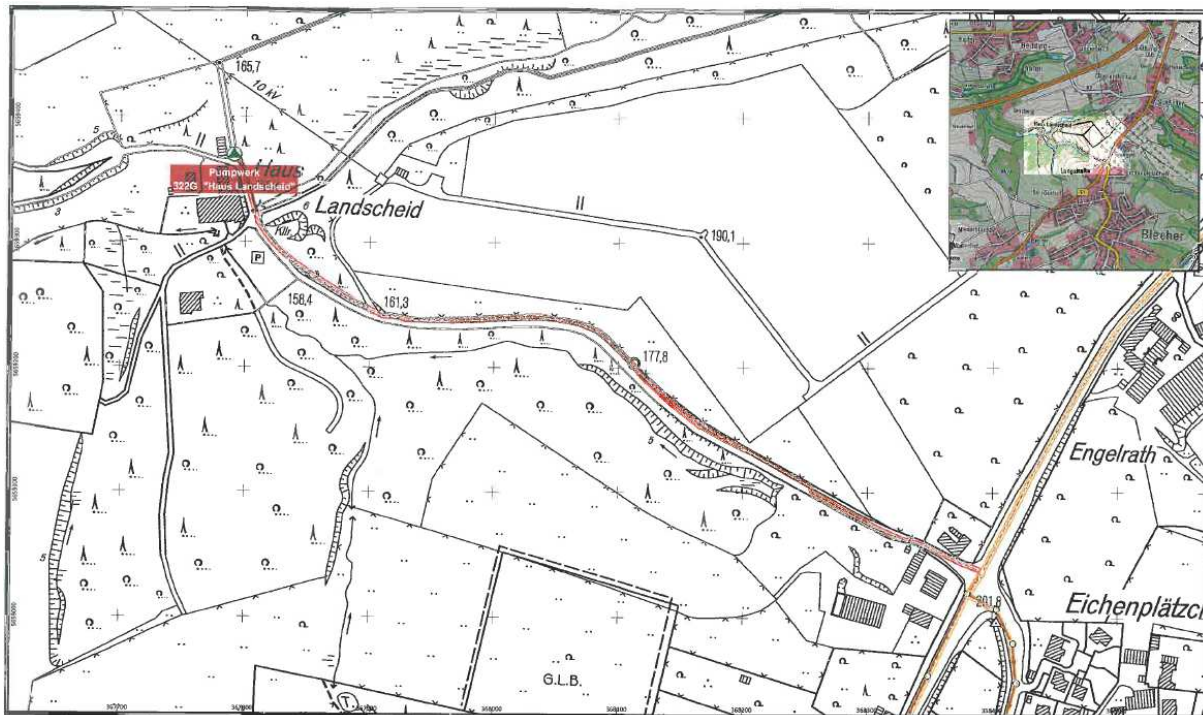


Bild 87 Übersicht „Haus Landscheid“ in Burscheid

Die zu untersuchenden Druckleitung ist eine PE-HD DN100-Leitung, welche eine Gesamtlänge von ca. 730 m hat. An der nördlichen Seite ist die Leitung an eine Pumpstation angeschlossen. Das südliche Ende der Leitung mündet in den Freispiegelkanal.

Zu beachten ist, dass am Pumpwerk „Haus Landscheid“ die Tagesklinik „Gut Landscheid“ angesiedelt ist, in welcher seelische Erkrankungen therapiert werden. Aus diesem Grund ist die Bedeutung des Pumpwerks als sehr hoch einzuschätzen, da Arbeiten am Pumpwerk zu einer Störung des Klinikbetriebes führen könnten.

#### 8.2.3.2 Analyse der Druckleitung

Mit dem Netzbetreiber wurde während eines Expertengesprächs die Leitung hinsichtlich ihres Risikos analysiert. Die Wichtung der Kriterien wurde dabei in Anlehnung an Kapitel 6 nicht verändert. Das IKT stand bei der Beurteilung beratend zur Seite. Die Punktevergabe erfolgte stets durch den Netzbetreiber. Die wichtigsten Informationen können wie folgend zusammengefasst werden:

- Alter: 4 Jahre
- Material: PE-HD
- Durchmesser: DN 100
- Länge: ca. 730 m
- Einbautiefe: ca. 1,30 m
- GW-Stand: unterhalb der Leitung
- Kontrollschächte/Entlüftungsmöglichkeiten vorhanden
- Höhenunterschied zwischen Anfang und Ende der Leitung: ca. 60m
- Besonderheiten:
  - bei Sanierungsarbeiten müssten Straßen vollgesperrt werden
  - Bachkreuzungen vorhanden
  - Hauptwasserversorgungsleitung (für einen großen Teil Leverkusens) kreuzt die Abwasserdruckleitung
  - Hotel bzw. Tagesklinik

Tabelle 64 Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Risikofaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Eintrittswahrscheinlichkeit	Wichtung	Punkte	Punkte
<b>Geometrie/Durchmesser</b>	Das Rohr weist eine ungünstige Geometrie auf (mehrere Richtungswechsel, einige Bögen, minimale Steigungsänderungen etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	2,57	3,00	<b>7,71</b>
<b>Werkstoff/Materialeigenschaften</b>	Das Rohr weist gute Werkstoffeigenschaften auf (Keine Korrosion möglich, Anschlüsse sind gut ausgeführt, Anzahl der Anschlüsse ist hoch etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich	3,86	2,00	<b>7,72</b>
<b>Alter</b>	Das Rohr weist ein sehr geringes Alter auf (0 bis 10 Jahre). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	4,14	1,00	<b>4,14</b>
<b>Bodeneigenschaften</b>	Der Boden weist ideale Bedingungen für die Kombination Boden/Rohr auf. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	2,00	1,00	<b>2,00</b>
<b>Einbaufehler, Bettungsfehler, Baumängel, Unterlagen</b>	Die Baumaßnahme wurde vollständig geplant. Der Netzbetreiber hatte stets Überblick über die Maßnahme. Alle Unterlagen liegen lückenlos vor. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	3,00	1,00	<b>3,00</b>
<b>Lage, Verkehrseinfluss</b>	Keine äußeren Einflüsse zu erkennen (keine hohen Lasten, kein Verkehr, oberflächennah, wenig Bebauung). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich	2,57	2,00	<b>5,14</b>
<b>Technische Randbedingungen (Pumpen, Pumpleistung, etc.)</b>	Neue Pumpe, keine Ausfälle, Sicherheitssysteme. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	3,29	1,00	<b>3,29</b>
<b>Transportmedium</b>	Die Transportmenge ist gering, das Medium „Regenwasser“. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	3,86	1,00	<b>3,86</b>

<b>Gesamt</b>	<b>36,86</b>
---------------	--------------

Im zweiten Schritt wurde das Schadensausmaß nach den bereits bekannten Randbedingungen qualitativ bestimmt. Lediglich die Wichtungen für die „indirekten Kosten“ wurden auf 0,5 reduziert. Insgesamt weist das Schadensausmaß einen sehr hohen Wert auf, welches auf die örtlichen Besonderheiten zurückgeführt werden kann.

Tabelle 65 Ermittlung des Schadensausmaßes

Schadensausmaßfaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Schadensausmaß	Wichtung	Punkte	Punkte
Kosten für Sanierung etc	Der Schaden betrifft mehrere, großflächige Bereiche. Sanierungen sind erforderlich. Ebenso könnten technische Anlagen ausgetauscht bzw. neu gebaut werden	hoch	2,00	4,00	8,00
	- Höherer Aufwand bzgl. Verkehrssicherung (Vollsperrung) - Mehrere Kreuzungspunkte, Bachkreuzungen - Hotel / Tagesklinik				
Anzahl Wirtschaftseinheiten	Der Schaden tritt an einer wichtigen Transportleitung auf. Sowohl einzelne Wohngebiete als auch Gewerbe sind an diese Leitung angeschlossen. Ebenso ist die Wichtigkeit einzelner Einrichtungen wie Hotels, Krankenhäuser, Hospitale, etc. zu untersuchen.	sehr hoch	0,50	5,00	2,50
Auswirkung auf Umwelt	Landwirtschaftliche Flächen	mittel	0,50	3,00	1,50

<b>Gesamt</b>	<b>12,00</b>
---------------	--------------

Eine Beurteilung der Ergebnisse erfolgt im Anschluss aller folgenden Risikoanalysen aus dem Gebiet „Burscheid“.

### 8.2.4 Elfgenweg

#### 8.2.4.1 Allgemeine Beschreibung der Druckleitung

Im Gebiet Fuchslade wird das Schmutzwasser im Pumpwerk „Elfgenweg“ gesammelt. Die Entwässerung erfolgt schließlich über die ca. 84m lange Druckleitung. Das Abwasser wird schließlich im nördlichen Bereich in einen Freigefällekanal überführt.

Folgende Abbildung zeigt die zu untersuchende Druckleitung.

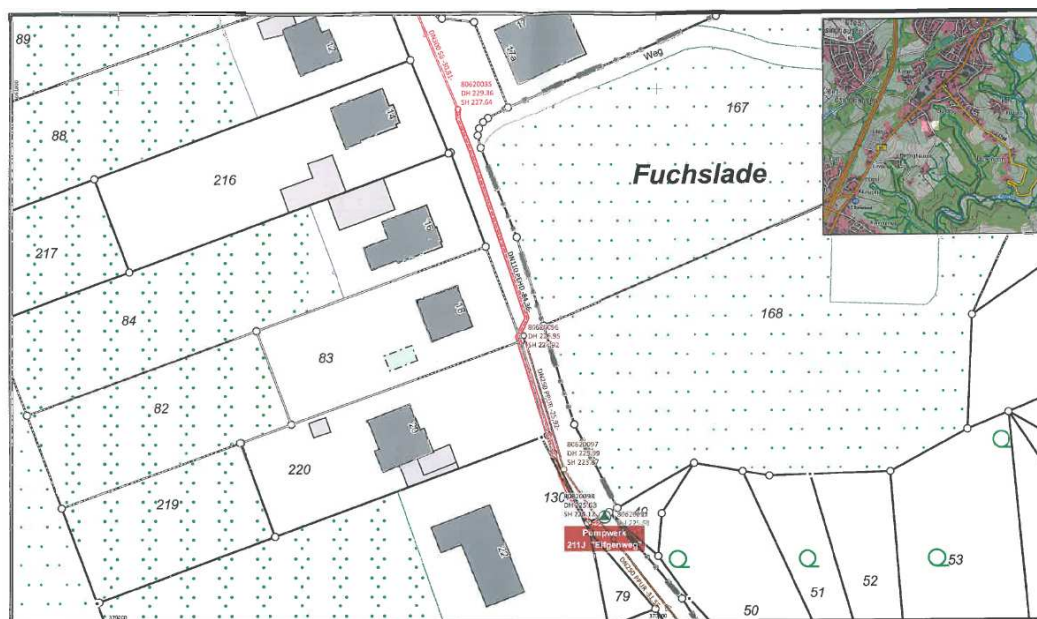


Bild 88 Übersicht „Haus Landscheid“ in Burscheid

Die zu untersuchenden Druckleitung ist eine PE-HD DN100-Leitung, welche eine Gesamtlänge von ca. 84m hat. An der südlichen Seite ist die Leitung an eine Pumpstation angeschlossen. Das nördliche Ende der Leitung mündet in den Freispiegelkanal.

#### *8.2.4.2 Analyse der Druckleitung*

Mit dem Netzbetreiber wurde während eines Expertengesprächs die Leitung hinsichtlich ihres Risikos analysiert. Die Wichtung der Kriterien wurde dabei in Anlehnung an die Phase A nicht verändert. Das IKT stand bei der Beurteilung beratend zur Seite. Die Punktevergabe erfolgte stets durch den Netzbetreiber. Die wichtigsten Informationen können wie folgend zusammengefasst werden:

- Alter: 9 Jahre
- Material: PE-HD
- Durchmesser: DN 100
- Länge: ca. 84 m
- Einbautiefe: ca. 1,30 m
- GW-Stand: unterhalb der Leitung
- Kontrollschächte/Entlüftungsmöglichkeiten nicht vorhanden
- Höhenunterschied zwischen Anfang und Ende der Leitung: ca. 4m
- Keine weiteren Besonderheiten

Tabelle 66 Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Risikofaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Eintrittswahrscheinlichkeit	Wichtung	Punkte	Punkte
<b>Geometrie/Durchmesser</b>	Das Rohr weist eine sehr günstige Geometrie auf (Keine Richtungswechsel, keine Bögen, minimalste Steigungen, etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	2,57	1,00	<b>2,57</b>
<b>Werkstoff/Materialeigenschaften</b>	Das Rohr weist sehr gute Werkstoffeigenschaften auf (Keine Korrosion möglich, Anschlüsse sind technisch sehr gut ausgeführt). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	3,86	1,00	<b>3,86</b>
<b>Alter</b>	Das Rohr weist ein sehr geringes Alter auf (0 bis 10 Jahre). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	4,14	1,00	<b>4,14</b>
<b>Bodeneigenschaften</b>	Der Boden weist ideale Bedingungen für die Kombination Boden/Rohr auf. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	2,00	1,00	<b>2,00</b>
<b>Einbaufehler, Bettungsfehler, Baumängel, Unterlagen</b>	Die Baumaßnahme wurde vollständig geplant. Der Netzbetreiber hatte stets Überblick über die Maßnahme. Alle Unterlagen liegen lückenlos vor. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	3,00	1,00	<b>3,00</b>
<b>Lage, Verkehrseinfluss</b>	Äußere Einflüsse zu erkennen (teilweise Verkehr, oberflächennah, Bebauung). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	2,57	3,00	<b>7,71</b>
<b>Technische Randbedingungen (Pumpen, Pumpleistung, etc.)</b>	Neue Pumpe, keine Ausfälle, Sicherheitssysteme. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	3,29	1,00	<b>3,29</b>
<b>Transportmedium</b>	Die Transportmenge ist normal, das Medium „Mischwasser“. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	3,86	3,00	<b>11,58</b>

<b>Gesamt</b>	<b>38,15</b>
---------------	--------------

Im zweiten Schritt wurde das Schadensausmaß nach den bereits bekannten Randbedingungen qualitativ bestimmt. Lediglich die Wichtungen für die „indirekten Kosten“ wurden auf 0,5 reduziert. Insgesamt weist das Schadensausmaß einen niedrigen bis sehr geringen Wert auf, welcher auf die örtlichen Besonderheiten zurückgeführt werden kann.

Tabelle 67 Ermittlung des Schadensausmaßes

Schadensausmaßfaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Schadensausmaß	Wichtung	Punkte	Punkte
Kosten für Sanierung etc	Der Schaden ist derart minimal, dass einfache Maßnahmen zur Behebung des Schadens/Vorfalles ausreichen (z.B. Spülung/Reinigung)	Sehr niedrig	2,00	1,00	2,00
Anzahl Wirtschaftseinheiten	Der Schaden tritt an einer Leitung des Netzbetreibers auf. Es sind wenige Haushalte betroffen	niedrig	0,50	2,00	1,00
Auswirkung auf Umwelt	Kein TW-Schutzgebiet, Waldflächen	niedrig	0,50	2,00	1,00

<b>Gesamt</b>	<b>4,00</b>
---------------	-------------

Eine Beurteilung der Ergebnisse erfolgt im Anschluss aller folgenden Risikoanalysen aus dem Gebiet „Burscheid“.

### 8.2.5 Gesamtbewertung der Abwasserdruckleitungen

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

Leitung A: Dürscheid;	Risiko = 64 * 8,5	= 544
Leitung B: Heddinghofen;	Risiko = 57 * 7,5	= 427
Leitung C: Haus Landscheid;	Risiko = 37 * 12,0	= 442
Leitung D: Elfgerweg;	Risiko = 38 * 4,0	= 152

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

Ebenso ist insgesamt zu erkennen, dass zwischen den Risiko-Isolinien und den aus Gründen der Vereinfachung verwendeten Kästchen ein qualitativer Unterschied auszumachen ist (siehe speziell Risiko-Isolinie R = 400). Beispielsweise ist dies an den Leitungen B und C zu erkennen. Obwohl Leitung B ein geringeres Risiko als C aufweist, ist diese Leitung im „gelben“ Bereich, wohingegen Leitung C sich im „grünen“ Bereich befindet.

Dennoch sei erwähnt, dass aufgrund der speziellen örtlichen Gegebenheiten im Bereich der Leitung C (Haus Landscheid) ein Augenmerk auf jene Leitung zu legen ist. Aufgrund des hohen Schadensausmaßes sind mögliche Intervalle zur Wiederholungsinspektion geringer zu halten. Eine Möglichkeit könnte in der regelmäßigen Sichtprüfung einzelner Bauteile liegen.

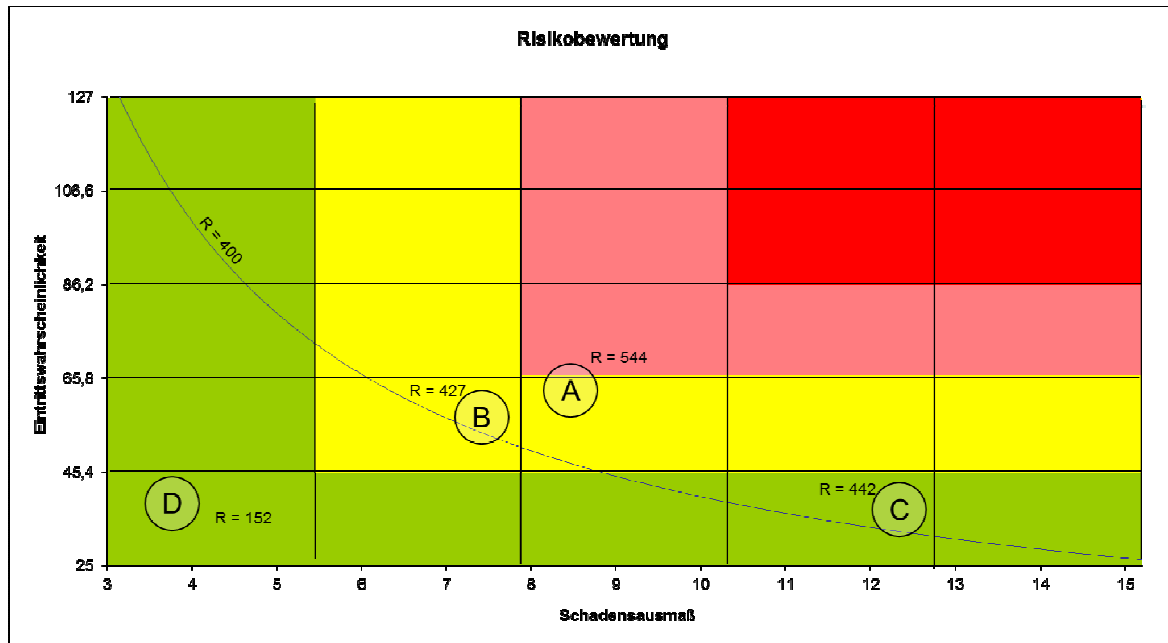


Bild 89 Risikomatrix „Burscheid“

Insgesamt ist an diesem konkreten Fall sehr gut zu erkennen, dass jede Risikoanalyse genau interpretiert werden muss. Speziell am Beispiel der Leitungen B und C sollte ein Netzbetreiber die Bewertungen hinterfragen.

## 8.3 Risikoanalyse von Druckleitungen der Stadt Gevelsberg

Im Rahmen dieser Risikobetrachtung werden für die Stadt Gevelsberg insgesamt vier Abwasserdruckleitungen analysiert. Hierzu wurden alle Informationen während eines Interviews vor Ort beim Netzbetreiber ermittelt. Die Ergebnisse der Risikoanalyse sind in den folgenden Abschnitten zusammengefasst.

### 8.3.1 Rochholzallee

#### 8.3.1.1 Allgemeine Beschreibung der Druckleitung

In einem Stadtteil wird das Schmutzwasser im Pumpwerk Rochholzallee gesammelt. Die Entwässerung erfolgt schließlich über die ca. 141 m lange Druckleitung. Dem Pumpwerk werden das Schmutzwasser und Mischwasser einzelner Bereiche bzw. aus der Rocholzallee selbst zugeführt. Über private Pumpstationen entwässern weiterhin das Gut Rocholz, der Stahlhandel und einzelne Häuser der Rocholzallee in das städtische Pumpwerk. Das Abwasser wird über die Druckleitung DN100 (Außendurchmesser 110mm) der Freigefällekanalisation „Hagener Straße“ zugeführt.

Folgende Abbildung zeigt die zu untersuchende Druckleitung. Die Druckleitung ist durch die hellblaue Linie gekennzeichnet.

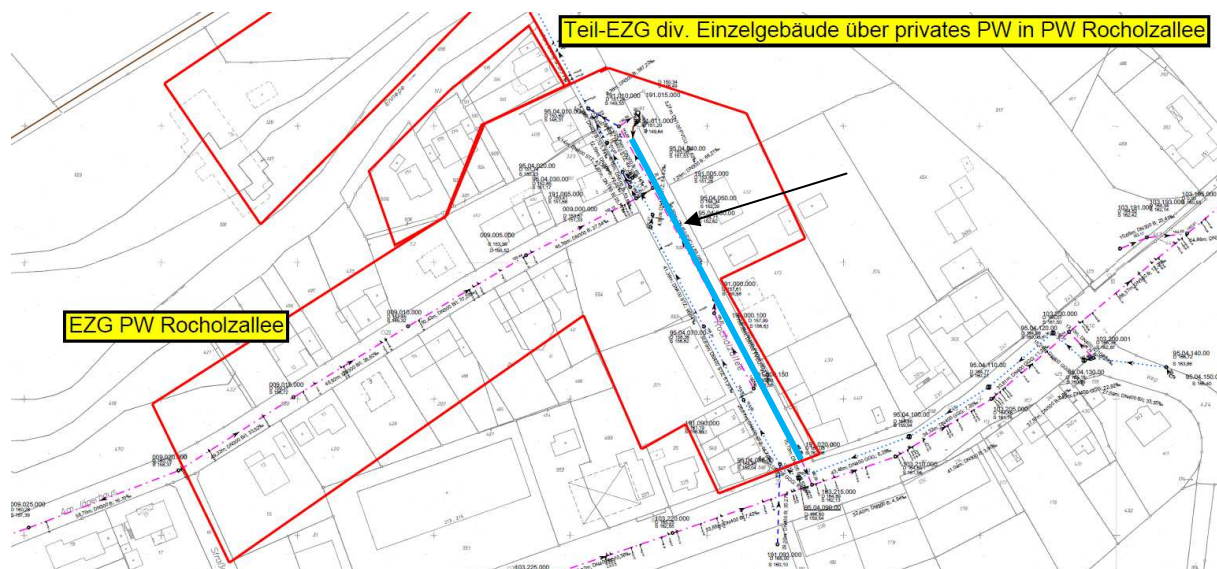


Bild 90 Übersicht des Baugebietes „Rochholzallee“ in Gevelsberg

### 8.3.1.2 Analyse der Druckleitung

Mit dem Netzbetreiber wurde während eines Expertengesprächs die Leitung nunmehr hinsichtlich ihres Risikos analysiert. Die Wichtung der Kriterien wurde dabei in Anlehnung an Kapitel 6 nicht verändert. Das IKT stand bei der Beurteilung beratend zur Seite. Die Punktevergabe erfolgte stets durch den Netzbetreiber. Die wichtigsten Informationen können wie folgend zusammengefasst werden:

- Alter: 27 Jahre
- Material: PVC-U
- Durchmesser: DN 100/DA 110
- Länge: ca. 141 m
- Einbautiefe: ca. 1,20 m
- GW-Stand: unterhalb der Leitung
- Keine Entlüftungsmöglichkeiten
- Höhenunterschied zwischen Anfang und Ende der Leitung: ca. 16m
- Besonderheiten:
  - Verkehr ca. 2000 Fz/Jahr
  - Wartung der Pumpen 1x im Jahr
  - Im Jahr 2007 sowie 2013 durch Baugrunduntersuchungen teilweise punktuell beschädigt

Tabelle 68 Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Risikofaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Eintrittswahrscheinlichkeit	Wichtung	Punkte	Punkte
<b>Geometrie/Durchmesser</b>	Das Rohr weist eine sehr günstige Geometrie auf (Keine Richtungswechsel, keine Bögen, minimalste Steigungen, etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	2,57	1,00	<b>2,57</b>
<b>Werkstoff/Materialeigenschaften</b>	Das Rohr weist normale Werkstoffeigenschaften auf (Korrosion ist möglich, Spülungen haben das Rohr teilweise beschädigt, hohe Anzahl an Anschlüssen). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	3,86	3,00	<b>11,58</b>
<b>Alter</b>	Das Rohr weist ein mittleres Alter auf (21 bis 40 Jahre). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	4,14	3,00	<b>12,42</b>
<b>Bodeneigenschaften</b>	Der Boden weist ideale Bedingungen für die Kombination Boden/Rohr auf. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	2,00	1,00	<b>2,00</b>
<b>Einbaufehler, Bettungsfehler, Baumängel, Unterlagen</b>	Die Baumaßnahme wurde vollständig geplant. Der Netzbetreiber hatte stets Überblick über die Maßnahme. Alle Unterlagen liegen lückenlos vor. Während des Baus gab es vereinzelt Probleme. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich	3,00	2,00	<b>6,00</b>
<b>Lage, Verkehrseinfluss</b>	Äußere Einflüsse zu erkennen (teilweise Verkehr, oberflächennah, Bebauung). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	2,57	3,00	<b>7,71</b>
<b>Technische Randbedingungen (Pumpen, Pumpleistung, etc.)</b>	Neue Pumpe, keine Ausfälle, Sicherheitssysteme. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	3,29	1,00	<b>3,29</b>
<b>Transportmedium</b>	Die Transportmenge ist gering, das Medium „Mischwasser“. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich	3,86	2,00	<b>7,72</b>

<b>Gesamt</b>	<b>53,29</b>
---------------	--------------

Im zweiten Schritt wurde das Schadensausmaß nach den bereits bekannten Randbedingungen qualitativ bestimmt. Lediglich die Wichtungen für die „indirekten Kosten“ wurden auf 0,5 reduziert.

Tabelle 69 Ermittlung des Schadensausmaßes

Schadensausmaßfaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Schadensausmaß	Wichtung	Punkte	Punkte
Kosten für Sanierung etc	Der Schaden betrifft mehrere Bereiche. Teilweise sind erste Reparaturmaßnahmen erforderlich.	mittel	2,00	3,00	6,00
	- Überlauf vorhanden - Bei Überlauf in Fluss Ennepe				
Anzahl Wirtschaftseinheiten	Der Schaden tritt nur an Leitungen privater Haushalte ein	Sehr niedrig	0,50	1,00	0,50
Auswirkung auf Umwelt	Landwirtschaftliche Flächen	mittel	0,50	3,00	1,50

<b>Gesamt</b>	<b>8,00</b>
---------------	-------------

Eine Beurteilung der Ergebnisse erfolgt im Anschluss aller folgenden Risikoanalysen aus dem Gebiet „Gevelsberg“.

### 8.3.2 Am Schlagbaum

#### 8.3.2.1 Allgemeine Beschreibung der Druckleitung

Das gesammelte Abwasser aus einzelnen Gebieten wird dem unterirdischen Pumpenschacht „Am Schlagbaum“ zugeleitet. Das Abwasser wird über eine 147m lange Druckleitung DN100 der Freigefällekanalisation „Ellinghauser Weg“ zugeführt. Die Druckleitung endet schließlich in einen Schacht. Im Pumpenschacht bildet sich u.a. aufgrund von Fettablagerungen oftmals Schlamm im Pumpensumpf, was höhere betriebliche Anforderungen zur Folge hat.

Folgende Abbildung zeigt die zu untersuchende Druckleitung. Die Druckleitung ist durch die hellblaue Linie gekennzeichnet.

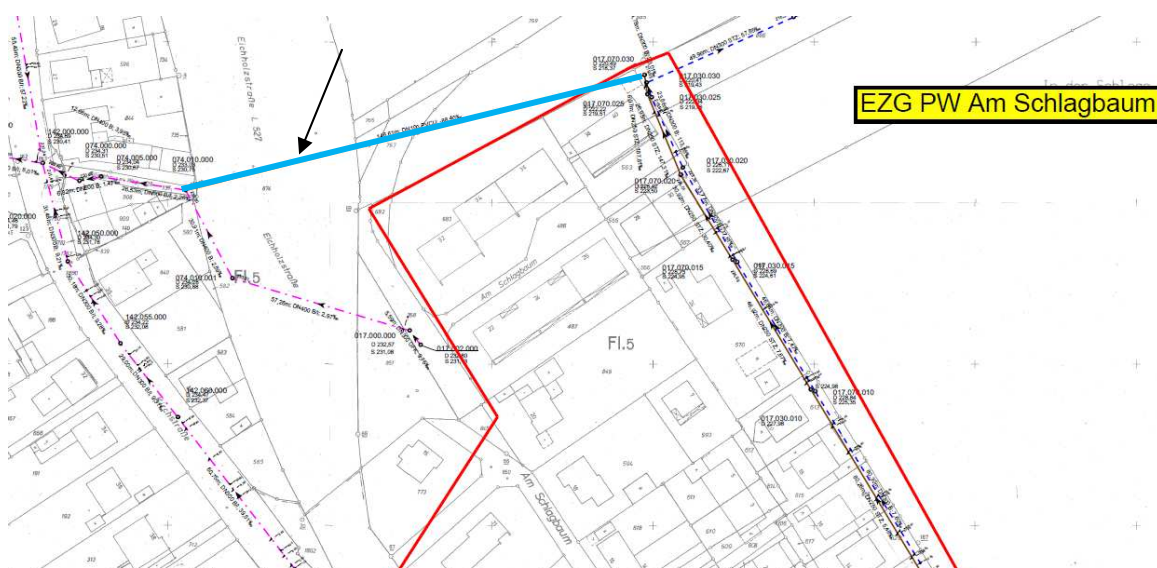


Bild 91 Übersicht des Baugebietes „Am Schlagbaum“ in Gevelsberg

### 8.3.2.2 Analyse der Druckleitung

Mit dem Netzbetreiber wurde während eines Expertengesprächs die Leitung nunmehr hinsichtlich ihres Risikos analysiert. Die Wichtung der Kriterien wurde dabei in Anlehnung an die Phase A nicht verändert. Das IKT stand bei der Beurteilung beratend zur Seite. Die Punktevergabe erfolgte stets durch den Netzbetreiber. Die wichtigsten Informationen können wie folgend zusammengefasst werden:

- Alter: 33 Jahre
- Material: PVC-U
- Durchmesser: DN 100
- Länge: ca. 147 m
- Einbautiefe: ca. 1,20 m
- GW-Stand: unterhalb der Leitung
- Keine Entlüftungsmöglichkeiten
- Höhenunterschied zwischen Anfang und Ende der Leitung: ca. 12m
- Besonderheiten:
  - Pumpwerk bzw. Leitung wurde privat hergestellt; keine Unterlagen
  - Im Pumpenschacht bildet sich u.a. aufgrund von Fettablagerungen oftmals Schlamm
  - Genaue Lage der Leitung nicht bekannt

Tabelle 70 Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Risikofaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Eintrittswahrscheinlichkeit	Wichtung	Punkte	Punkte
<b>Geometrie/Durchmesser</b>	Das Rohr weist eine ungünstige Geometrie auf (mehrere Richtungswechsel, einige Bögen, minimale Steigungsänderungen etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	2,57	3,00	<b>7,71</b>
<b>Werkstoff/Materialeigenschaften</b>	Das Rohr weist gute Werkstoffeigenschaften auf (Keine Korrosion möglich, Anschlüsse sind gut ausgeführt, Anzahl der Anschlüsse ist hoch etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich	3,86	2,00	<b>7,72</b>
<b>Alter</b>	Das Rohr weist ein mittleres Alter auf (21 bis 40 Jahre). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	4,14	3,00	<b>12,42</b>
<b>Bodeneigenschaften</b>	Der Boden weist gute Bedingungen für die Kombination Boden/Rohr auf. Teilweise sind unterschiedliche Böden anzutreffen. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich	2,00	2,00	<b>4,00</b>
<b>Einbaufehler, Bettungsfehler, Baumängel, Unterlagen</b>	Es liegen keine ausreichenden Informationen vor. Ebenso gibt es keine Informationen zum Bau der Druckleitung. Verlauf der Druckleitung ist gänzlich unbekannt. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall äußerst kritisch zu betrachten	Sehr wahrscheinlich	3,00	5,00	<b>15,00</b>
<b>Lage, Verkehrseinfluss</b>	Äußere Einflüsse zu erkennen (teilweise Verkehr, oberflächennah, Bebauung). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	2,57	3,00	<b>7,71</b>
<b>Technische Randbedingungen (Pumpen, Pumpleistung, etc.)</b>	Relativ neue Pumpe, keine Ausfälle, Sicherheitssysteme. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich	3,29	2,00	<b>6,58</b>
<b>Transportmedium</b>	Die Transportmenge ist normal, das Medium „Mischwasser“, zusätzlich Industrieabwässer. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall als kritisch zu betrachten	Wahrscheinlich	3,86	4,00	<b>15,44</b>

<b>Gesamt</b>	<b>76,58</b>
---------------	--------------

Im zweiten Schritt wurde das Schadensausmaß nach den bereits bekannten Randbedingungen qualitativ bestimmt. Lediglich die Wichtungen für die „indirekten Kosten“ wurden auf 0,5 reduziert. Auffällig ist dabei, dass die Kosten ein hohes Schadensausmaß aufweisen, wohingegen die „Auswirkungen auf die Umwelt“ gerade für diese Leitung als sehr niedrig eingestuft wurden.

Tabelle 71 Ermittlung des Schadensausmaßes

Schadensausmaßfaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Schadensausmaß	Wichtung	Punkte	Punkte
Kosten für Sanierung etc	Der Schaden betrifft mehrere, großflächige Bereiche. Sanierungen sind erforderlich. Ebenso könnten technische Anlagen ausgetauscht bzw. neu gebaut werden	hoch	2,00	4,00	8,00
	- Lage nicht bekannt, somit neue Trassenführung - Mangelnde Rückstausicherheit				
Anzahl Wirtschaftseinheiten	Der Schaden tritt an einer Leitung des Netzbetreibers auf. Es sind mehrere Haushalte betroffen.	mittel	0,50	3,00	1,50
Auswirkung auf Umwelt	Leitung befindet sich auf privatem Grundstück, kein TW-Schutzgebiet, innerstädtisch	Sehr niedrig	0,50	1,00	0,50

<b>Gesamt</b>	<b>10,00</b>
---------------	--------------

Eine Beurteilung der Ergebnisse erfolgt im Anschluss aller folgenden Risikoanalysen aus dem Gebiet „Gevelsberg“.

### 8.3.3 Silschede Süd

#### 8.3.3.1 Allgemeine Beschreibung der Druckleitung

Das gesammelte Abwasser aus dem Gebiet wird dem Pumpenschacht „Silschede-Süd“ zugeleitet. In diesem Schacht befinden sich zwei Pumpen, die das Abwasser über eine 388m lange Druckleitung DN 150 (Außendurchmesser 160mm) der Freigefällekanalisation „Kaltenhof“ zuführen.

Folgende Abbildung zeigt die zu untersuchende Druckleitung. Die Druckleitung ist durch die hellblaue Linie gekennzeichnet.

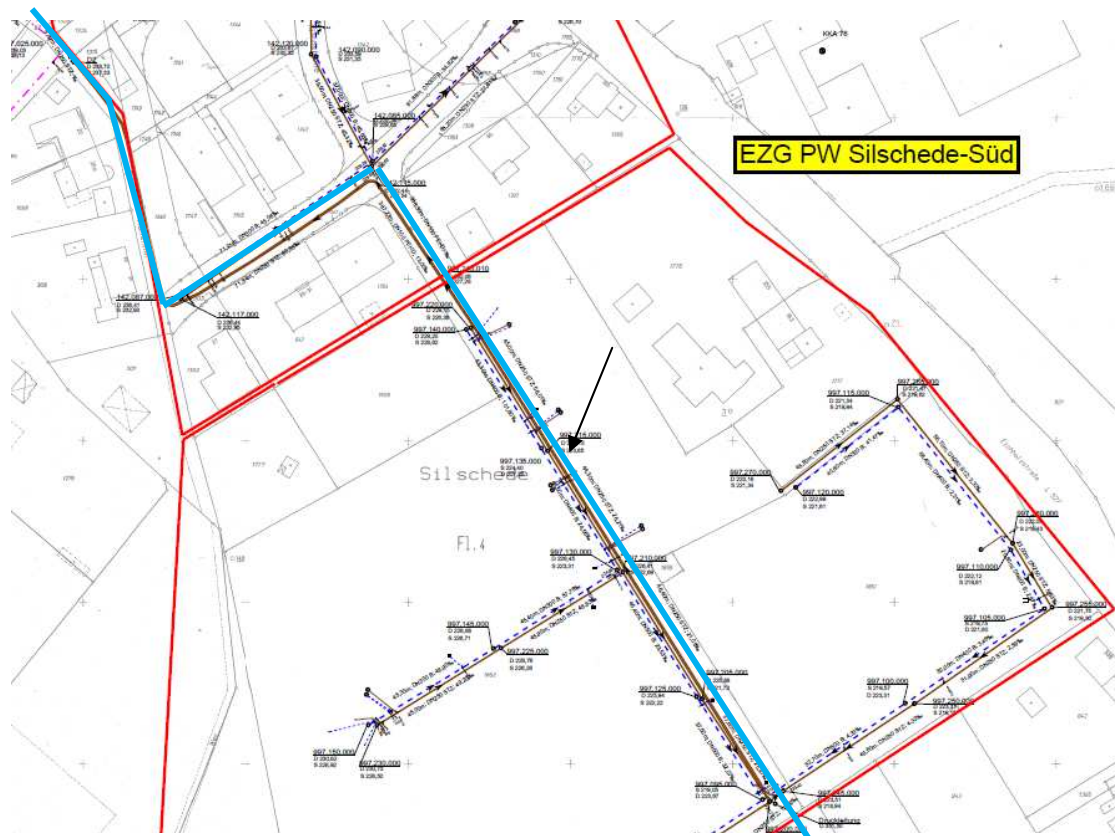


Bild 92 Übersicht des Baugebietes „Silschede-Süd“ in Gevelsberg

### 8.3.3.2 Analyse der Druckleitung

Mit dem Netzbetreiber wurde während eines Expertengesprächs die Leitung nunmehr hinsichtlich ihres Risikos analysiert. Die Wichtung der Kriterien wurde dabei in Anlehnung an die Phase A nicht verändert. Das IKT stand bei der Beurteilung beratend zur Seite. Die Punktevergabe erfolgte stets durch den Netzbetreiber. Die wichtigsten Informationen können wie folgend zusammengefasst werden:

- Alter: 12 Jahre
- Material: PE HD 100
- Durchmesser: DN 150/DA 160
- Länge: ca. 390 m
- Einbautiefe: ca. 1,20 m
- GW-Stand: unterhalb der Leitung
- Keine Entlüftungsmöglichkeiten
- Höhenunterschied zwischen Anfang und Ende der Leitung: ca. 18m
- Besonderheiten:
  - Regelmäßige Reinigung, da hoher Feststoffgehalt

Tabelle 72 Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Risikofaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Eintrittswahrscheinlichkeit	Wichtung	Punkte	Punkte
<b>Geometrie/Durchmesser</b>	Das Rohr weist eine ungünstige Geometrie auf (mehrere Richtungswechsel, einige Bögen, minimale Steigungsänderungen etc.). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall bedingt kritisch zu betrachten	Möglich	2,57	3,00	<b>7,71</b>
<b>Werkstoff/Materialeigenschaften</b>	Das Rohr weist sehr gute Werkstoffeigenschaften auf (Keine Korrosion möglich, Anschlüsse sind technisch sehr gut ausgeführt). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	3,86	1,00	<b>3,86</b>
<b>Alter</b>	Das Rohr weist ein geringes Alter auf (11 bis 20 Jahre). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich	4,14	2,00	<b>8,28</b>
<b>Bodeneigenschaften</b>	Der Boden weist ideale Bedingungen für die Kombination Boden/Rohr auf. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	2,00	1,00	<b>2,00</b>
<b>Einbaufehler, Bettungsfehler, Baumängel, Unterlagen</b>	Die Baumaßnahme wurde vollständig geplant. Der Netzbetreiber hatte stets Überblick über die Maßnahme. Alle Unterlagen liegen lückenlos vor. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	3,00	1,00	<b>3,00</b>
<b>Lage, Verkehrseinfluss</b>	Keine äußeren Einflüsse zu erkennen (keine hohen Lasten, kein Verkehr, oberflächennah, wenig Bebauung). Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall gering kritisch zu betrachten	Unwahrscheinlich	2,57	2,00	<b>5,14</b>
<b>Technische Randbedingungen (Pumpen, Pumpleistung, etc.)</b>	Neue Pumpe, keine Ausfälle, Sicherheitssysteme. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall nicht kritisch zu betrachten	Unmöglich	3,29	1,00	<b>3,29</b>
<b>Transportmedium</b>	Die Transportmenge ist normal, das Medium „Mischwasser“, zusätzlich Industrieabwässer. Die Leitung ist bzgl. Schäden/Ausfall als kritisch zu betrachten	Wahrscheinlich	3,86	4,00	<b>15,44</b>

<b>Gesamt</b>	<b>48,72</b>
---------------	--------------

Im zweiten Schritt wurde das Schadensausmaß nach den bereits bekannten Randbedingungen qualitativ bestimmt. Lediglich die Wichtungen für die „indirekten Kosten“ wurden auf 0,5 reduziert. Auffällig ist dabei, dass alle Kriterien ein geringes Schadensausmaß aufweisen.

Tabelle 73 Ermittlung des Schadensausmaßes

Schadensausmaßfaktoren	Beschreibung im Zuge einer Leitungsanalyse	Schadensausmaß	Wichtung	Punkte	Punkte
Kosten für Sanierung etc	Der Schaden ist minimal, dass Maßnahmen zur Behebung des Schadens/Vorfalls ausreichen (z.B. mehrere Spülungen/Reinigung)	niedrig	2,00	2,00	4,00
	- Insgesamt höherer Aufwand - beengte Verhältnisse - Vollsperrung des Verkehrs				
Anzahl Wirtschaftseinheiten	Der Schaden tritt nur an Leitungen privater Haushalte ein	Sehr niedrig	0,50	1,00	0,50
Auswirkung auf Umwelt	Kein TW-Schutzgebiet, Waldflächen	niedrig	0,50	2,00	1,00

<b>Gesamt</b>	<b>5,50</b>
---------------	-------------

Eine Beurteilung der Ergebnisse erfolgt im Anschluss aller folgenden Risikoanalysen aus dem Gebiet „Gevelsberg“.

### 8.3.4 Gesamtbewertung der Abwasserdruckleitungen

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

Leitung A: Rochholzallee;	Risiko = 53 * 8,0	= 424
Leitung B: Am Schlagbaum;	Risiko = 77 * 10,0	= 770
Leitung C: Silschede-Süd;	Risiko = 49 * 5,5	= 270

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

Derzeit wird überlegt, die vorhandene Leitung B am Schlagbaum durch eine neue Leitung zu ersetzen. Dadurch lässt sich die Eintrittswahrscheinlichkeit im Hinblick auf das Alter, die Geometrie, die Werkstoffeigenschaften, die Planung, Lage etc. verringern, so dass eine Wahrscheinlichkeit von  $p = 40,0$  durchaus realistisch erscheint. Ebenso würde sich durch eine fachgerechte Planung das Schadensausmaß hinsichtlich der Kosten verringern. Hierzu könnten Kontrollschächte, zusätzliche Absperrventile und –schieber vorgesehen werden, die eine regelmäßige Inspektion der Leitung gewährleisten könnten, so dass zukünftige Risiken vermieden werden könnten.

*Leitung B'neu: Am Schlagbaum; Risiko = 41 \* 6,0 = 246*

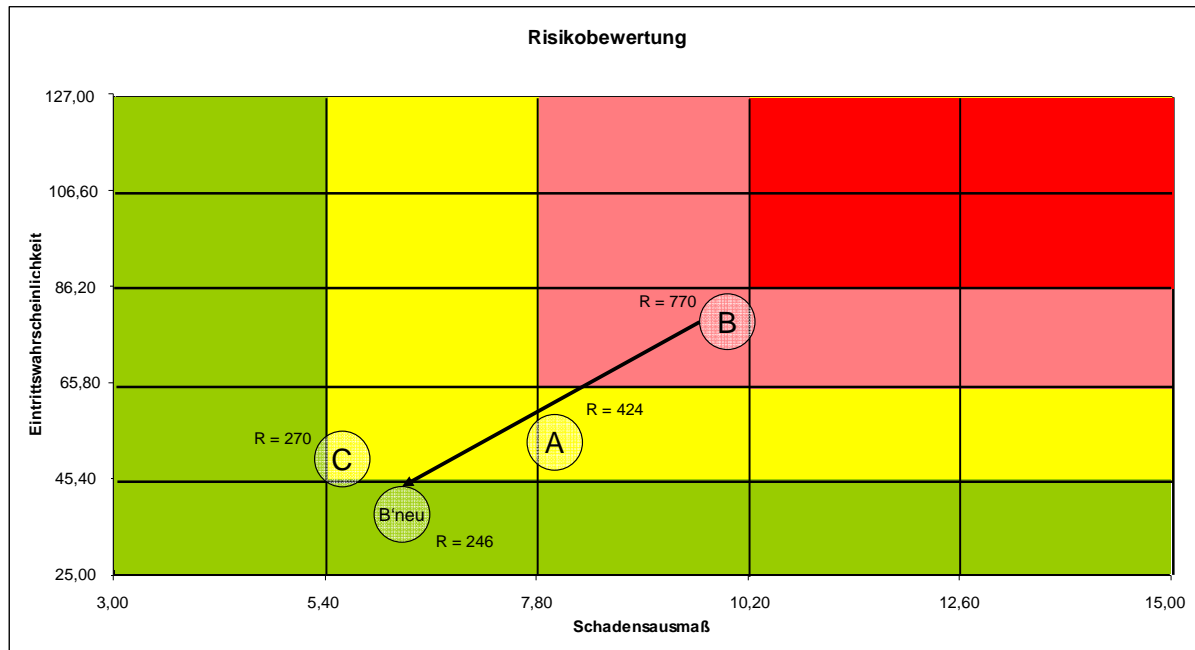


Bild 93 Risikomatrix „Gevelsberg“

### 8.4 Fazit und weiterer Optimierungsbedarf

Im Rahmen dieses Kapitels sollte das zuvor entwickelte qualitative Risikomodell erstmals bei Kanalnetzbetreibern zur Priorisierung der Druckleitungen angewendet werden. Eine qualitative Risikoanalyse besteht insgesamt darin, die Auswirkungen und die Wahrscheinlichkeit der identifizierten Risiken zunächst abzuschätzen. In diesem Prozess werden entsprechend ihrer möglichen Auswirkung auf die Projektziele den Risiken Prioritäten zugeordnet.

Es konnte gezeigt werden, dass mit einem relativ geringen Aufwand eine sehr genaue Übersicht der Leitungen im individuellen Netz erstellt werden konnte. Mit Hilfe der Fragebögen und der dazu gehörigen Gewichtungen war eine Priorisierung der Leitungen möglich. Dem Netzbetreiber konnte eine Methodik an die Hand gegeben werden, um weitere strategisch wichtige Schritte zur Inspektion bzw. zum lebenszyklusorientieren Betrieb einleiten zu können.

Insgesamt ist es wichtig, dass eine solche qualitative Risikoanalyse mehr als nur einmal während der Lebensdauer einer Leitung durchgeführt werden sollte, um mögliche Veränderungen zu erfassen. Auf diese Weise kann es durchaus vorkommen, dass Leitungen in eine andere Risikoklasse fallen und somit der Handlungsbedarf sich ändert.

Das Risikomanagement als integriertes Instrument zur Beurteilung bzw. Priorisierung von Abwasserdruckleitungen ist auf die Kooperation und Erfahrung des ganzen Projektteams angewiesen. Um dies zu erreichen, sollte im Idealfall die Projektleitung mit voller Überzeugung hinter dem Risikomanagement stehen. Eine entsprechende Integration des Risikomanagementsystems in die Projektstruktur ist die Voraussetzung, um den nachfolgenden Pro-

zess beginnend mit der Identifikation bis hin zur Risikokontrolle und den Kommunikationsinstrumenten erfolgreich implementieren zu können.

Es bleibt festzuhalten, dass gerade in diesem Stadium, in welchem kaum Informationen hinsichtlich eines Umgangs mit Abwasserdruckleitungen existieren, neue Wege zur Beurteilung der Abwasserdruckleitungen gegangen werden sollten. Die Risikoanalyse stellt eine erste Möglichkeit dar, um Leitungen in ein funktionierendes Betriebs- und Instandhaltungskonzept zu überführen.

Für die Zukunft lässt sich das Verfahren noch weiter ausbauen. Insbesondere ist die Koppelung der Priorisierung der Leitungen mit der Budgetierung für weitere Maßnahmen als sehr wichtig einzustufen, so dass weitere umfangreiche Untersuchungen realisiert werden können.

Für eine bessere Planung innerhalb des Kanalnetzbetreibers sollten dementsprechend finanzielle Aspekte unter Berücksichtigung risikorelevanter und lebenszyklusorientierter Fragestellungen integriert werden. Aus diesem Grund sind für ein weiteres Vorgehen folgende Aspekte von Bedeutung:

- Schulung der Kanalnetzbetreiber hinsichtlich risikoanalytischer Fragestellungen
- Erarbeitung von individuellen Risikokonzepten
- Erarbeitung von risikobasierten Betriebs- und Instandhaltungskonzepten
- Bestimmung von Budgets auf Basis risikoanalytischer Bewertungen
- Erarbeitung von individuellen Fragebögen hinsichtlich wichtiger Schadenskriterien
- Leitfaden zur Berechnung der fallspezifischen Gewichtung einzelner Kriterien

## 9 Marktübersicht Sanierungstechniken für Abwasserdruckleitungen

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

Aufgrund der stetig größer werdenden Verkehrsdichte und im Sinne des Umweltschutzes ist es ökonomisch sinnvoll, Leitungen ohne eine Beschädigung der Oberfläche zu verlegen. Aufgrund der teuren Straßenbeläge, dem Bodenaustausch oder der hohen Grundwasserstände kann eine grabenlose Bauweise schon in relativ geringen Tiefenlagen wirtschaftlicher sein als die klassische offene Bauweise.

Zusätzlich ergeben sich erhebliche volkswirtschaftliche Einsparungen wie die Vermeidung von Staus, die Schonung der Umwelt und der Wegfall von witterungsbedingten Ausfallzeiten.

Die Vorteile auf einen Blick:

- Geringer Eingriff in Landschaften und Schutzbereiche
- Keine Störung des Straßen-, Schienen-, und Schifffahrtsverkehrs
- Verringerung von Lärm- und Emissionsbelastungen
- Geringe Beeinträchtigungen vorhandener Bausubstanz
- Schonung von Vegetation und Arten durch kleine Baufelder
- Nachhaltigkeit durch Nutzung der vorhandenen Infrastruktur (Altleitungen)

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

Der Begriff Sanierung steht in der Abwasserwirtschaft für alle Maßnahmen, die zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen dienen. In der DIN EN 752: 2008-04 wird mit Fokus Freispiegelkanäle zwischen den Sanierungsarten **Reparatur**, **Renovierung** und **Erneuerung** unterschieden [90]. **Da derzeit keine eigenen Normen oder Regelwerke für die Instandsetzung von Abwasserdruckleitungen existieren, bietet es sich an bei der Zuordnung der Techniken/Produkte auch auf die DVGW W 401** [91] für die Rehabilitation von Wasserrohrnetzen zurückzugreifen. Dies kann allerdings zu Definitionsschwierigkeiten führen, da der Begriff "Renovierung" z.B. im DVGW-Regelwerk nicht verwendet wird und der Begriff "Sanierung" eine völlig andere Bedeutung hat.

Im nachfolgendem Bild 94 sind die Sanierungstechniken/Produkte daher in Anlehnung an die Klassifizierung nach DIN EN 752 aufgelistet, allerdings ohne Unterscheidung zwischen Renovierung und Erneuerung. Derzeit ist noch völlig offen, inwieweit hier überhaupt eine Unter-

scheidung notwendig und sinnvoll ist, siehe hierzu auch die Diskussion in Abschnitt 9.4 mit Blick auf die internationale Normung ISO. Die Reihenfolge der Sanierungstechniken ist in der Darstellung willkürlich gewählt.

Die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Sanierungstechniken basieren **auf Firmeninformationen**.

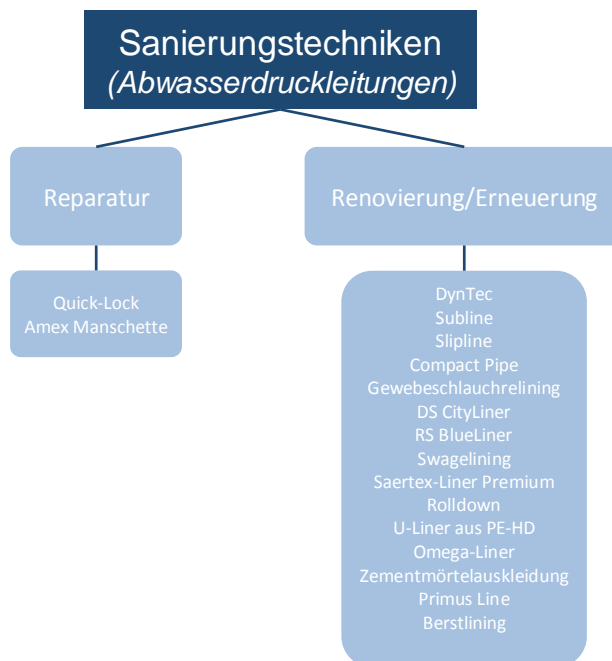


Bild 94 Ergebnis der Marktrecherche zu Sanierungstechniken für Abwasserdruckleitungen

**Zu beachten ist folgendes:** Bei allen Informationen handelt es sich nur um Herstellerangaben bzw. Angaben der Baufirmen. Die Qualität an Information in diesem Kapitel beruht vollständig auf diesen Recherchen des IKT sowie Gesprächen mit Herstellern. Eine Überprüfung bzw. Bewertung der Techniken war nicht Gegenstand der Phase II dieses Vorhabens. Ebenso sind einzelne Technikgruppen mehrfach vertreten, da diese von mehreren Firmen/Herstellern mit unterschiedlicher Bezeichnung und technischer Umsetzung angeboten werden. Entsprechend handelt es sich bei der Zusammenfassung um eine firmenorientierte Recherche und nicht um einen normgemäßen Verfahrensüberblick.

## 9.1 Reparatur

Durch eine Reparatur werden Maßnahmen zur Behebung örtlich begrenzter Schäden ergriffen. [90] Bei der Reparatur werden Einzelschäden wie z.B. Risse und Löcher saniert. Die durchschnittliche Nutzungsdauer wird als vergleichsweise gering angesetzt, mit in der Regel 2 bis 15 Jahren. [92]

### 9.1.1 Quick-Lock

Das Quick-Lock-Verfahren ist laut Herstellerangaben ein rein mechanisches, stufenloses Montagesystem für die partielle Rohrrinnensanierung von Druckleitungen der Dimensionen

DN 150 bis DN 800. Es besteht aus einer gerollten V4A-Edelstahlschale sowie einer EPDM- (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk) Kompressions-Gummidichtung für alle gängigen Kanal-, Brunnen- und Trinkwasserrohrsysteme und ist zudem korrosionsbeständig. [93]

Dieses Sanierungsverfahren ist für den Einsatz im kommunalen Abwasser konzipiert. Bei einem Einsatz im industriellen Abwasser ist die Korrosionsbeständigkeit zu prüfen. Die duroplastische EPDM-Gummidichtung ist ebenso - wie der Edelstahl - für kommunales Abwasser konzipiert. EPDM zeichnet sich hierbei durch seine physikalischen Eigenschaften und Beständigkeit gegen Alterung, Ozon, Witterung- und Umwelteinflüsse, Alkalien und die verschiedensten Laugen und Chemikalien aus [93].

Nur bedingt geeignet bzw. ungeeignet ist EPDM in Verbindung mit:

- Lösungsmitteln,
- Äther, Ester, Ketone, Methylenchlorid,
- tierische und pflanzliche Fette, Öle, Kraftstoffe,
- konzentrierte Fruchtsäfte, oxydierende Säuren.

Die Behebung und Abdichtung des Schadensbildes erfolgt über einen dauerhaften Anpressdruck der Edelstahlschale durch Kompression der EPDM-Gummidichtung auf die Rohrinnenwand (s. Bild 95 links).

Die Quick-Lock-Edelstahlmanschette hat einen kleineren Durchmesser als das zu sanierende Rohr. Umgeben ist die Manschette von einer nahtlos gefertigten EPDM-Kompressionsdichtung. Zwei in die Edelstahlmanschette integrierte Getriebemechanismen lassen die Manschette durch das Aufweiten mit einem Quick-Lock Versetzpacker auflaufen und verhindern nach Aufbringen der optimalen Kompression durch einen Sperrmechanismus ein Zurücklaufen der Manschette.

Während des Aufspannprozesses kann man das „Klicken“ der Zahnräder hören (s. Bild 95 rechts). Der Sperrmechanismus arbeitet nahezu stufenlos.

Die Quick-Lock-Manschetten werden mit entwickelten und auf die Manschetten abgestimmten, druckluftbetriebenen Packern versetzt. Der Versetzpacker wird über ein TV- oder Robotersystem an der Schadstelle positioniert, so dass die Manschette schließlich mit einem Applikationsdruck von 2,5 bis 3,5 bar aufgebracht werden kann.

Das Quick-Lock-Verfahren kann bei folgenden Schadensbildern eingesetzt werden:

- Rissbildungen (Längs, Radial- u. Querrisse)
- Undichte Muffen
- Lageabweichung / Muffenversatz
- Korrosionen / Abplatzungen / Verschleiß (Stahlbetonrohre mit freiliegender Bewehrung)
- Leckagen (Grundwassereinbruch In- u. Exfiltration)
- Verbesserung der Rohrstatik

Mit diesem System kann eine punktuelle sowie fortlaufende Sanierung durchgeführt werden. Bei einer punktuellen Sanierung wird im Gegensatz zur Serienversetzung keine Aufbördelung benötigt. Die Serienversetzung wird dann angewendet, wenn das Schadensbild länger ist als der Abstand zwischen den Dichtnoppen einer Einzelmanschette (s. Bild 96). In der Serienversetzung kann sowohl mit aufgebördelten als auch mit nicht aufgebördelten Manschetten gearbeitet werden, wobei die erste Manschette immer eine gegen die Fließrichtung aufgebördelte Manschette sein sollte [93].

Das Quick-Lock System kann, in Abhängigkeit des Rohrinnendurchmessers, bei Innendrücken bis zu 20 bar eingesetzt werden. Voraussetzung hierfür ist, dass die Rohrinnenfläche zum Abdichten geeignet ist.

Die Manschette weist laut Anbieter eine **baurechtliche Zulassung des DIBt** auf. Für Trinkwasseranwendungen existiert darüber hinaus eine **KTW-Zulassung**.

#### **Fazit:**

- Das Quick-Lock-Montagesystem ist laut UHRIG GmbH unabhängig vom **Leitungsmaterial** und für **Leitungsdurchmesser** von DN 150 bis DN 700 einsetzbar.
- Die **Reichweite** des Systems liegt zwischen 300m und 500m.
- **Bögen** können mit dem Quick-Lock System nicht saniert werden.
- Vor dem **Einsatz** des Quick-Lock Systems sind die jeweilige Haltung zu befahren und die Sanierungsmöglichkeit mit Quick-Lock zu prüfen.
- Es muss mindestens eine **Zugangsmöglichkeit** über einen Schacht oder eine Revisionsöffnung bestehen.
- Der zu begehende Schacht sollte mindestens eine Nennweite von DN 800 haben, um das **Einfädeln** vom Kamera-Packersystem zu gewährleisten.
- Die zu sanierende Haltung muss vor jedem Quick-Lock Einsatz mit einem **Hochdruckspüler** gereinigt werden.
- Verfestigte Ablagerungen, Wurzeleinwüchse, einragende Anschlussstutzen müssen durch geeignete Fräswerkzeuge entfernt werden. Die **Durchfahrbarkeit** der Haltung darf durch Hindernisse nicht eingeschränkt sein.
- Im Bereich der **Schadstellen** dürfen sich keine Feststoffe wie Sande oder Kiese befinden.
- Gemäß ATV-DVWK-M 143 Teil 7 [94] ist **grundsätzlich abwasserfrei** zu arbeiten, so dass die Haltung abzusperrern ist. Je nach Wassermenge kann auch in Ausnahmefällen ein Umpumpen erforderlich sein.

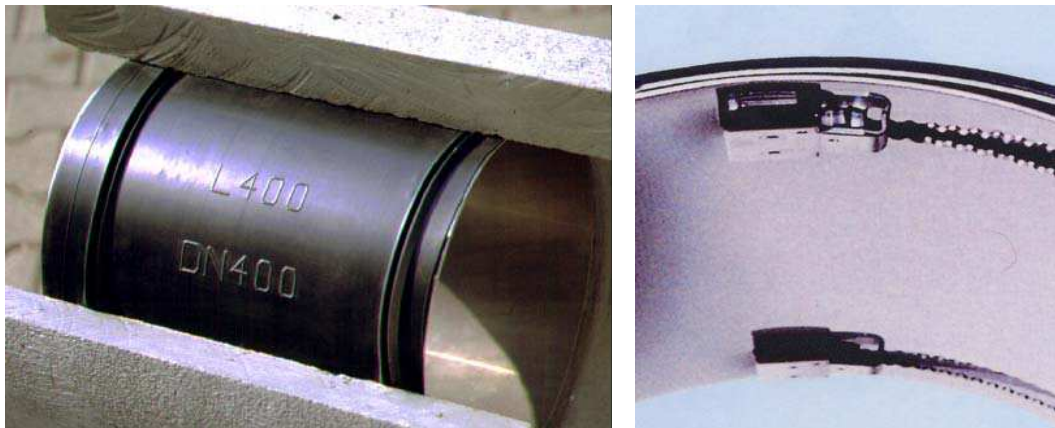


Bild 95 Kompressionsprinzip (links) sowie Edelstahlmanschette aufgerollt mit Zahnleisten und Sperrmechanismus (rechts) [93]

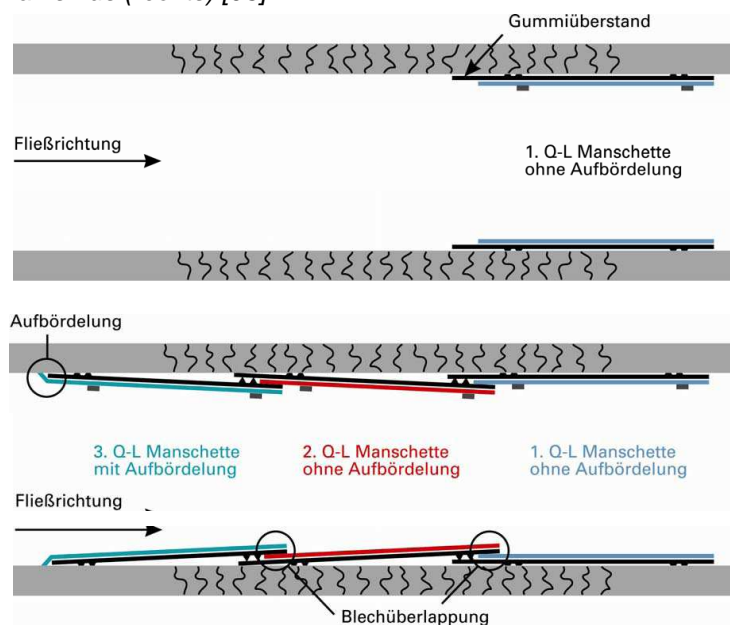


Bild 96 Serienversetzung Blech in Blech ohne Aufbördelung (oben) sowie mit Aufbördelung (unten) [2]

### 9.1.2 AMEX-Manschette

Die AMEX-Manschette ist laut dem Hersteller AMEX-10 GmbH ein mechanisches System zur Abdichtung von Rohrverbindungen und Undichtheiten für Leitungen oder Behälter sowie zur Verbindung von Linerenden mit dem Originalrohr. Das Material des Altröhres ist für die Montage nicht relevant.

Generell ist die Manschette für einen Betriebsinnendruck von 25 bar und einen Außendruck von 8 bar ausgelegt. Die Manschette besteht aus einer elastischen Gummimanschette aus EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Monomer) und hochfesten Edelstahlspannbändern. Das System kann in Rohrprofilen Kreis, Maul, Ellipse und Ei bei Trinkwasser, Rohwasser, Brauchwasser, kommunalem und industriellem Abwasser verspannt werden.

Zur Montage wird die Manschette im Rohr aufgestellt. Zwei Stahlringe aus rostfreiem Stahl werden dann in die Aussparungen der Manschette eingesetzt und mit Hydraulikstempeln

auseinander gepresst. Dieser Druck wird mechanisch fixiert und presst die Manschette dicht an die Rohrwand. Somit wird die Dichtfunktion manuell durch Aufbringen von radialen Spannkraften über die Spannringe realisiert.

Für das beste Dichtungsergebnis muss die Manschette auf eine glatte Rohrwand gepresst werden. Dazu ist im Vorfeld die Rohrwand von Korrosion und Verschmutzung zu befreien. Unebenheiten müssen ausgeglichen werden.

Die Manschette weist eine bauaufsichtliche Zulassung des DIBT (Z-42.3-474) und eine Trinkwasserzulassung (KTW, DVGW W 270, NSF, ACS, DWI, WRAS) auf. Als Nachweise sind die Hochdruckspülbeständigkeit und Druckbeständigkeit sowie die Dichtheitsprüfung der Rohrverbindungen (Versatz, Auswinkelung) zu nennen. [95]

### Mono-Manschette

Die AMEX-10 MONO Manschette wird laut Hersteller für Nennweiten von DN 500/600 bis DN 6000 eingesetzt und dient zur Abdichtung von Rohrverbindungen und Undichtheiten für Leitungen oder Behälter. Für Betriebsdrücke größer 25 bar besteht die Möglichkeit, Gewebeeinlagen in die Manschette einzusetzen. Außerdem kann bei drückendem Wasser oder Vakuum durch den Einsatz von statischen Hilfsmitteln die Manschette betriebssicher zum Einsatz gebracht werden. Bild 97 beschreibt den Aufbau der MONO Manschette.

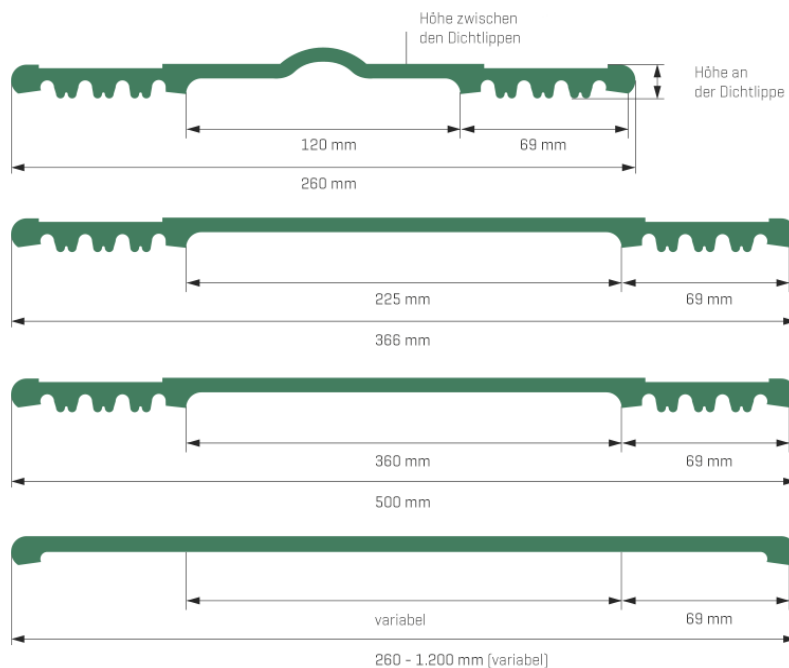


Bild 97 Aufbau der AMEX-10 MONO Manschette [95]

### Vario-Manschette

Die AMEX-10 VARIO Manschette basiert auf dem Dichtprinzip der AMEX-10 Mono Manschette. Hier kann allerdings laut dem Hersteller eine beliebig lange Strecke mit endlos vielen Manschetten zu einer beliebig langen Einheit aneinandergesetzt saniert werden. Durch eine formschlüssige Verzahnung mit der nächsten Manschette ist eine Verschiebung der Manschetten untereinander ausgeschlossen. Zur Fixierung wird immer eine MONO Manschette am Ende der langen Einheit gesetzt.

Im Vergleich zur MONO Manschette ist die VARIO Manschette für Nennweiten von DN 500 bis DN 4000 materialunabhängig zur Abdichtung von beliebig breiten Schadstellen, Längsrissen, Muffen und als Korrosionsschutz einsetzbar. Bild 98 beschreibt den Aufbau der VARIO Manschette. [95]

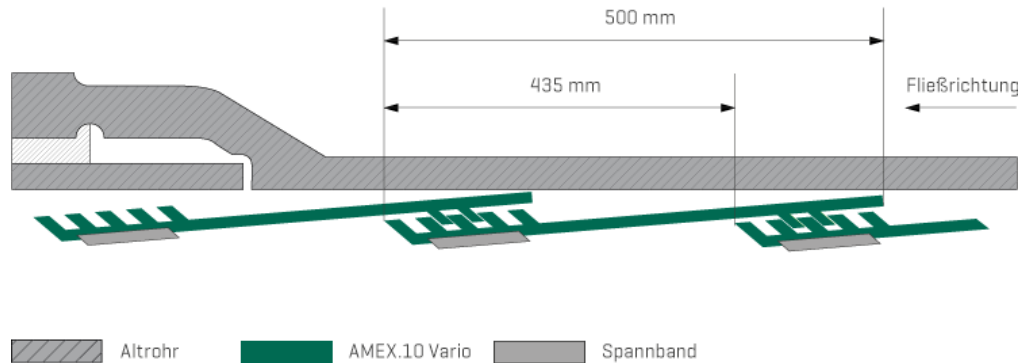


Bild 98 Aufbau der AMEX-10 VARIO Manschette [95]

### Fazit [95]:

- Die AMEX-10 Manschette ist laut dem Hersteller AMEX-10 GmbH unabhängig vom **Leitungsmaterial** und für **Leitungsdurchmesser** von DN 500/600 bis DN 6000 (MONO Manschette) und von DN 500 bis DN 4000 (VARIO Manschette) einsetzbar.
- Das Verfahren behebt Schäden im Rohr- und Muffenbereich auch bei starker Infiltration auf einer beliebigen **Länge**.
- Es muss eine **Zugangsmöglichkeit** über einen Schacht, eine Revisionsöffnung oder einer Baugrube bestehen.
- Das Sanierungsverfahren weist eine **Abdichtung** gegen In- und Exfiltrationen auf.
- Die eingebaute Manschette ist beständig gegen hohe Temperaturen.
- Die zu sanierende Teilhaltung muss **außer Betrieb** genommen sowie **entleert** werden.
- Die Rohrrinnenwand muss im Vorfeld von Korrosion und Verschmutzung befreit werden. Unebenheiten müssen ausgeglichen werden.
- Die **Ermittlung** der Position der Schadstelle erfolgt im Vorfeld durch eine TV-Kamera Inspektion oder einer Begehung.

## 9.2 Renovierung / Erneuerung

Durch eine Renovierung werden Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und -kanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz ergriffen. [90]

Erneuerung definiert sich als "Herstellung neuer Abwasserleitungen und -kanäle in der bisherigen oder einer anderen Linienführung", wobei die neuen Anlagen die Funktion der ursprünglichen Abwasserleitungen und -kanäle einbeziehen. [90]

### 9.2.1 DynTec

Das DynTec-Verfahren ist laut dem Dienstleister LUDWIG PFEIFFER ein grabenloses Neuverlegungsverfahren ohne Ringraum für Gas-, Wasser- und Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 65 bis DN 1200 und für SDR-Klassen von SDR 33 – SDR 11. [96]

Die alte Leitung wird nur als Verlegetrasse benötigt, somit kann das Verfahren bei allen Schadensarten außer der Verformung angewendet werden. Die Verlegung erfolgt gemäß DVGW GW 320-2 [97]. Bögen sind abhängig vom Radius. Bei Formstücken mit üblichen 3-5 x D muss grundsätzlich aufgedrückt werden. Feldbögen mit 30-40 x D können auch mit 90° noch durchfahren werden.

Mit dem DynTec-Verfahren lassen sich Streckenlängen bis zu 1000 m realisieren.

Vor dem Einbau muss die zu sanierende Leitung gereinigt, mit einer TV-Kamera inspiziert und kalibriert werden. Als nächstes wird ein PE-Rohrleitungsstrang durch einen konischen Gesenkring gezogen. Die eingebrachten Zugkräfte müssen dabei stets überwacht werden [98].

Nach dem Erreichen der Endlage wird die Winde entspannt und das Material weitet sich von selbst wieder auf und legt sich dabei „close-fit“ an die Altleitung. Der gesamte Innendurchmesser wird dabei ausgenutzt. Nach der Druckprüfung erfolgt die Einbindung mit handelsüblichen Formteilen in das bestehende Netz (s. Bild 99).

Das Endprodukt entspricht einer Neuverlegung in der entsprechenden Rohrreihe.

#### **Fazit:**

- Das DynTec-Verfahren ist laut dem Hersteller LUDWIG PFEIFFER Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG bei Rohren mit einem **Leitungsmaterial** aus Stahl, Guss, Keramik oder Beton und einem **Leitungsdurchmesser** von DN 65 bis DN 1200 einsetzbar.
- Es müssen **Zugangsmöglichkeiten** in Form von Baugruben erstellt werden.
- Die **Reichweite** kann bis zu 1000m am Stück liegen.
- **Bögen** bei 30 – 40 x D sind bis zu 90° möglich.
- Vor dem Einbau ist eine **Reinigung** notwendig.
- Die **Ermittlung der Position** der Schadstelle erfolgt durch eine TV-Inspektion.
- Die **Qualität** des Neurohrs entspricht der Verlegung einer statisch selbsttragenden, neuen Leitung.

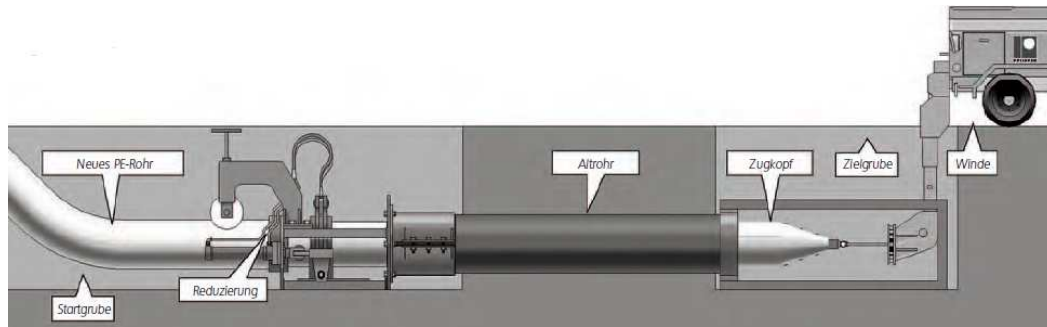


Bild 99 DynTec als grabenlose Neuverlegung [98]

### 9.2.2 Subline

Das Subline-Verfahren ist laut dem Dienstleister LUDWIG PFEIFFER eine Sanierungstechnik ohne Ringraum, für Rohrleitungen im Nennweitenbereich von DN 75 bis DN 1600 geeignet und wird zur Sanierung von Undichtheiten und zur Vermeidung von Innenkorrosion eingesetzt.

Die Rohrleitung muss gereinigt und mit einer TV-Kamera optisch inspiziert werden.

Ein PE-Liner (PE80 oder PE100), der zuvor über eine Falmmaschine gezogen und dabei c-förmig axial zusammengerollt wird, wird in das Altrohr eingezogen. Diese Verformung kann entweder im Werk oder auf der Baustelle stattfinden. Haltebänder fixieren den zusammengerollten PE-Liner, so dass er sich nicht vorher wieder zurückverformt.

Durch einen beaufschlagter Innendruck springen die Haltebänder nach dem Einzug auf. Der Liner dehnt sich nun bis an die Rohrwand aus (close-fit) (s. Bild 100). [99]

#### **Fazit:**

- Das Subline-Verfahren ist laut dem Hersteller LUDWIG PFEIFFER Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG bei einem **Leitungsdurchmesser** von DN 75 bis DN 1200 einsetzbar.
- Die **Reichweite** kann mehr als 1000m betragen.
- **Bögen** können bis zu 45° durchfahren werden.
- Zuvor sind eine **Reinigung** und eine Kamera-Untersuchung notwendig.
- Die **Wandstärke** des zu sanierenden Rohres kann 3 bis 20mm betragen.
- Die Verformung findet ohne Erwärmung statt.
- Zugangsmöglichkeit über Baugrube.

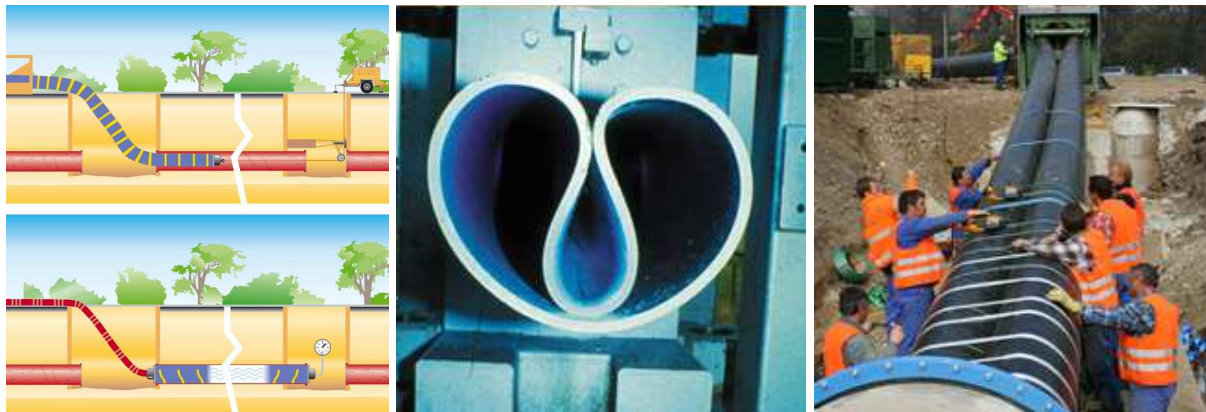


Bild 100 Einzug und Rückverformung des Liners (links), Verformung des Liners (mitte), Einzug des Liners (rechts) [99]

### 9.2.3 Slipline

Das Slipline-Verfahren, das zur Sanierung von Rohrleitungen mit Ringraum verwendet wird, kommt bei Rohren im Nennweitenbereich von DN 100 – DN 1000 zum Einsatz.

Die zu sanierende Rohrleitung wird laut dem Dienstleister LUDWIG PFEIFFER zunächst gereinigt und mit einer TV-Kamera inspiziert. Hindernisse müssen entfernt werden.

Rohre, die einen kleineren Durchmesser als das Altrohr haben, werden zu einem Strang per Stumpfschweißung verbunden und am Zugkopf befestigt. Anschließend wird dieser Rohrstrang mittels einer Winde, und bei Bedarf mit Hilfe von einem Gleitmittel, in das Altrohr eingezogen (s. Bild 101). [100]

Um eine Überbelastung des PE's auszuschließen, wird die Zugkraft während des gesamten Einzugs überwacht. Der Ringraum zwischen Alt- und Neurohr wird mit einem Dämmstoff verpresst. Es entsteht ein eigenständig tragfähiges Rohr.

Das Slipline-Verfahren kann auch bei nicht mehr tragfähigen Rohrleitungen eingesetzt werden.

#### Fazit:

- Das Slipline-Verfahren ist laut dem Hersteller LUDWIG PFEIFFER Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG bei **Druckstufen** bis 16 bar und einem **Leitungsdurchmesser** von DN 100 bis DN 1200 einsetzbar.
- Als **Neurohr** entsteht ein eigenständig tragfähiges Rohr.
- Die zu sanierende Rohrleitung muss im Vorfeld **gereinigt** und mit einer TV-Kamera **inspiziert** werden.
- Auch bei statisch nicht mehr tragfähigen Leitungen einsetzbar.
- Zugangsmöglichkeit über Baugrube.

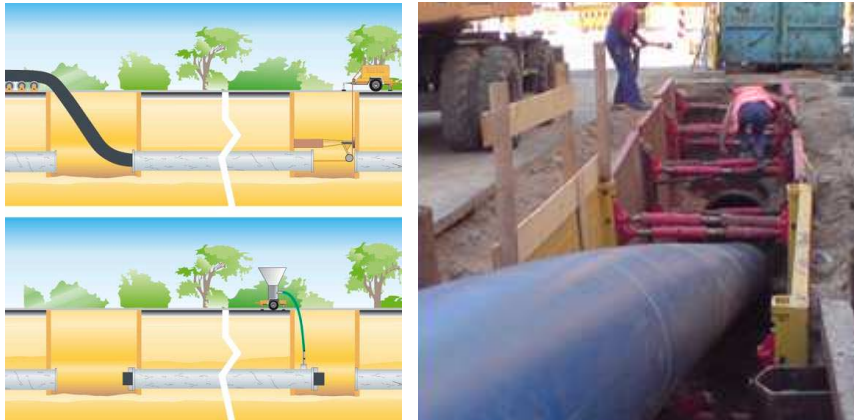


Bild 101 Einzug des Liners [100]

#### 9.2.4 Compact Pipe

Das Compact Pipe-Verfahren ist laut dem Hersteller Wavin ein Rohrsystem zur grabenlosen Erneuerung und eignet sich für Sanierungen von Rohrleitungen aus Stahl, Guss, Keramik und Beton im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 500 [101]. Das Verfahren wird vorrangig bei Kreisprofilen angewendet.

Die Compact Pipe wird bei verschiedensten Schadensbildern eingesetzt:

- Undichtheiten
- Korrosion
- Mechanischer Verschleiß
- Risse
- Rohrbrüche

Die zu sanierende Rohrleitung wird außer Betrieb gesetzt und gereinigt. Nach einer Inspektion mittels einer TV-Kamera erfolgt die Kalibrierung.

Damit das Rohr in das Altrrohr eingebracht werden kann, wird es zunächst im Querschnitt reduziert. Dazu wird ein rundes PE-Rohr c-förmig axial verformt, wobei die Falte aus einbautechnischen Gründen an der Seite liegt. Auf diese Weise ist eine Reduzierung des Querschnitts bis zu 35% möglich. Nach dem Einzug wird die Rohrleitung dann mit Dampf erwärmt, damit sich das Neurohr beim Abkühlen wieder zurück verformt und „close-fit“ an das Altrrohr anlegt (s. Bild 102). Das Ergebnis ist ein statisch eigenständiges und belastbares Rohr[102].

#### Fazit:

- Compact Pipe eignet sich laut der DIRINGER & SCHEIDEL ROHRSANIERUNG GmbH & Co. KG für **Leitungsmaterialien** wie Guss, Stahl, Keramik oder Beton und einem **Leitungsdurchmesser** von DN 100 bis DN 500.
- Die Tiefbauarbeiten beschränken sich auf kleine **Einzugs- und Zielgruben**.

- Es kann eine **Reichweite** von bis zu 600m (nennweitenabhängig) erreicht werden.
- **Bögen** sind bis zu 45° möglich.
- Die **Qualität** und Lebenserwartung des sanierten Rohres entsprechen laut Hersteller denen eines Neurohres.
- Vor dem Einbau muss die Leitung **außer Betrieb** genommen und **gereinigt** werden.
- Die **Ermittlung der Position** der Schadstelle erfolgt durch eine TV-Inspektion.



Bild 102 Einzug des Rohr-in-Rohr (links), Compact Pipe Verfahren (rechts) [102]

### 9.2.5 D&S Gewebeslauchrelining

Das Gewebeslauch-Verfahren eignet sich laut der Firma Diringer & Scheidel für Abwasserdruckleitungen aus Stahl, Grauguss und duktilem Guss im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 1000.

Zu Beginn der Sanierung wird eine Start- sowie eine Zielgrube erstellt. Die zu sanierende Rohrleitung muss außer Betrieb genommen und mechanisch vorgereinigt werden.

Ein Gewebeslauch wird auf der Rollenbahn mit einem Zwei-Komponenten-EP-Harz befüllt und durch einen definierten Walzenspalt in die Inversionstrommel kalibriert. Dieser Vorgang dauert in etwa 70 Minuten.

Für den Inversionsvorgang wird der Schlauch an der Austrittsstelle der Inversionstrommel umgestülpt, damit die mit Harz getränkte Seite außen liegt. Der Schlauch wird in die Rohrleitung eingeführt. Eine Vorrichtung am Ende der Rohrleitung sorgt dafür, dass der Gewebeslauch nicht unkontrolliert in die Zielgrube schießt. Ist der Schlauch in seiner endgültigen Position, muss er in seiner neuen Umgebung nur noch aushärten (s. Bild 103). [103]

Der Liner wird an Start- und Zielgrube aufgeschnitten und an die Altleitung angebunden.

#### Fazit:

- Das Gewebeslauch-Verfahren kommt laut der DIRINGER & SCHEIDEL ROHRSANIERUNG GmbH & Co. KG bei **Leitungsmaterialien** wie Stahl, Grauguss

und duktilem Guss und einem **Leitungsdurchmesser** von DN 100 bis DN 1000 zum Einsatz

- Als **Zugangsmöglichkeiten** muss eine Start- sowie eine Zielgrube erstellt werden.
- Als **Reichweite** sind 250 m und mehr möglich.
- **Bögen** können bis zu 45° passiert werden.
- Die zu sanierende Haltung muss **außer Betrieb** genommen werden.
- Vor dem Einbau muss das Rohr **mechanisch vorgereinigt** werden.
- Der Gewebeslauchliner ist laut Anbieter **nicht eigenständig tragfähig**, sondern wirkt lediglich als Abdichtung sowie Korrosionsschutz.
- Die **Ermittlung der Position** der Schadstelle erfolgt im Vorfeld durch eine TV-Inspektion.



*Bild 103 Der Liner kommt am Rohrende an (links), fertiggestellter Liner nach der TV-Befahrung (mitte), Der Liner wird zur Zwei-Komponenten Harzbefüllung auf dem Förderband vorbereitet (rechts) [103]*

### 9.2.6 DS CityLiner

Das DS-Cityliner-Verfahren eignet sich laut der Firma DIRINGER & SCHEIDEL für fast alle Schadensarten von Rohrleitungen im Nennweitenbereich von DN 200 bis DN 800 mit jedem Querschnitt, und kann ebenso für Druckleitungen verwendet werden.

Die entsprechenden Leitungsabschnitte werden mit Robotertechnik vorbereitet, hydrodynamisch gereinigt und mit einer TV-Kamera inspiziert.

Ein Nadelfilzschlauch wird in einer mobilen Tränkanlage in Epoxidharz unter Vakuum getränkt und anschließend kontrolliert kalibriert. Der Schlauch wird mittels Druckluft oder Wasserdruck in die Haltung eingestülpt. Ein Aufheizen sorgt für die Aushärtung des Harzes. Zuletzt öffnet ein Fräseboter die vorhandene Anschlussleitung (s. Bild 104). [104].

**Fazit:**

- Das DS-Cityliner-Verfahren ist laut der DIRINGER & SCHEIDEL ROHRSANIERUNG GmbH & Co. KG unabhängig vom **Leitungsmaterial** und anwendbar bei Rohrleitungen mit einem **Leitungsdurchmesser** von DN 200 bis DN 800.
- Das Verfahren kann bei allen **Querschnitten** angewandt werden.
- Die **Reichweite** kann mehr als 300m betragen.
- Vor dem Einbau erfolgt eine hydrodynamische **Reinigung** der Leitungsabschnitte.
- Die **Ermittlung der Position** Der Schadstelle erfolgt mittels einer TV-Inspektion.
- Zugangsmöglichkeit über Schacht oder Baugrube.



Bild 104 Rollenbahn (links), Einführung des Schlauchliners in ein Eiprofil (mitte), über einen Inversionsturm wird der Inliner in die Haltung eingebracht (rechts) [104]

### 9.2.7 RS BlueLiner®

Das RS BlueLine-System ist laut der Firma RS Technik ein Schlauchliner-Sanierungsverfahren (Rohr-in-Rohr Sanierung) für die grabenlose Sanierung von Trinkwasserleitungen und anderen Druckleitungssystemen.

Das BlueLine-Verfahren wird bei Rohrleitungen im Nennweitenbereich DN 100 bis DN 1000 bei Wandstärken zwischen 5 und 21mm eingesetzt.

Vor der Installation des Schlauchliners ist eine Reinigung der Altleitung zwingend erforderlich.

Ein flexibler Schlauchträger wird mit zwei-komponenten-Epoxidharz imprägniert, bevor er in die zu sanierende Leitung eingebracht wird. Nach dem Einbau sorgt eine Wärmezufuhr mit Dampf für die Aushärtung des Harzes. Man unterscheidet beim Blue-Line-Verfahren zwischen dem Blue-Line-Inversionsverfahren, bei dem die Inversion mit Druckluft oder einer hydraulischen Wassersäule erfolgt, und dem Blue-Line-Pull-In-Verfahren, welches bei größeren Rohrdimensionen zum Einsatz kommt (s. Bild 105). Der Liner wird mit einer Winde eingezogen und durch die Inversion eines Kalibrierschlauches aufgestellt [105].

Nach dem Aushärten wird der Liner am Start- und am Endpunkt aufgeschnitten und mit unterschiedlichen Verbindungstechniken am Altrrohr angebunden.

Das Neurohr ist dabei laut Anbieter unabhängig vom Altrrohr, alleine tragfähig und übernimmt alle Lasten. Ein expliziter Nachweis für diese Eigenschaft konnte an dieser Stelle nicht recherchiert werden.

### Fazit:

- Das Blue-Line-Verfahren ist laut der RS Technik AG für Leitungen im **Nennweitenbereich** von DN 100 bis DN 1000, einer **Wandstärke** von 5 – 21mm und einem **Druck** bis 16 bar einsetzbar.
- Die **Reichweite** kann bis zu 200 m betragen.
- maximaler Arbeitsdruck bis 10 bar; bei DN ≤ 300 bis 16 bar.
- **Bögen** bis 45° (>45° führt zu größerer Faltenbildung), Radius > 5 x DN führt zu nahezu faltenfreiem Ergebnis.
- Vor der Installation ist eine **Reinigung** der Altleitung erforderlich.
- „Das BlueLine-System erfüllt die **Bestimmungen** des DVGW-Arbeitsblattes W270 sowie der "Leitlinie des Umweltbundesamtes zur hygienischen Beurteilung von organischen Materialien im Kontakt mit Trinkwasser" (KTW-Leitlinie)“ [105].

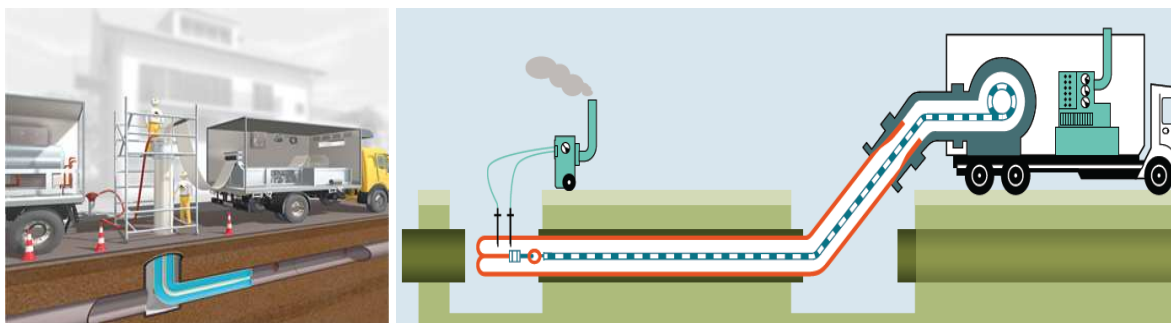


Bild 105 Inversion mit Wassersäule (links), Inversion mit Drucktrommel (rechts) [105]

### 9.2.8 Swagelining-Verfahren

Das Swagelining-Verfahren kommt bei Innenkorrosion und Undichtheiten, zur Korrosionssicherung und zur Erhöhung des Nenndrucks von Rohrleitungen im Nennweitenbereich von DN 80 – DN 1200 zum Einsatz [106,107].

Die zu sanierende Rohrleitung muss gereinigt, mit einer TV-Kamera inspiziert und anschließend kalibriert werden.

Für den Einbau erfolgt eine Durchmesserreduzierung mittels einer Brennkammer (s. Bild 106 mitte). Diese erzeugt 100°C heiße Luft, die in die Heizstrecke geleitet wird. Während der PE-

HD-Rohrstrang die Heizstrecke passiert, heizt sich das Material auf 70°C auf. Das nun formbare Rohr wird mittels einer Winde unter Aufrechterhaltung einer konstanten Zugkraft durch das konisch zulaufende Gesenk gezogen. Damit ist eine 10%-ige Reduzierung des Querschnitts möglich (s. Bild 106 rechts).

Der Liner wird unter Wärmezufuhr und einer Zugkraft eingezogen (s. Bild 106 links). Nach dem Erreichen der Endlage wird die Winde entspannt und das Rohr legt sich „close-fit“ an das Altrohr an. Der typische Ringspalt tritt nicht auf.

Möchte man Zeit und Energie einsparen, ist es auch möglich, eine Weiterentwicklung des Verfahrens anzuwenden, bei dem auf die Erwärmung des Rohrstranges verzichtet wird. Da die Kaltumformung höhere Windenzugkräfte erfordert, wird sie durch eine hydraulische Greif- und Pressvorrichtung unterstützt. Zur weiteren Reduzierung der Zugkräfte kann das Gesenk mit einem Gleitmittel versehen werden.

### Fazit:

- Das Swagelining-Verfahren ist laut DIRINGER & SCHEIDEL ROHRSANIERUNG GmbH & Co. KG für Rohrleitungen mit einem **Leitungsdurchmesser** von DN 80 bis DN 1200 anwendbar.
- Die **Reichweite** kann bis zu 1000m betragen.
- Vor dem Einbau ist eine **Reinigung** der zu sanierenden Leitung notwendig.
- Die **Ermittlung der Position** der Schadstelle erfolgt mittel einer TV-Inspektion.
- **Bögen** können bis aufgrund der geringen Vorverformung kaum durchfahren werden.
- Als **Zugangsmöglichkeit** müssen Baugruben geschaffen werden.



Bild 106 Einzug des PE-HD-Rohrstrangs in das Altrohr (links), Reduktionsverfahren mit thermisch-mechanischer Durchmesserreduzierung (mitte), Blick auf die Startbaugrube - Zustandsformen des Rohres: aufgeweitet (rechts) [107]

### 9.2.9 Saertex-Liner® Premium

Bei dem SAERTEX-LINER® Premium handelt es sich laut Firma SAERTEX multiCom® um einen GFK-Liner mit styroldichter Innenbeschichtung für die grabenlose Sanierung von Frei-

spiegel- und Druckrohrleitungen. Er wird im Nennweitenbereich von DN 200 bis DN 1260 eingesetzt. [108]

Der Vorteil des SAERTEX-LINER® Premium ist laut Hersteller neben hohen mechanischen Kennwerten die nach der Aushärtung im Liner verbleibende Innenbeschichtung. Im Gegensatz zu bisherigen GFK-Linern, bei denen nach der Aushärtung die Innenfolie gezogen werden muss, wird beim Einbau des SAERTEX-LINER® Premium durch Wegfall dieses Arbeitsschrittes von einer hohen Zeitersparnis auf der Baustelle profitiert. Die Innenbeschichtung ist zudem ein weiterer Baustein, der nach Herstellerangaben eine 100%ige Dichtheit des Liners unterstützt. Ebenfalls ermöglicht die Innenbeschichtung das Einbringen der Lichterkette zur Aushärtung des Liners auch bei schwierigen örtlichen Begebenheiten.

Die Einsetzbarkeit des GFK-Liners im Druckbereich wurde im ersten Schritt im Gutachten Nr. III/6-9812 (Kurzzeit-Widerstandsfähigkeit gegen Innendruck) durch Herrn Prof. Dr.-Ing. Volker Wagner von der Hochschule Wismar untersucht. Nach der Bestätigung dass die Durchführung der grabenlosen Sanierung von Druckrohrleitungen im Kühl-, Regen- und Abwasserbereich mit dem SAERTEX-LINER® Premium möglich sei, folgten erste reale Bauvorhaben.

Bei der Installation des SAERTEX-LINER® Premium wird - wie auch bei anderen grabenlosen Sanierungsverfahren - im Vorfeld die Leitung mittels Hochdruckspülverfahren gereinigt und damit Ablagerungen entfernt. Sollten darüber hinaus Gegenstände in die Rohrleitung einragen, müssten diese z.B. mit einem Fräßroboter entfernt werden. Eine herzustellende metallisch blanke Oberfläche ist bei der Sanierung mittels des SAERTEX-LINER® Premium nicht notwendig, weil es sich bei dem Produkt um einen „stand alone“ Liner handelt und nicht um ein verklebtes Produkt. Anschließend wird im Zuge der optischen Vorbefahrung ein Seil in das Altrrohr eingezogen. Nach dem darauf folgendem Einzug des Liners mittels einer Seilwinde vom Start- zum Zielschacht werden an den Liner-Enden Packer sowie Verbindungsschläuche und verfahrensspezifische Messfühler montiert.

Der Liner wird anschließend mittels Druckluft zur Anpassung an die Altrrohrwandung aufgestellt (Close-Fit-Verfahren). Die Aushärtung erfolgt daraufhin entweder mit Wasserdampf oder UV-Licht.

Ein weiterer Schritt zur Sanierung sollte die dauerhafte Anbindung des Liners sein: Hier empfiehlt der Hersteller den Einsatz einer Liner-Endmanschette, wie z.B. die Quick-Lock-Manschette.

Derzeit werden weitere Optimierungen und Versuche hinsichtlich der Einsetzbarkeit in unterschiedlichen Bereichen wie z.B. Trinkwasser- und Gasdruckleitungen durchgeführt. Unter anderem in enger Zusammenarbeit mit dem Labor für Rohrsystemprüfungen der IMA in Dresden. Hier wird z.B. die Bestimmung der Langzeit-Widerstandsfähigkeit in einem 10.000 h-Test durchgeführt, wobei die Ergebnisse noch ausstehen. Berstprüfungen konnten bereits nach ISO 8521:2009, Verfahren A, erfolgreich durchgeführt werden. Beim SAERTEX-LINER® Premium konnte bei diesem Test ein Versagensruck erst bei 74,8 bar (Typ S+XR, DN 300) festgestellt werden.

**Fazit:**

- Das SAERTEX-LINER® Verfahren ist laut Hersteller bei Rohrleitungen mit einem **Leitungsdurchmesser** von DN 200 – DN 1260 anwendbar
- Der Liner weist eine **Wanddicke** von 3 mm bis 12 mm auf.
- Zeitnah wird es eine **Erweiterung** des **Leitungsdurchmessers** auf DN 1600 und der **Wanddicke** auf 15 mm geben.
- Die **Reichweite** kann bis zu 500 m betragen (Linerlänge).
- 100%ige **Dichtheit** soll durch die zusätzliche Innenbeschichtung unterstützt werden.
- **Sicherheit** wird durch einer Imprägnierung im Werk, langer Lagerstabilität und durchgängiger Qualitätssicherung gewährleistet.
- Durch das **Close-fit-Verfahren** liegt der Liner eng an die Rohrwand an.
- **Bögen** bis zu 15° können passiert werden.
- Vor dem Einbau wird die Leitung **außer Betrieb** genommen und nach Herstellerangaben **gereinigt** .



**SAERTEX-LINER®  
PREMIUM**

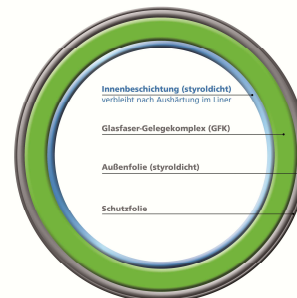


Bild 107 Neu installierter Liner (links,) Druckliner mit Quick-Lock Linerendmanschette nach einigen Jahren Betriebsdauer (mitte), Lineraufbau (rechts) [109]

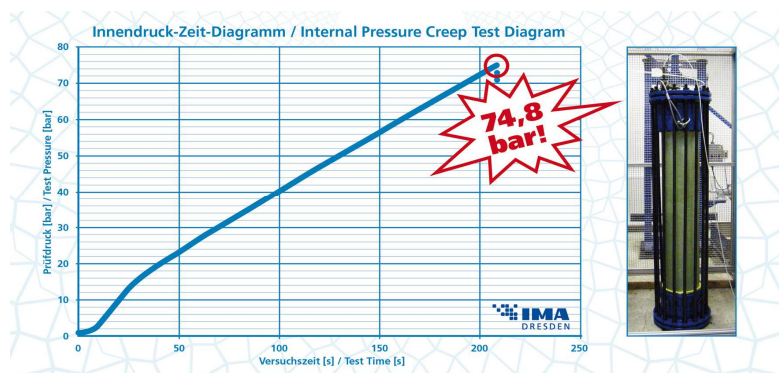


Bild 108 Berstversuch (Innendruck-Zeit-Diagramm, IMA) [109]

### 9.2.10 Rolldown Verfahren

Rohrstrangrelining im Rolldown-Verfahren wird laut der Firma LUDWIG PFEIFFER im Bereich von DN 100 bis DN 500 eingesetzt. [110].

Der Inliner besteht aus PE-Rohren, die vor Ort im Stumpfschweißverfahren verbunden werden. Um einen Einzug zu ermöglichen, wird der Querschnitt des Inliners in der Rolldown-Maschine mechanisch verringert. Hierzu wird dieser mit Hilfe einer hydraulisch angetriebenen Greifvorrichtung durch zwei oder bei größeren Nennweiten durch drei um 90° gegeneinander versetzte Halbkugelwalzenpaare (s. Bild 109 rechts) geschoben [111]. Mit ihren paarweise angeordneten Rollen bewirkt die Maschine eine Reduktion des Durchmessers um bis zu 10 %. Die Geschwindigkeit der Verformung beträgt ein bis drei Meter pro Minute [110].

Das Einbringen des Rohrstranges erfolgt sowohl ziehend mit einer Winde (s. Bild 110) als auch schiebend mit Hilfe der Pressvorrichtung (s. Bild 109 mitte). Die zulässige Zugspannung von 8 N/mm<sup>2</sup> im Rohrquerschnitt darf nicht überschritten werden [111].

Für die Rückverformung werden auf die Enden des Rohrstranges Endverschlüsse, z.B. Vorschweißbunde aus PE-HD mit Losflansch, stumpf aufgeschweißt. Nachdem die Leitung mit Wasser gefüllt ist, erfolgt der Aufweitungsprozess durch eine intermittierende Innendruckbeaufschlagung mit Hilfe eines Kompressors oder einer Hochdruckpumpe [111]. Dadurch dehnt sich der Inliner wieder auf seinen ursprünglichen Durchmesser aus und legt sich close-fit an die Rohrwand an [110].

Das Ergebnis ist eine Leitung in Neurohrqualität, welche laut Hersteller keinerlei Tragfähigkeit der Altrohrleitung erfordert. Das PE-Material garantiert hervorragende hydraulische Eigenschaften sowie eine hohe Korrosionssicherheit [110].

#### **Fazit:**

- Das Rolldown Verfahren ist laut dem Hersteller LUDWIG PFEIFFER Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG unabhängig vom **Leitungsmaterial** und für **Leitungsdurchmesser** von DN 100 bis DN 500 einsetzbar.
- **Bögen** können mit dem Rolldown Verfahren passiert werden, wenn diese einen Radius nicht größer 45° aufweisen.
- Die **Reichweite** des Liners kann bei gerader Verlegung bis zu 1.000m am Stück liegen.
- Es muss eine **Zugangsmöglichkeit** über eine Baugrube für den Einlass geschaffen werden. Für die Winde ist lediglich ein Zugang über eine Schacht- oder Revisionsöffnung nötig.
- Der Liner kann auch bei statisch nicht mehr tragfähigen **Rohrleitungen** eingesetzt werden.
- Die **Verformung** findet ohne Erwärmung statt. Stattdessen wird der close-fit an die Altrohrleitung mit Wasserdruck gepresst.
- Die zu sanierende Haltung muss **außer Betrieb** genommen sowie **entleert** werden.

- Die zu sanierende **Haltung** muss vor dem Liner Einzug gereinigt werden, um einen möglichst fließenden Gleitzustand des Einzuges zu erlangen.
- Durch den Liner-Einzug entsteht laut Hersteller eine hervorragende **Hydraulik** durch glatte Innenflächen. Außerdem treten keine Probleme durch **Korrosion** von innen auf.



Bild 109 Mechanische Reduzierung des Rohrstrangdurchmessers durch Halbkugelwalzenpaare (links und rechts) sowie der Einzug in das bestehende Altrohr durch eine Pressvorrichtung (mitte) [110]

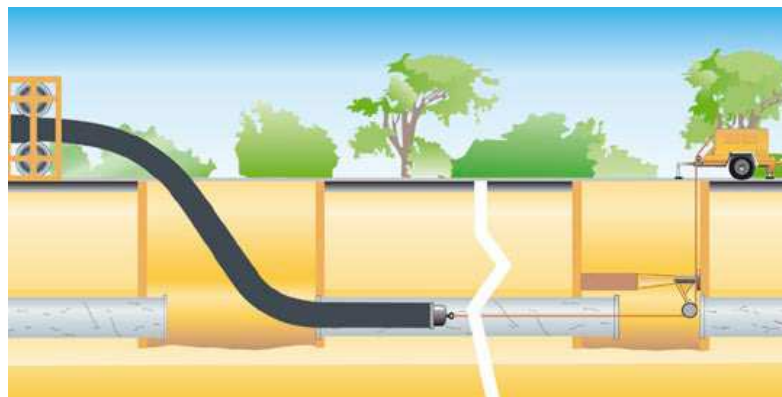


Bild 110 Roll-down-Verfahren mit Einzug und Ausgangsseite [110]

### 9.2.11 U-Liner aus PE-HD

Unter den Markennamen U-Liner liefert REHAU nach eigenen Angaben praxiserprobten Close-Fit-Liner für die grabenlose Sanierung von Druckleitungen für Trinkwasser und Abwasser sowie von Abwasserkanälen.

U-Liner ist ein Rohrstrangrelining-Verfahren, mit dem die dauerhafte Sanierung langer Strecken und großer Durchmesser möglich ist. Typisch für das U-Liner-Verfahren ist die U-förmige Verformung des Inliners (s. Bild 111 links). Mit einer Walze wird der PE-Liner verformt und so im Querschnitt verringert, dass er durch das Altrohr geführt werden kann. Da die Verformung im elastischen Bereich des Materials stattfindet, wird der verformte Inliner mit Haltebändern fixiert. Die Haltebänder sind ebenfalls aus PE, damit sie die Außenwand des Rohres nicht beschädigen.

Die Liner werden durch Schächte oder kleinste Baugruben in die bestehende Leitung eingezogen und definiert erwärmt, so dass sich die Liner rückstellen und an die alte Leitung close-fit anpassen.

Nach der Verlegung sitzen die Liner ohne signifikanten Ringspalt in der alten Leitung und erfüllen als Neurohre eigentragfähig die Anforderungen an Statik und Betriebsdrücke bis max. 10 bar. Bei größeren Beanspruchungen übernehmen die U-Liner den Schutz der Leitung vor Innenkorrosion und Inkrustation.

Der Vorteil der grabenlosen Sanierung liegt zum einen in der Schonung der Baubestände, Verkehrsflächen und historischen Bausubstanzen und zum anderen in der geringen Verkehrsbehinderung und Belästigung durch kleinste Baustellen [112].

#### **Fazit:**

- Das U-Liner Verfahren ist laut dem Hersteller REHAU AG + Co unabhängig vom **Leitungsmaterial** und für **Leitungsdurchmesser** von DN 100 bis DN 400 einsetzbar.
- **Bögen** können mit dem U-Liner Verfahren passiert werden, wenn diese einen Radius nicht größer 30° aufweisen.
- Die **Reichweite** des Liners kann bis zu 600m betragen.
- Es muss eine **Zugangsmöglichkeit** über eine Baugrube für den Einlass geschaffen werden. Für die Winde ist lediglich ein Zugang über eine Schacht- oder Revisionsöffnung nötig.
- Der Liner kann auch bei statisch nicht mehr tragfähigen **Rohrleitungen** eingesetzt werden. Er besitzt die Qualität eines Neurohres mit einer Lebensdauer von mindestens 50 Jahren.
- Das Verfahren wird durch einen schnellen Einbau – durch große Stranglängen - geprägt.
- Die zu sanierende Haltung muss **außer Betrieb** genommen sowie **entleert** werden.
- Die zu sanierende **Haltung** muss vor dem Liner Einzug gereinigt werden, um einen möglichst fließenden Gleitzustand des Einzuges zu erlangen.
- Durch den Liner-Einzug entsteht glatte Innenflächen.



Bild 111 Verformter U-Liner (links) sowie das Verlegeverfahren (rechts) [112]

### 9.2.12 Omega-Liner®

Der Omega-Liner ist laut der Firma PREUSS GmbH ein grabenloses Reliningverfahren zur Sanierung defekter Abwasserkanäle und Druckleitungen im Bereich von DN 150 bis DN 450. Dieser wird werkseitig um ca. 30-40% vorübergehend in seinem Querschnitt reduziert. Ein Vorteil der Vorverformung ist die Möglichkeit das Relining ohne große Zugkräfte und ohne Beschädigungen des Altrohres durchzuführen. Der vorgewärmte Reliningstrang kann dann direkt über Umlenkrollen mit einer Winde von der Haspel in die zu sanierende Rohrleitung gezogen werden (s. Bild 112), um anschließend durch Dampf- und leichtem Druckluft den Inliner in seine ursprünglich runde Form zu bringen. Er legt sich hierbei komplett close-fit an die Wandung des Altrohres an.

Der Omega-Liner besteht speziell für den Einsatz in der Rohrsanierung aus weichmacherfrei modifiziertem Polyvinylchlorid-Material, welches werkseitig unter Qualitätsanforderungen nach DIN EN ISO 9001 [113] verarbeitet wird.

Das Endergebnis der Omega-Sanierung sind Rohrleitungen, die eine hohe Festigkeit bei minimaler Querschnittreduzierung aufweisen. [114].

#### **Fazit:**

- Der Omega-Liner ist laut PREUSS GmbH unabhängig vom **Leitungsmaterial** und für **Leitungsdurchmesser** von DN 150 bis DN 450 einsetzbar.
- Die **Reichweite** des Liners kann bis zu 200 m betragen.
- **Bögen** können mit dem Omega-Liner passiert werden, wenn diese einen Radius nicht größer 45° aufweisen.
- Es muss eine **Zugangsmöglichkeit** über eine Baugrube für den Einlass geschaffen werden. Für die Winde ist ein Zugang über eine Schacht- oder Revisionsöffnung nötig.
- Die **Rückverformung** findet durch Erwärmung statt.
- Die zu sanierende Haltung muss **außer Betrieb** genommen sowie **entleert** werden.

- Die zu sanierende **Haltung** muss vor dem Liner Einzug gereinigt werden, um einen möglichst fließenden Gleitzustand des Einzuges zu erlangen.
- Eine **TV-Befahrung** ist im Vorfeld erforderlich.



Bild 112 Einzug des Omega Liners [114]

### 9.2.13 Zementmörtelauskleidung

Bei der Zementmörtelauskleidung von Trinkwasserleitungen gemäß DVGW-W 343 [115] handelt es sich laut der Firma Diringer & Scheidel ROHRSANIERUNG GmbH & Co. KG um ein Korrosionsschutz-Verfahren zur Wiederherstellung von Rohren aus verschiedenen Werkstoffen, die durch Inkrustationen und Korrosion in ihrer Funktionstüchtigkeit beeinträchtigt wurden. Das Verfahren findet seinen Einsatz bei materialunabhängigen Rohrleitungen der Nennweiten von DN 80 bis zu DN 3000. [116]

Um die Rohrrinnenwand mit Zement auskleiden zu können, muss im Vorfeld die Haltung außer Betrieb genommen und schließlich gereinigt werden. Anschließend wird das Beschichtungsmaterial durch einen schnell rotierenden Schleuderkopf gegen die Rohrwand geworfen. Ab einer Nennweite von DN 600 kann mit elektrisch angetriebenen, luftbereiften und selbstfahrenden Anschleudermaschinen ausgekleidet werden. Im Nennweitenbereich von DN 80 bis DN 600 kleidet man üblicherweise mit druckluftbetriebenen Motoren aus.

Aus einem Mischbehälter wird der Zementmörtel über einen Mörtelschlauch in den Schleuderkopf gepumpt. Durch radial angeordnete Bleche ist eine gleichmäßige Verteilung des Mörtels möglich. Durch ein im Vorfeld eingezogenes Zugseil kann mittels einer konstanten Zuggeschwindigkeit eine gleichmäßige und optimale Schichtstärke erreicht werden. Innerhalb von 24 bis 26 Stunden ist der Mörtel abgebunden. Im Anschluss kann die Leitung befüllt und in Betrieb genommen werden.

Der Ausschleudermörtel wird hergestellt aus Zement nach DIN 1164 [117], Quarzsanden mit einem Größtkorn von 1 mm und Wasser in Trinkwasserqualität. [116]

#### **Fazit:**

- Die Zementmörtelauskleidung ist laut Diringer & Scheidel unabhängig vom **Leitungsmaterial** und für **Leitungsdurchmesser** von DN 80 bis DN 3000 einsetzbar.

- Ab einer Nennweite von DN 600 kann mit elektrisch angetriebenen, luftbereiften und selbstfahrenden Anschleudermaschinen ausgekleidet werden.
- Innerhalb von 24 bis 26 Stunden ist der Mörtel gebunden.
- Durch die Auskleidung wird das Altrohr gegen Korrosion geschützt.
- Die zu sanierende Haltung muss **außer Betrieb** genommen, **gereinigt** sowie **entleert** werden.



Bild 113 Mörtelpumpe zum Betreiben des Schleudermotors und Kleinrohr-Schleudermotor[116]

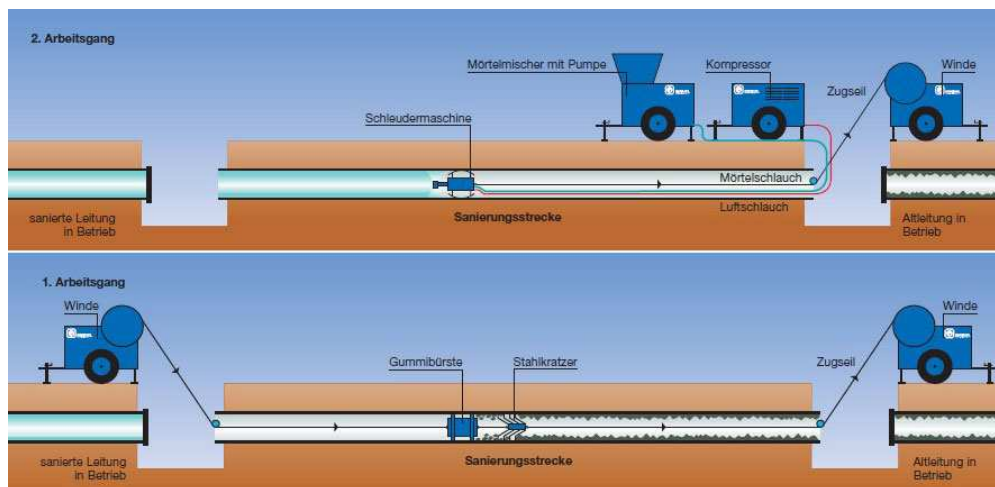


Bild 114 Arbeitsgänge der Zementmörtelauskleidung [118]

### 9.2.14 Primus Line®

Primus Line® ist laut dem Hersteller Rädlinger primus line GmbH eine grabenlose Technik zur Sanierung von Druckleitungen für unterschiedliche Medien wie Wasser, Gas, und Öl. Basis des Verfahrens bilden ein flexibler Hochdruckschlauch und die eigens für das System entwickelte Verbindungstechnik [119].

Aufgrund seines mehrschichtigen Aufbaus und seiner geringen Wandstärke ist der Primus Line Schlauch flexibel und besitzt zugleich eine hohe Materialfestigkeit.

Die Innenschicht des Schlauches kann medienspezifisch ausgewählt werden. Die Außenschicht ist – unabhängig vom jeweiligen Medium – aus verschleißfestem PE. Zwischen Innen- und Außenschicht befindet sich ein nahtloses Aramidgewebe als statisch tragende Schicht (s. Bild 115 links).

Primus Line® wird in Nennweiten von DN 150 bis DN 500 eingesetzt.

Der Einzug des Schlauches in Altröhre erfolgt über kleine Baugruppen – auf großflächige Straßenaufbrüche kann daher verzichtet werden. Primus Line® wird nicht mit dem Altröhre verklebt und ist selbsttragend, wodurch ein Ringraum entsteht.

An den Enden wird der Primus Line Schlauch durch Hochdruckverbinder an die bestehenden Röhre (Stahl, Guss, PE oder weitere Werkstoffe) und somit an das Leitungsnetz angeschlossen (s. Bild 115 rechts)[119].

Der Primus Schlauch Liner kann für die gebräuchlichsten Übertragungsmedien (s. Tabelle 74) und zusätzlich zur Erneuerung von schadhaften Leitungen auch zur Druckerhöhung eingesetzt werden [119].

Tabelle 74 Übertragbare Medien von Primus Line® [119]

Wasser	Gas	Öl
Trinkwasser	Natural Gas	Rohöl
Warmwasser	Süßgase	Raffinierte Öle
Brauchwasser	Sauergase	Heizöl
Abwasser	Gasgemische	Treibstoffe
Meerwasser		Ölschlacke

**Fazit:**

- Primus Line ist laut dem Hersteller Rädlinger primus line GmbH unabhängig vom **Leitungsmaterial** und für einen **Leitungsdurchmesser** von DN 150 bis DN 500 einsetzbar.
- Es muss mindestens eine **Zugangsmöglichkeit** über einen Schacht oder eine Revisionsöffnung bestehen. Straßenaufbrüche werden durch eine kleine Baugrube verringert.
- Die **Reichweite** des Liners kann bei gerader Verlegung bis zu 2.000m am Stück liegen.
- **Bögen** können mit dem Primus Liner passiert werden, wenn diese einen Winkel nicht größer 30° aufweisen. Durch die Bogengängigkeit reduziert sich die Anzahl der Baugruben.
- Die zu sanierende **Haltung** muss vor dem Primus Line Einzug nur mechanisch grob gereinigt werden (durch Kratzer und Gummischwaber), da kein Verkleben des Liners notwendig ist).

- Primus Line® besitzt laut Hersteller eine hohe Abrieb- und Schnittfestigkeit der Außenbeschichtung sowie eine Temperaturbeständigkeit bis 50° Celsius.
- Der Primus Schlauch Liner ist gegen Korrosion geschützt.
- Die zu sanierende Haltung muss **außer Betrieb** genommen sowie **entleert** werden.

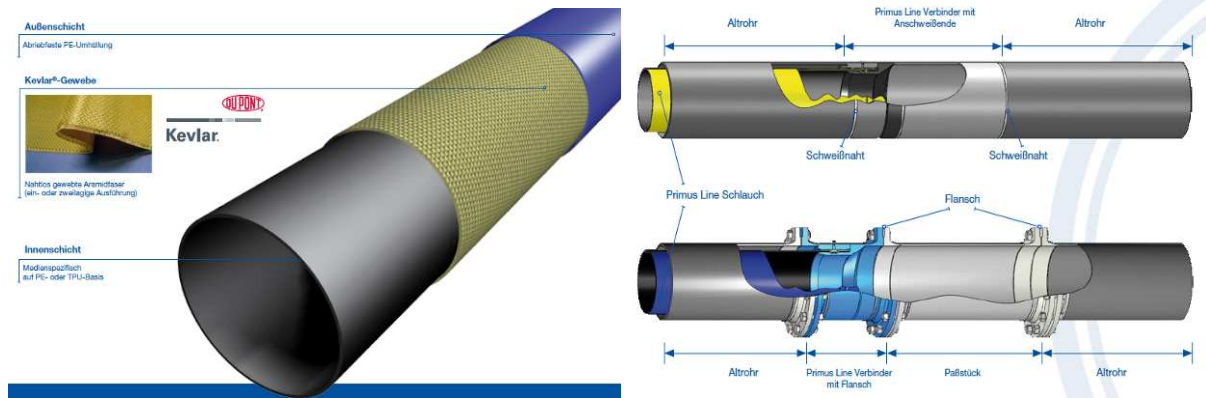


Bild 115 Aufbau des Primus Line Schlauch (links), Verbinder mit Flansch oder Anschweißende (rechts) [119]

### 9.2.15 Berstlining (Kurz- / Langrohr)

Mit dem Berstlining können Gas-, Wasser- und Abwasserleitungen aus spröde brechenden (GG, AZ, PVC, Steinzeug, Beton etc.) sowie aus zähen (Stahl, GGG, PE etc.) Altrohrmaterialien erneuert werden. Je nach Maschinentyp ist das statische Berstverfahren für Nennweiten von DN 50 bis DN 1000 auf Abschnittslängen bis 200 m ohne Zwischenbaugrube einsetzbar. [120].

Mit dem statischen oder auch hydraulisch genannten Berstverfahren lassen sich im Druck- und Freispiegelbereich die verschiedensten Materialien mit den unterschiedlichsten Durchmesser auf einfache Weise erneuern.

Mit einem Gestänge werden die erforderlichen Kräfte für Bersten, Verdrängen und Rohrein- und -zug hydraulisch über ein leiterartiges, schub- und zugfestes Schnellklingengestänge eingebracht. Zunächst wird die hydraulisch angetriebene Berstlafette in die Zielbaugrube eingebracht (s. Bild 118 mitte). Anschließend wird das Berstgestänge mit vorauslaufendem Führungskaliber durch die Altrohrleitung eingeschoben. Die Verbindung der Schnellklingengestängeteile erfolgt dabei zeitsparend durch Einklinken (dagegen ist das maschinelle Verschrauben bei anderen Verfahren zeitaufwändig). In der Startbaugrube wird das Führungskaliber gegen ein Berstwerkzeug (z. B. Berstkopf mit Brechrippen, Rollenschneidmesser) ausgetauscht. Das neue Rohr wird durch einen Zugkopf am Gestängestrang, jedoch geschützt innerhalb eines Aufweitkörpers, befestigt. [120].

Beim Zurückziehen der Berstgestänge in Richtung Zielbaugrube wird die Altrohrleitung durch das Berstwerkzeug geborsten und durch den hinter dem Berstwerkzeug angeordneten Aufweitkörper radial in das umgebende Erdreich verdrängt (s. Bild 118 links). Parallel zum Vor-

trieb wird das neue Rohr gleicher oder größerer Nennweite in den freien Querschnitt eingezogen.

Wenn beim Bersten von Abwasserleitungen die Schachtbauwerke erhalten werden sollen oder Platzmangel an der Erdoberfläche herrscht, können bis DN 200 auch spezielle Berstlatten eingesetzt werden, die in Schachtbauwerke ab einem Innendurchmesser 1000 mm passen. Wenn schließlich auch noch Kurzrohre verwendet werden sollen, kann gänzlich auf Start- bzw. Zielbaugruben verzichtet werden. Die Seitenzuläufe werden allerdings auch in diesem Fall in offener Bauweise angebunden. [120].

### Langrohr-Berstlining

Die wirtschaftlichste Variante beim Berstverfahren bietet der Einzug von Rohrsträngen aus PE-HD (z.B. RC-Schutzmantelrohre) oder PP-HM (s. Bild 116). Die seitens der Rohrhersteller meist als "Stangenware" gelieferten Rohre werden mittels Spiegelstumpfschweißung verbunden und über einen passenden Zugkopf oder Spreiznippel an die Bersthülse angeschlossen. Der Strang wird dann als ganzes Stück in einem Arbeitsgang eingezogen. Je nach Bodenverhältnissen sind hier Einziehlängen bis über 200 m am Stück als Tagesleistung möglich, bei Verwendung einer reibungsreduzierenden Bentonitsuspension auch darüber hinaus. Die schnelle Vortriebsgeschwindigkeit macht das Verfahren auch im Zusammenhang mit anstehenden Straßenerneuerungen interessant, wenn im Vorfeld die vorhandene Infrastruktur (Kanal und oder Druckrohrleitungen) erneuert werden soll [120].

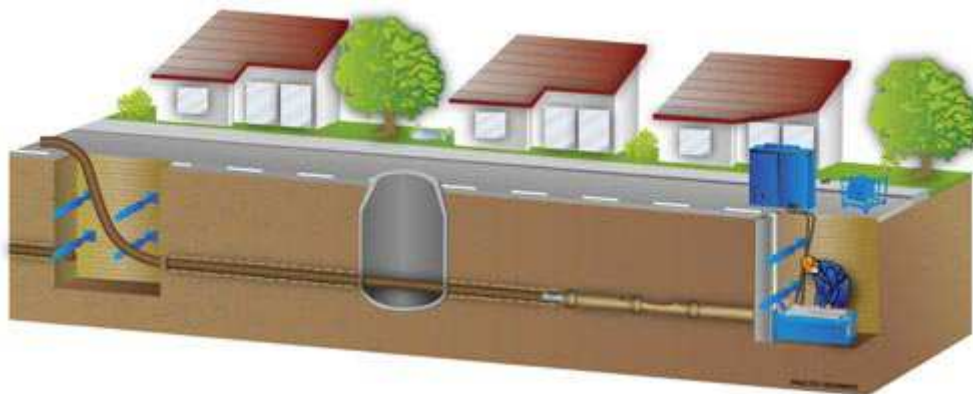


Bild 116 Das Berstlining-Verfahren mit Langrohren [120]

### Berstlining mit Kurzrohren

Überall dort, wo aufgrund der örtlichen Randbedingungen der Einzug von Rohrsträngen nicht wirtschaftlich vertretbar ist (z. B. bei kurzen Erneuerungsstrecken und großen Tiefen), kann bei der Kanalerneuerung alternativ auf den Einbau von Kurzrohrmodulen zurückgegriffen werden (s. Bild 117). Die Länge der einzelnen Module kann hierbei individuell auf die jeweiligen Bedürfnisse seitens der Rohrhersteller geliefert werden (Einzug von Kurzrohren aus Schächten, Einzug von Kurzrohren aus Gruben). Generell gilt: Länge der Kurzrohre x 2,5

entspricht der Länge der Einziehgrube. Um einen sicheren Rohreinbau zu gewährleisten, müssen Kurzrohrstränge unter Vorspannung eingezogen werden. Dies geschieht unter Berücksichtigung sicherheitsrelevanter Aspekte mit Hilfe einer Kettenverspanntechnik (Spannfix bis DN 200/ Vorspannkraft bis 30 KN) bzw. einer Gestängeverspanntechnik (Burstfix ab DN 200/ Vorspannkraft bis 200 KN).

Im Versorgungsbereich wird hingegen auch bei längeren Strecken oftmals auf den Einzug von Neurohren aus duktilem Gusseisen mit zugfester Muffenverbindung zurückgegriffen. Auch hier sind die auf das Neurohr wirkenden Zugkräfte zu messen und zu protokollieren [120].



Bild 117 Das Burstlining-Verfahren mit Kurzrohren [120]

#### Fazit:

- Das Burstlining-Verfahren ist laut dem Hersteller TRACTO-TECHNIK GmbH & Co. KG unabhängig vom **Leitungsmaterial** und für **Leitungsdurchmesser** von DN 50 – DN 1000 einsetzbar.
- Die **Reichweite** kann beim Kurzrohr-Burstlining bis zu 200m und beim Langrohr-Burstlining über 200m betragen.
- **Bögen** können ab einem gewissen Grad bis zu 100% ausgeglichen werden.
- Es müssen **Zugangsmöglichkeiten** über eine Baugrube für den Einlass sowie die Zielöffnung geschaffen werden.
- Das Verfahren wird durch einen schnellen Einbau – durch große Stranglängen - geprägt.
- Die **Altrohrleitung** wird komplett zerborsten oder nur aufgeweitet.
- Die zu sanierende Haltung muss **außer Betrieb** genommen sowie **entleert** werden.



Bild 118 Geborstenes Rohr (links), Einschub des Berstgestänges (mitte) sowie Berstlafette (rechts)  
[120]

### 9.3 Klassifizierung von Druckleitungslinern nach DIN EN ISO 11295:2010

Die DIN EN ISO 11295:2010 beschäftigt sich mit der Klassifizierung von Kunststoff-Rohrleitungssystemen für die Renovierung und Informationen zur Planung. Im dazugehörigen Abschnitt „6.4.1.3 Druckleitungen“ werden wichtige Informationen speziell für Druckleitungen zusammengestellt. Nach DIN EN ISO 11295:2010 dienen Druckleitungs-Liner hauptsächlich dazu, innerem Druck standzuhalten, sind aber im Allgemeinen auch Belastungen von außen ausgesetzt. Darüber hinaus werden Druckleitungs-Liner in vier Klassen (A bis D) sowie begrifflich in „unabhängig“ und „interaktiv“ unterschieden.

Ein unabhängiger Druckleitungs-Liner der Klasse A ist definitionsgemäß nach DIN EN ISO 11295:2010 [121] für sich allein in der Lage, allen auftretenden Belastungen von innen über seine gesamte Gebrauchsdauer ohne Versagen zu widerstehen. Dazu ist er nicht auf die radiale Unterstützung der bestehenden Rohrleitung angewiesen. Ein Liner wird als unabhängig bezeichnet, wenn er bei Prüfung unabhängig vom bestehenden Rohr eine Langzeit-Innendruckfestigkeit aufweist, die gleich oder größer ist als der höchste zulässige Betriebsdruck der sanierten Rohrleitung. Ein selbsttragender Druckleitungs-Liner kann entweder locker sitzend oder eng anliegend verlegt werden (s. Tabelle 75).

Ein interaktiver (Klasse B oder C) Druckleitungs-Liner ist nicht in der Lage, allen auftretenden Belastungen von innen über seine gesamte Einsatzzeit ohne Versagen zu widerstehen. Deshalb stützt er sich zur radialen Unterstützung gegen die bestehende Rohrleitung ab. Ein Liner gilt als interaktiv, wenn er bei Prüfung unabhängig vom bestehenden Rohr eine Langzeit-Innendruckfestigkeit von weniger als dem höchsten zulässigen Betriebsdruck der sanierten Rohrleitung aufweist. Ein Druckleitungs-Liner wird interaktiv genannt, wenn er eng anliegend verlegt wird (s. Tabelle 75).

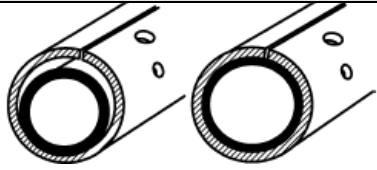
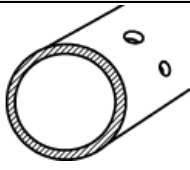
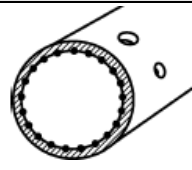
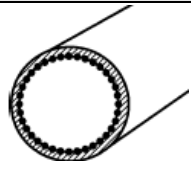
Bei beiden Liner-Arten (unabhängig und interaktiv) sollten die Ringsteifigkeits-Eigenschaften berücksichtigt werden, um die Beulfestigkeit unter Einwirkung von hydrostatischen Lasten von außen oder Vakuumbelastungen von innen zu bestimmen. Jeder eingebaute Liner sollte bei Druckminderungen selbsttragend sein. Jedoch können diese eine zusätzliche Verstärkung der Steifigkeit erfordern oder Rohrwand-Klebesysteme enthalten, um bestimmten Va-

kuumbelastungen, die im Betrieb und/oder bei Grundwasserlasten von außen auftreten, standzuhalten.

Bei allen Linern, unabhängig davon ob es sich um locker sitzende unabhängige, eng anliegende unabhängige oder interaktive Liner, wie in der Internationalen Norm beschrieben, handelt, sollte eine eingehende Betrachtung aller Anforderungen an die Unterstützung von Längs- und Querdruckbeaufschlagungen bei Bögen oder bei anderen Ausrichtungsänderungen erfolgen.

Dieser Hintergrund dient nun als Basis für die nun folgende Klassifizierung sowie für die Hinweise zur Auswahl einer Sanierungstechnik. Die Klassifizierung von unabhängigen und interaktiven Druckleitungs-Linern nach DIN EN ISO 11295:2010 ist in der folgenden Tabelle 75 dargestellt. Diese Tabelle wurde auf Basis von Firmeninformation erstellt. Zu beachten ist außerdem, dass die Tabelle 75 um die Klassifizierung S1 bis S3 ergänzt wurde, welche die statische Belastbarkeit der Sanierungstechnik beschreiben soll. Die Kürzel werden ebenso für die Bewertungsmatrix (Tabelle 76) benötigt.

Tabelle 75 Klassifizierung von unabhängigen und interaktiven Druckleitungs-Linern nach DIN EN ISO 11295:2010 (verändert)

S1		S2		S3
Klasse A		Klasse B	Klasse C	Klasse D
				
locker sitzend	eng anliegend	eigene Ringsteifigkeit	beruht auf einer Klebverbindung	beruht auf einer Klebverbindung
<b>unabhängig</b>		<b>interaktiv</b>		
<b>voll statisch belastbar</b>		<b>semi-statisch belastbar</b>		<b>nicht statisch belastbar</b>
Rohrstrangling				
	Close-Fit-Lining			
	Vor Ort härtendes Schlauchlining			
			Schlauchlining mit Klebebeschichtung	

## 9.4 Hinweise, Fazit und Bewertungsmatrix zur Sanierungstechnikauswahl

Die Recherche zu den gängigsten Sanierungstechniken und die Gespräche mit Herstellern zeigten, dass es eine Vielzahl an Techniken gibt, mit denen sich Sanierungen einfach und kosteneffektiv wie im Freispiegelbereich umsetzen lassen können. Bei Abwasserdruckleitungen liegen jedoch gegenüber der Freispiegelkanalisation erschwerte Randbedingungen aufgrund fehlender oder geringer Anzahl an Zugänglichkeiten, Bögen und häufig nicht exakt bekannter Leitungsverläufe sowie zum Teil kleiner Nennweiten vor.

Inwieweit der Aufwand für eine Sanierung im Einzelfall vertretbar ist, hängt wesentlich von der betrieblichen Bedeutung und den möglichen Gefährdungspotenzialen ab.

In der nachfolgenden Tabelle 76 und Tabelle 77 werden die wichtigsten Einsatzvoraussetzungen der in Kapitel 9 vorgestellten Techniken im Sinne einer Bewertungsmatrix zusammengestellt und eine erste Einschätzung zur Anwendbarkeit für Abwasserdruckleitungen gegeben. Diese Tabellen basieren alleine auf **Anbieterinformationen** und können als Hilfestellung zur Vorauswahl einer geeigneten Technik für die Sanierung oder Erneuerung einer Abwasserdruckleitung herangezogen werden.

Einzelne **Kosten** konnten nicht in Erfahrung gebracht werden, da der Sanierungsmarkt im Bereich der Abwasserdruckleitungen zu klein und noch zu neu ist, so dass Firmen keine pauschalen Preisangaben geben konnten. Im nächsten Schritt wäre durch das IKT **eine Prüfung der Einbaubarkeit jeder Sanierungstechnik** durchzuführen. Auf diese Weise wäre eine Beurteilung der einzelnen Techniken möglich. Ebenso könnten in einem weiteren Schritt **lebenszyklusorientierte Fallanalysen** angestrebt werden, um eine ökonomische Beurteilung einzelner Sanierungstechniken treffen zu können.

**Inwieweit eine Klassifizierung von Druckleitungslinern nach DIN EN ISO 11295 möglich ist, ist unbedingt noch zu diskutieren, da nicht jede Sanierungstechnik einer Klasse eindeutig zuzuordnen ist. Dies wird an zwei Beispielen kurz dargestellt:**

*Der RS BlueLiner ist z.B. nach Anbieterangaben der Klasse A – eng anliegend – zuzuordnen. Allerdings kann dann aufgrund des vor Ort getränkten und aushärtenden Gewebeschlauchliners kein Nachweis bzgl. des belastbaren Innendrucks erbracht werden, da aufgrund der Verbindung zwischen Altrohr und Liner die durch den Innendruck entstehende Rohrspannung auf das Altrohr übertragen wird, sofern dieses noch standsicher ist. Hier sind eindeutige Prüfungen und Nachweise noch zu erbringen.*

*Als weiteres Beispiel sei der Primus Line zu nennen. Es handelt sich hierbei um einen Schlauch, in dem eine statisch tragende Schicht aus Aramidgewebe eingearbeitet ist, der im eingebauten Zustand einen Ringspalt zum Altrohr aufweist. Dadurch ist der eingebaute Schlauchliner voll statisch belastbar, kann aber trotzdem nicht der Klasse A zugeordnet werden, da es sich im engeren Sinne nicht um ein Rohrstrangling, sondern um ein Schlauchverfahren handelt. Dies gilt insbesondere mit Blick auf die Empfindlichkeit gegenüber Außenwasserdruck bzw. Vakuum.*

Der Bereich der Sanierungstechniken speziell für Abwasserdruckleitungen weist noch einen erheblichen Untersuchungsbedarf auf. Es ist eindeutig Forschungsbedarf zu erkennen. Zum

einen müssen Grundlagen für klare Regelwerke sowie Normen erarbeitet werden, zum anderen sollten die einzelnen Techniken/Produkte/Verfahren gezielt wissenschaftlich auf spezielle Anwendungsfälle bezogen untersucht werden.

Abschließend werden in der nachfolgenden Tabelle die Sanierungsziele zusammengefasst, die im Rahmen dieses Forschungsprojektes, allerdings allein **auf Basis von Firmeninformationen**, formuliert wurden.

Tabelle 76 Bewertungsmatrix mit Einsatzvoraussetzung und Sanierungsziel (nach Auswertung von Herstellerinformationen)

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

Tabelle 77 Hinweise und Bewertungsmatrix zu Sanierungstechniken für Abwasserdruckleitungen

Verfahren	Sanierungsart	Sanierungsmaterial und Druckrohr Nennweiten <sup>1</sup>	Wichtigste Einsatzvoraussetzungen <sup>2</sup>	Eigenschaften <sup>2</sup>	s. Langfassung, Abschnitt
<b>Sanierungstechniken- und verfahren</b>					
<b>Amex Manschette</b> (AMEX-10 GmbH)	Innenmanschetten	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materialunabhängig</li> <li>Mono DN 500 bis DN 6000</li> <li>Vario DN 500 bis DN 4000</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zugangsmöglichkeit über einen Schacht, eine Revisionsöffnung oder einer Baugrube</li> <li>Vor dem Einbau muss die Leitung außer Betrieb genommen sowie entleert werden.</li> <li>Rohrinnenwand muss im Vorfeld von Korrosion und Verschmutzung befreit werden.</li> <li>Unebenheiten müssen ausgeglichen werden.</li> <li>Ermittlung der Schadposition durch TV-Inspektion oder Begehung.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manschette ist beständig gegen hohe Temperaturen.</li> <li>behebt Schäden im Rohr- und Muffenbereich.</li> <li>weist eine Abdichtung gegen In- und Exfiltration auf.</li> <li>beliebige Einzugslänge.</li> </ul>	9.1.2
<b>Berstlining</b> (TRACTO-TECHNIK GmbH & Co. KG)	Rohrberstverfahren	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materialunabhängig</li> <li>DN 50 bis DN 1000</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zugangsmöglichkeiten über eine Baugrube für den Einlass sowie die Zielöffnung</li> <li>außer Betriebsnahme sowie vollständige Entleerung der Leitung</li> <li>Reinigung der zu sanierenden Haltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Reichweite des Liners kann Kurzrohr-Berstlining bis zu 200m und Langrohr-Berstlining über 200m betragen.</li> <li>Bögen können ab einem gewissen Grad bis zu 100% ausgeglichen werden.</li> <li>kann auch bei statisch nicht mehr tragfähigen Rohrleitungen eingesetzt werden</li> <li>Qualität eines Neurohres mit einer Lebenserwartung von mindestens 100 Jahren</li> <li>Die Altrohrleitung wird komplett zerborsten oder nur aufgeweitet.</li> </ul>	9.2.15
<b>Compact Pipe</b> (DIRINGER & SCHEIDEL ROHRSANIERUNG GmbH & Co. KG)	Close-Fit-Verfahren (Close-Fit-Lining)	<ul style="list-style-type: none"> <li>für die Materialien Guss, Stahl, Keramik und Beton</li> <li>DN 100 bis DN 500</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vor dem Einbau muss die Leitung außer Betrieb genommen und gereinigt werden.</li> <li>Die Ermittlung der Position der Schadstelle erfolgt durch eine TV-Inspektion.</li> <li>Zugangsmöglichkeit über kleine Einzugs- und Zielgruben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es kann eine Reichweite von bis zu 600m (nennweitenabhängig) erreicht werden.</li> <li>Bögen sind bis zu 45° passierbar</li> <li>Die Qualität und Lebenserwartung des sanierten Rohres entsprechen laut Hersteller denen eines Neurohres.</li> <li>Rückverformung durch heißen Dampf</li> <li>Das Ergebnis ist ein statisch eigenständiges und belastbares Rohr, das auch strengen wirtschaftlichen Kriterien gerecht wird</li> </ul>	9.2.4
<b>D&amp;S Gewebeschauchrelining</b> (DIRINGER & SCHEIDEL ROHRSANIERUNG GmbH & Co. KG)	Schlauchliningverfahren (Vor Ort härtendes Schlauchlining)	<ul style="list-style-type: none"> <li>für die Materialien Stahl, Grauguss und duktilem Guss</li> <li>DN 100 bis DN 1000</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Als Zugangsmöglichkeiten muss eine Start- sowie eine Zielgrube erstellt werden</li> <li>Die zu sanierende Haltung muss außer Betrieb genommen werden</li> <li>Vor dem Einbau muss das Rohr mechanisch vorge-reinigt werden</li> <li>Die Ermittlung der Position der Schadstelle erfolgt im Vorfeld durch eine TV-Inspektion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Als Reichweite sind 250 m und mehr möglich</li> <li>Bögen bis zu 45° passierbar</li> <li>Der Gewebeschauchliner ist laut Anbieter nicht eigenständig tragfähig, sondern wirkt lediglich als Abdichtung sowie einen Korrosionsschutz auf</li> </ul>	9.2.5
<b>DS CityLiner</b> (DIRINGER & SCHEIDEL ROHRSANIERUNG GmbH & Co. KG)	Schlauchliningverfahren (Vor Ort härtendes Schlauchlining)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materialunabhängig</li> <li>DN 200 bis DN 800</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vor dem Einbau erfolgt eine Hydrodynamische Reinigung der Leitungsabschnitte.</li> <li>Die Ermittlung der Position Der Schadstelle erfolgt mittels einer TV-Inspektion.</li> <li>Zugangsmöglichkeit über Schacht oder Baugrube</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Reichweite kann mehr als 300m betragen.</li> <li>Die mobile Tränkanlage sorgt für Flexibilität.</li> <li>Das Verfahren kann bei allen Querschnitten angewandt werden.</li> </ul>	9.2.6

<sup>1</sup> Nach Herstellerangaben

<sup>2</sup> Nach Herstellerangaben, teilweise ergänzt durch Erfahrungen aus Praxiseinsätzen

<b>DynTec</b> (DIRINGER & SCHEIDEL ROHRSANIERUNG GmbH & Co. KG)	Close-Fit-Verfahren (Close-Fit-Lining)	<ul style="list-style-type: none"> <li>für die Materialien Guss, Stahl, Keramik und Beton</li> <li>DN 65 bis DN 1200</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es müssen Zugangsmöglichkeiten in Form von Baugruben geschaffen werden.</li> <li>Vor dem Einbau ist eine Reinigung notwendig.</li> <li>Die Ermittlung der Position der Schadstelle erfolgt durch eine TV-Inspektion.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Reichweite kann bis zu 1000m am Stück liegen.</li> <li>Bögen bei 30 – 40 x D sind bis zu 90° möglich.</li> <li>Die Qualität des Neurohrs entspricht laut Hersteller der Verlegung einer statisch selbsttragenden, neuen Leitung.</li> </ul>	9.2.1
<b>Omega-Liner®</b> (PREUSS GmbH)	Close-Fit-Verfahren (Close-Fit-Lining)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materialunabhängig</li> <li>DN 150 bis DN 450</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zugangsmöglichkeit für Einlass durch Baugrube und für die Winde durch Schacht- oder Revisionsöffnung</li> <li>außer Betriebsnahme und vollständige Entleerung der Leitung</li> <li>Reinigung und TV-Inspektion der Haltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Reichweite des Liners kann bis zu 200 m betragen.</li> <li>Bögen sind bis 45° passierbar</li> </ul>	9.2.12
<b>Primus Line®</b> (Rädlinger primus line GmbH)	Halboffene Bauweise	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materialunabhängig</li> <li>DN 150 – DN 500</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>außer Betriebsnahme und vollständige Entleerung der Leitung</li> <li>Zugänglichkeiten am Leitungsanfang und am –ende durch Schacht oder Revisionsöffnung</li> <li>Haltung muss vor dem Einzug mechanisch grob gereinigt werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>bis zu 2.000m Einziehlänge bei gerader Verlegung</li> <li>Primus Line® weist eine Belastbarkeit und Qualität auf</li> <li>Abrieb- und Schnittfestigkeit der Außenbeschichtung sowie Temperaturbeständig bis 50° Celsius</li> <li>Der Primus Schlauch Liner ist gegen Korrosion geschützt.</li> <li>Bögen sind bis 30° passierbar</li> </ul>	9.2.14
<b>Quick-Lock</b> (UHRIG GmbH)	Innenmanschetten	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materialunabhängig</li> <li>DN 150 – DN 700</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vor dem Einsatz ist die Haltung zu befahren und zu überprüfen</li> <li>Zugangsmöglichkeit über einen Schacht oder eine Revisionsöffnung (min. DN 800)</li> <li>Reinigung durch eine Hochdruckspülung</li> <li>keine Feststoffe wie Sande oder Kiese an Schadstelle</li> <li>Gemäß SWA M 143 Teil 7 ist grundsätzlich abwasserfrei zu arbeiten, so dass die Haltung abzusperrt ist. Je nach Wassermenge kann auch in Ausnahmefällen ein Umpumpen erforderlich sein.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Reichweite des Systems liegt zwischen 300m und 500m.</li> <li>Bögen können mit dem Quick-Lock System nicht saniert werden.</li> </ul>	9.1.1
<b>Roll-down Verfahren</b> (LUDWIG PFEIFFER Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG)	Rohrstrangverfahren (ohne Ringraum)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materialunabhängig</li> <li>DN 100 bis DN 500</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zugangsmöglichkeit für Einlass durch Baugrube und für die Winde durch Schacht- oder Revisionsöffnung</li> <li>außer Betriebsnahme und vollständige Entleerung der Leitung</li> <li>Reinigung der zu sanierenden Haltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bögen sind bis 45° passierbar</li> <li>bei gerader Verlegung bis zu 1.000m Reichweite</li> <li>kann auch bei statisch nicht mehr tragfähigen Rohrleitungen eingesetzt werden</li> <li>Die Verformung findet ohne Erwärmung statt. Stattdessen wird der close-fit an die Altrrohrleitung mit Wasserdruck gepresst.</li> <li>Durch den Liner-Einzug entsteht laut Hersteller eine hervorragende Hydraulik durch glatte Innenflächen.</li> <li>Es treten keine Probleme durch Korrosion von innen auf.</li> </ul>	9.2.10
<b>RS BlueLiner®</b> (RS Technik AG)	Schlauchliningverfahren (Vor Ort härtendes Schlauchlining)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materialunabhängig</li> <li>DN 100 bis DN 1000</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Altrrohr muss eine Restwandstärke zwischen 5 und 21mm aufweisen</li> <li>Vor der Installation des Schlauchliners ist eine Reinigung der Altleitung zwingend erforderlich.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>bis 16 bar Betriebsdruck einsetzbar</li> <li>Die Reichweite kann bis zu 200 m betragen</li> <li>maximaler Arbeitsdruck bis 10 bar; bei DN ≤ 300 bis 16 bar</li> <li>Bögen sind bis 45° passierbar</li> <li>Das Neurohr ist unabhängig vom Altrrohr.</li> <li>„Das BlueLine-System erfüllt die Bestimmungen des DVGW-Arbeitsblattes W270 sowie der "Leitlinie des Umweltbundesamtes zur hygienischen Beurteilung von organischen Materialien im Kontakt mit Trinkwasser" (KTW-Leitlinie)“</li> </ul>	9.2.7

<p><b>Saertex-Liner® Premium</b> (SAERTEX multi-Com®)</p>	<p>Schlauchliningverfahren (Vor Ort härtendes Schlauchlining)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialunabhängig</li> <li>• DN 200 bis DN 1260</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zugangsmöglichkeit über Baugruben, Schacht oder Revisionsöffnung</li> <li>• Vor dem Einbau wird die Leitung außer Betrieb genommen und nach Herstellerangaben gereinigt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Reichweite kann bis zu 500 m betragen (Linerlänge).</li> <li>• 100%ige Dichtigkeit soll durch die zusätzliche Innenbeschichtung unterstützt werden.</li> <li>• Bögen bis zu 15° können passiert werden.</li> <li>• Sicherheit wird durch einer Imprägnierung im Werk, langer Lagerstabilität und durchgängiger Qualitätssicherung gewährleistet.</li> </ul>	<p>9.2.9</p>
<p><b>Slipline</b> (LUDWIG PFEIFFER Hoch- und Tiefbau GmbH &amp; Co. KG)</p>	<p>Rohrstrangverfahren (Rohrstrang-Lining) mit Ringraum</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialunabhängig</li> <li>• DN 100 bis DN 1200</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die zusanierende Rohrleitung muss gereinigt und mit einer TV-Kamera inspiziert werden.</li> <li>• Zugangsmöglichkeit über Baugruben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Slipline-Verfahren ist bei Druckstufen bis 16 bar einsetzbar.</li> <li>• Als Neurohr entsteht ein eigenständig tragfähiges Rohr.</li> <li>• Auch bei statisch nicht mehr tragfähigen Leitungen einsetzbar.</li> </ul>	<p>9.2.3</p>
<p><b>Subline</b> (LUDWIG PFEIFFER Hoch- und Tiefbau GmbH &amp; Co. KG)</p>	<p>Close-Fit-Verfahren (Close-Fit-Lining)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialunabhängig</li> <li>• DN 75 bis DN 1200</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vor dem Einbau sind eine Reinigung und eine Kamera-Untersuchung notwendig.</li> <li>• Zugangsmöglichkeit über Baugruben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Reichweite kann mehr als 1000m betragen.</li> <li>• Bögen bis zu 45° passierbar</li> <li>• Die Wandstärke des zu sanierenden Rohres kann 3 bis 20mm betragen.</li> <li>• Die Verformung findet ohne Erwärmung statt.</li> </ul>	<p>9.2.2</p>
<p><b>Swagelining-Verfahren</b> (DIRINGER &amp; SCHEIDEL ROHRSANIERUNG GmbH &amp; Co. KG)</p>	<p>Close-Fit-Verfahren (Close-Fit-Lining)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialunabhängig</li> <li>• DN 80 bis DN 1200</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vor dem Einbau ist eine Reinigung der zu sanierenden Leitung notwendig</li> <li>• Die Ermittlung der Position der Schadstelle erfolgt mittel einer TV-Inspektion</li> <li>• Als Zugangsmöglichkeit müssen Baugruben geschaffen werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Reichweite kann bis zu 1000m betragen</li> <li>• Bögen können bis aufgrund der geringen Vorverformung kaum durchfahren werden</li> </ul>	<p>9.2.8</p>
<p><b>U-Liner aus PE-HD</b> (REHAU AG + Co)</p>	<p>Close-Fit-Verfahren (Close-Fit-Lining)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialunabhängig</li> <li>• DN 100 bis DN 400</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zugangsmöglichkeit für Einlass durch Baugrube und für die Winde durch Schacht- oder Revisionsöffnung</li> <li>• außer Betriebsnahme und vollständige Entleerung der Leitung</li> <li>• Reinigung der zu sanierenden Haltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bögen sind bis 30° passierbar</li> <li>• Die Reichweite des Liners kann bis zu 600m betragen.</li> <li>• kann auch bei statisch nicht mehr tragfähigen Rohrleitungen eingesetzt werden</li> <li>• Qualität eines Neurohres mit einer Lebenserwartung von mindestens 50 Jahren</li> <li>• schneller Einbau durch große Stranglängen</li> <li>• Durch den Liner-Einzug entsteht eine Hydraulik durch glatte Innenflächen.</li> <li>• keine Probleme durch Korrosion von innen</li> </ul>	<p>9.2.11</p>
<p><b>Zementmörtel-auskleidung</b> (DIRINGER &amp; SCHEIDEL ROHRSANIERUNG GmbH &amp; Co. KG)</p>	<p>Anschleuderverfahren</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialunabhängig</li> <li>• DN 80 bis DN 3000</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• außer Betriebsnahme und vollständige Entleerung der Leitung</li> <li>• Reinigung der zu sanierenden Haltung</li> <li>• Zugangsmöglichkeit für Einlass durch Baugrube oder Schachtöffnung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch die Auskleidung wird das Altrrohr gegen Korrosion geschützt.</li> <li>• Innerhalb von 24 – 26 Stunden ist der Mörtel gebunden.</li> <li>• Ab einer Nennweite von DN 600 kann mit elektrisch angetriebenen, luftbereiften und selbstfahrenden Anschleudermaschinen ausgekleidet werden.</li> </ul>	<p>9.2.13</p>

## 10 Fazit

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

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

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

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

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

Bei der Nutzung des **SloFec-Verfahrens** konnten sowohl sprunghafte Wanddickenänderungen als auch flach einlaufend simulierte Korrosionsstellen bei **Stahl und Guss** detektiert werden. Die Anwendung der Inspektionseinheit am Material Stahl brachte nahezu eine **Messgenauigkeit von 100%** mit sich. Im Vergleich zu der Prüfung mit Stahl brachte die Anwendung an Guss zwar eine exakte Lagebestimmung mit sich, wies aber **Differenzen bei der Bestimmung der Fehlertiefen** auf.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Im Anschluss an die vorgenommene Risikoevaluierung standen Kenntnisse zu den verfügbaren Sanierungstechniken im Vordergrund. Auf Basis einer Marktrecherche und Gesprächen mit Technikanbietern wurden demzufolge mögliche Verfahren zur Sanierung von Abwasserdruckleitungen sowie Informationen zu Einsatzvoraussetzungen zusammengestellt. Insgesamt konnten 19 Verfahren aus den Bereichen **Reparatur, Renovierung** und **Erneuerung** recherchiert werden, die hinsichtlich ihrer Einsatzvoraussetzung laut Herstellerangaben beurteilt wurden.

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

## 11 Ausblick

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Literaturverzeichnis

---

- [1] Bosseler, B.; Gronau, U.: Erfahrungsbericht – Reinigung und Inspektion von Dükern, Untersuchung im Auftrag des Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2002.
- [2] Bosseler, B.; Birkner, T.; Sokoll, O.; Brüggemann, T.: Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) bei kommunalen Netzbetreibern und Wasserbehörden in NRW. IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, Dezember 2003.
- [3] DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen, Beuth Verlag, Berlin, Oktober 1997.
- [4] DIN EN 805: Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag, Berlin, März 2000.
- [5] Bosseler, B.; Harting, K.: Inspektion und Zustandserfassung von Abwasserdruckleitungen und –dükern, Phase I : Handlungsempfehlungen und technischen und wirtschaftlichen Aspekten, i. A. des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen; Gelsenkirchen, Februar 2011.
- [6] DIN EN 1986: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 30: Instandhaltung, Beuth Verlag, Berlin, Februar 2012.
- [7] Erläuterungen zu Formblättern zur Schadenstatistik Wasser des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW).
- [8] Niehuss, B: DVGW-Schadensstatistik Wasser: Ergebnisse aus den Jahren 1997 bis 2004. energie/wasser-praxis, Oktober 2006, Seite 18-23.
- [9] Meineke, E. D.: Einsatz von Radar in der Kanalisation. bi Umweltbau 3/04, Seite 60-63, März 2004.
- [10] Auskunft der Fa. M.J. OOMEN BV Sprundel (Niederlande), September 2010.
- [11] Auskunft des Büro für angewandte Geophysik und Probenahmetechnik edm, Sandstedt, September 2010.
- [12] edm – Büro für angewandte Geophysik und Probenahmetechnik: Bericht über geophysikalische Untersuchungen zur Verbundkontrolle einer mittels Liner sanierten Stahlleitung DN 600. Essen, Dezember 2013.
- [13] edm – Büro für angewandte Geophysik und Probenahmetechnik: radarsensorische Vermessung eines AZ-Kanalsegmenten – Druckrohrleitung DN 300, Februar 2014.
- [14] TRGS 519: Asbest: Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten. BAuA ,Januar 2014.
- [15] Wollrab: Organische Chemie: Eine Einführung für Lehramts- und Nebenfachstudenten. Springer Verlag, September 2002.

- 
- [16] H. Grube, J. Krell: Betontechnischer Bericht zur Bestimmung der Carbonatisierungstiefe von Mörtel und Beton. 1988.
- [17] kiwa N.V. BTO 2003.039: Conditiebepaling asbestcement waterleidingen –wanddikte, belastingen. Oktober 2004.
- [18] Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, Januar 2009.
- [19] Roth: Sicherheitsdatenblatt gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 V2, Dezember 2012.
- [20] KontrollTechnik GmbH: Prüfung von erdverlegten oder schwer zugänglichen Rohrleitungen mit Hilfe von SLOFEC Prüfsystemen, 2014.
- [21] KontrollTechnik GmbH: Prüfbericht PB-14.194-SP – SLOFEC Rohrprüfung mittels Wirbelstrommolch Versuchsrohr DN 300, Mai 2014.
- [22] DIN EN 1671: Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag, Berlin, August 1997.
- [23] DVGW Arbeitsblatt W 400-2: Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRVV), Teil 2: Bau und Prüfung, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, September 2004.
- [24] Harting.K: Abwasserdruckleitungen – Möglichkeiten und Verfahren zur Reinigung -, i. A. des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Dezember 2006.
- [25] DWA-Arbeitsgruppe ES-7.4: Inspektion und Wartung von Abwasserdruckleitungen. Fachbeitrag, KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 2012 (59) Nr. 12, 2012.
- [26] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz WHG) vom 31. Juli 2009, BGBl. L 2009, S. 2585, zuletzt geändert am 24. Februar 2010 (BGBl. L, S. 212).
- [27] EKVO – Eigenkontrollverordnung, Verordnung des Umweltministeriums über die Eigenkontrolle von Abwasseranlagen Baden-Württemberg vom 20. Februar 2001, GBL. 2001, S. 309, zuletzt geändert am 25. April 2007, GBL. 2007, S. 252.
- [28] Verordnung zur Eigenüberwachung von Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen, EÜV – Eigenüberwachungsverordnung Bayern vom 20. September 1995, BVBl. 1995, S. 769, zuletzt geändert am 25. Februar 2010, BVBl. 2010, S. 66.
- [29] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): Merkblatt Nr. 4.3/6: Prüfung alter und neuer Abwasserkanäle – Teil 1: Prüfungsumfang; Stand 17. Juni 2003.
- [30] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): Merkblatt Nr. 4.3/6: Prüfung alter und neuer Abwasserkanäle – Teil 2: Prüfverfahren; Stand 1. Juli 1999.
- [31] Verordnung über die Eigenkontrolle von Abwasseranlagen Abwassereigenkontrollverordnung (EKVO) vom 23. Juli 2010, GVBl. Hessen Nr. 14/2010, S. 257.

- 
- [32] Verordnung über die Selbstüberwachung von Abwasseranlagen und Abwassereinleitungen – Selbstüberwachungsverordnung SÜVO vom 20. Dezember 2006, GVOBl. Mecklenburg-Vorpommern 2006, S. 5.
- [33] Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitungen von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem, SüwV Kann – Selbstüberwachungsverordnung Kanal vom 16. Januar 1995, GVBl. Nordrhein-Westfalen 1995, S. 64, zuletzt geändert am 17. Juni 2003.
- [34] Landesverordnung über die Eigenüberwachung von Abwasseranlagen EÜVO – Rheinland Pfalz – vom 27. August 1999, GVBl. 1999, S. 211, zuletzt geändert am 17. März 2006 (GVBl., S. 139)
- [35] Verordnung über die Eigenkontrolle von Abwasserbehandlungsanlagen (Eigenkontrollverordnung – EKVO) vom 8. Februar 1994, Amtsbl. Saarland 1994, S. 638, zuletzt geändert durch Art. 6 der Verordnung vom 24. Januar 2006 (Amtsbl. Saarland, S 174).
- [36] Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landesentwicklung über Art und Häufigkeit der Eigenkontrolle von Abwasseranlagen und Abwassereinleitungen – Eigenkontrollverordnung vom 7. Oktober 1994, SächsGVBL. 1994, S. 1592 zuletzt geändert am 24. November 2009 (SächsGVBl., S. 670).
- [37] DIN 1986-30: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke, Teil 30: Instandhaltung, Beuth, Berlin, 2003.
- [38] DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen, Beuth, Berlin, 1997.
- [39] Eigenüberwachungsverordnung Sachsen-Anhalt vom 25. Oktober 2010, GVBL. 2010, S. 526.
- [40] Landesverordnung über die Selbstüberwachung von Abwasseranlagen und Abwassereinleitungen (Selbstüberwachungsverordnung), SüVO vom 24. Januar 2007, GBVI. Schleswig-Holstein 2007, S. 92.
- [41] Thüringer Verordnung über die Eigenkontrolle von Abwasseranlagen vom 23. August 2004, GVBl. 2004, S. 721, zuletzt geändert am 10. September 2009 (GVBl., S 751).
- [42] DVGW- Arbeitsblatt W 400-2: Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV), Teil 2: Bau und Prüfung, Bonn: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., 2004.
- [43] DIN EN 805: Anforderung an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden, Berlin: Beuth Verlag GmbH, März 2000.
- [44] EADIPS- European Association for Ductile Iron Pipe Systems. URL: [http://www.eadips.org/cms/front\\_content.php?idcat=19&changelang=2](http://www.eadips.org/cms/front_content.php?idcat=19&changelang=2). August 2014.
- [45] Uniror24: Molchreinigung. URL: <http://www.uniror24.de/molchreinigung.php>. August 2014.
- [46] ÖVGW W 101: Druckprüfungen von Wasserleitungen, Wien: Druckerei Hawelka. Mai 2008.
- [47] ÖNORM EN 805: Wasserversorgung - Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile außerhalb von Gebäuden. FNA 122 Wasserversorgung, August 2008.

- 
- [48] ÖNORM B 2538: Transport-, Versorgungs- und Anschlussleitungen von Wasserversorgungsanlagen - Ergänzende Bestimmungen zu ÖNORM EN 805. FNA 122 Wasserversorgung, November 2002.
- [49] NS 3551: Testing tightness of pressure pipes, sewers and manholes by means of water. Oslo, Norwegischer Baustandardisierungsrat, Februar 1986.
- [50] ISO 31000: Risk management – Principles and guidelines, November 2009.
- [51] Girmscheid, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement – Prozessorientiertes integriertes Management für Unternehmen in der Bauwirtschaft. Heidelberg: Springer Verlag, 2006.
- [52] Girmscheid, G.; Motzko, C.: Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft - Produktionsprozessorientierte Kostenberechnung und Kostensteuerung. 2. Auflage, Heidelberg: Springer Verlag, 2013.
- [53] Diederichs, M.: Risikomanagement und Risikocontrolling. 3. Auflage, München: Vahlen, 2012.
- [54] Schwarz, J.; Sandoval-Wong, A.: Risikomanagement im Tunnelbau. In: Veröffentlichungen des Grundbauinstitutes der Technischen Universität Berlin, Heft Nr. 50, Berlin: 2010, S.33-48.
- [55] Keitsch, D.: Risikomanagement. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2007.
- [56] Gleißner, W.: Grundlagen des Risikomanagements im Unternehmen. München: Vahlen Verlag, 2008.
- [57] Romeike, F.; Finke, R.: Erfolgsfaktor Risikomanagement: Chance für Industrie und Handel, Lessons learned, Methoden, Checklisten und Implementierung, Gabler Verlag, Wiesbaden 2003.
- [58] Sorge, H.-C.: Technische Zustandsbewertung metallischer Wasserversorgungsleitungen als Beitrag zur Rehabilitationsplanung, Dissertation, Erfurt/Weimar, 2007.
- [59] Spurny, K.R., Marfels, H., Pott, F., Muhle, H.: Untersuchungen über Korrosion und Abwitterung von Asbest-Zement-Produkten sowie die krebserregende Wirkung der Verwitterungsprodukte. Umweltforschungsplan d. Bundesministeriums f. Umwelt, Naturschutz u. Reaktorsicherheit - Umweltchemikalien/Schadstoffwirkungen - Forschungsbericht 104 08 314, UBA-FB 86 097.
- [60] DIN EN ISO 8044: Korrosion von Metallen und Legierungen – Grundbegriffe und Definitionen, Beuth Verlag, 1999.
- [61] DIN 50929 -1: Korrosion der Metalle; Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung; Allgemeines, Beuth Verlag, 1985.
- [62] Gräf, M.; Grimpe, F.; Liessem, A.; Pöpperling R.K.: Review of the HIC test requirements for linepipe over the years 1975 to 2000; 3R international, 38, Seiten 10-11, 1999.
- [63] Ritter, F.: Korrosionstabellen metallischer Werkstoffe, 4. Auflage, Springer-Verlag, Wien, 1958.
- [64] DIN EN ISO 8044: Korrosion von Metallen und Legierungen – Grundbegriffe und Definitionen, Beuth Verlag, 1999.

- 
- [65] DIN 50929 -1: Korrosion der Metalle; Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung; Allgemeines, Beuth Verlag, 1985.
- [66] DIN 30675 – 1: Äußerer Korrosionsschutz von erdverlegten Rohrleitungen; Schutzmaßnahmen und Einsatzbereiche bei Rohrleitungen aus Stahl, Beuth Verlag, 1992.
- [67] Thier, B.: Sicherheit in der Rohrleitungstechnik, Vulkan-Verlag, Essen, 1996.
- [68] Steinrath, H.: Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der Aggressivität von Böden in: DVGW Fachausschuss „Korrosion Rohrnetz“ (Hrsg), Frankfurt 1966.
- [69] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) e.V. Beurteilung von Böden hinsichtlich ihres Korrosionsverhaltens auf erdverlegte Rohrleitungen und Behälter aus unlegierten und niedriglegierten Eisenwerkstoffen, Arbeitsblatt GW 9, März 1986.; Steinrath, H.: Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der Aggressivität von Böden in: DVGW Fachausschuss „Korrosion Rohrnetz“ (Hrsg), Frankfurt 1966.
- [70] ATV-DVWK-A 127: Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen, 3. Auflage; korrigierter Nachdruck 4/2008.
- [71] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) e.V. Bewerten von Baumaßnahmen im Bereich von Wasserversorgungsanlagen, Einflüsse und Schutzmaßnahmen, Merkblatt W 380, Mai 1993.
- [72] Kottmann A.: Rohre und Rohrwerkstoffe in der Gas- und Wasserversorgung, Schriftenreihe Energie- und Umwelttechnik, Vulkan-Verlag, Essen 1997.
- [73] Deutsches Institut für Normung (DIN) e.V. DIN 50930: Korrosion der Metalle, Korrosion metallischer Werkstoffe im Inneren von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wässer, Teil 6: Beeinflussung der Trinkwasserbeschaffenheit, August 2001.
- [74] Böhler, E. u. a.: Entwicklung von Methoden zur Selektion effizienter Spülregime für unbelastete Sektoren in bestehenden Wasserversorgungsnetzen zur Vermeidung von Rostwasserbildung, Forschungsvorhaben des Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Abschlussbericht, Dresden 2004.
- [75] Hofer, P.: Planung der langfristigen Erneuerungen von Wasserrohrnetzen in: 3R international, 33 (1994), Nr. 1/2, S.19-2575.
- [76] DIN EN 1671: Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden; Beuth Verlag August 1997.
- [77] DWA-A 116-2 Besondere Entwässerungsverfahren - Teil 2: Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden (Mai 2007).
- [78] Handbuch Wasser 4: Druckentwässerung – Hinweise zur Planung, Bau und Betrieb. Herausgeber: Zentraler Fachdienst Wasser – Boden – Abfall – Altlasten bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, November 1986.
- [79] Henner Schierenbeck: Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre. 16., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Oldenbourg, München u. a. 2003, ISBN 3-486-27322-1, S. 23.

- 
- [80] Wasserhaushaltsgesetz (WHG): [http://www.gesetze-im-internet.de/whg\\_2009/\\_\\_\\_51.html](http://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/___51.html).
- [81] Saaty, T. L.: The Analytic Hierarchy Process. RWS Publications, Pittsburgh, 1980.
- [82] Zhang, K.: Entwicklung eines integrierten multikriteriellen Entscheidungsunterstützungssystems für Gruppen. 1. Auflage. Aachen: Shaker Verlag, 2004.
- [83] Zimmermann, H.-J., Gutsche, L.: Multi-Criteria Analyse; Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrfachzielsetzungen. 1. Auflage. Berlin: Springer Verlag, 1991.
- [84] Ossadnik, W.: Mehrzielorientiertes strategisches Controlling: methodische Grundlagen und Fallstudien zum führungsunterstützenden Einsatz des Analytischen Hierarchie-Prozesses. Heidelberg, 1998.
- [85] Saaty, T. L.: Decision Making for Leaders. 3. Aufl., RWS Publications, Pittsburgh, 2001.
- [86] Kamarianakis, Sissis: Ein multikriterielles fuzzy- und risikobasiertes Entscheidungsmodell für die Planung unterirdischer Infrastruktur. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Shaker Verlag, 2013.
- [87] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisation. Verlag Ernst & Sohn, 3. Auflage, Berlin 1999.
- [88] Fikar, M.: Risikomanagement im Marketing; der Risikomanagementprozess unter besonderer Berücksichtigung der Risikoidentifikation, Peter Lang, Frankfurt a. M., 2003.
- [89] Leibundgut, E.: Risk Management System – Risikofrüherkennung. URL: [http://www.rmrisk.ch/49291/pdf\\_files/rmsimagebroschuere.pdf](http://www.rmrisk.ch/49291/pdf_files/rmsimagebroschuere.pdf).
- [90] DIN EN 752: 2008-04: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag, Berlin, April 2008.
- [91] DVGW W 401: 1997-09 „Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserrohrnetzen“. Bonn: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., 1997.
- [92] LAWA: Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien); Herausgabe in Kooperation DWA und DVGW; Miturheber und Lizenzgeber: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) , 8. überarbeitete Auflage, Juli 2012.
- [93] UHRIG Straßen Tiefbau GmbH: Quick-Lock. URL: [http://www.uhrig-bau.eu/de/quick\\_lock/partnerdownload/handbuch\\_quick\\_lock/](http://www.uhrig-bau.eu/de/quick_lock/partnerdownload/handbuch_quick_lock/), Februar 2009.
- [94] ATV-DVWK-M 143, Teil 7: Reparatur von Abwasserleitungen und –kanälen durch Kurzliner und Innenmanschetten. ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., April 2003.
- [95] AMEX -10 GmbH: Mono-Manschette, Vario-Manschette, Linerendmanschette. URL: <http://www.amex-10.de/de/produkte/>, Oktober 2014.
- [96] Diring & Scheidel Rohrreparatur GmbH & Co. KG: DynTec. URL: <http://www.dusrohr.de/dyntec.php?h=2&r=1&u=1&p=119>, Juli 2014.
- [97] DVGW GW 320-2: Rehabilitation von Gas- und Wasserrohrleitungen durch PE-Relining ohne Ringraum – Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung. Beuth Verlag, Juni 2000.

- [98] LUDWIG PFEIFFER Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG: Dyrtec. URL: [http://www.ludwigpfeiffer.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=25&Itemid=94](http://www.ludwigpfeiffer.com/index.php?option=com_content&view=article&id=25&Itemid=94), Juli 2014.
- [99] LUDWIG PFEIFFER Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG: Subline. URL: [http://www.ludwigpfeiffer.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=24&Itemid=93](http://www.ludwigpfeiffer.com/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=93), Juli 2014.
- [100] LUDWIG PFEIFFER Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG: Slipline. URL: [http://www.ludwigpfeiffer.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=23&Itemid=92&lang=de](http://www.ludwigpfeiffer.com/index.php?option=com_content&view=article&id=23&Itemid=92&lang=de), Juli 2014.
- [101] Wavin GmbH: Compact Pipe. URL: [http://de.wavin.com/de/Compact\\_Pipe.html](http://de.wavin.com/de/Compact_Pipe.html), Juli 2014.
- [102] Diringer & Scheidel Rohrsanierung GmbH & Co. KG: Compact Pipe. URL: [http://www.dus-rohr.de/compact\\_pipe.php%3Fh%3D2%26r%3D1%26u%3D1%26p%3D12](http://www.dus-rohr.de/compact_pipe.php%3Fh%3D2%26r%3D1%26u%3D1%26p%3D12), Juli 2014.
- [103] Diringer & Scheidel Rohrsanierung GmbH & Co. KG: D&S Gewebeslauchrelining. URL: <http://www.dus-rohr.de/gewebeslauchrelining.php?h=2&r=1&u=1&p=115>, August 2014.
- [104] Diringer & Scheidel Rohrsanierung GmbH & Co. KG: DS CityLiner. URL: [http://www.dus-rohr.de/city\\_liner.php%3Fh%3D2%26r%3D1%26u%3D1%26p%3D13](http://www.dus-rohr.de/city_liner.php%3Fh%3D2%26r%3D1%26u%3D1%26p%3D13), Juli 2014.
- [105] RS Technik AG: RS BlueLiner. URL: <http://www.rstechnik.com/rs-blueline.html>, Juli 2014.
- [106] Diringer & Scheidel Rohrsanierung GmbH & Co. KG: Swagelining. URL: <http://www.dus-rohr.de/swagelining.php?h=2&r=1&u=1&p=116>, Juli 2014.
- [107] Knowledge Factory GmbH: Instandhaltung von Kanalisation. URL: <http://www.unitracc.de/know-how/fachbuecher/instandhaltung-von-kanalisationen/sanierung/renovierung/auskleidungsverfahren/auskleidung-mit-vorgefertigten-rohren/rohrstrangverfahren/rohrstrangverfahren-ohne-ringraum/reduktionsverfahren/swagelining-verfahren>, Juli 2014.
- [108] SAERTEX multiCom: Flyer des Saertex-Liner Premium Typ m & Typ S. August 2014.
- [109] SAERTEX multiCom: Bildmaterial von eingebautem Saertex-Liner Premium. August 2014.
- [110] LUDWIG PFEIFFER Hoch- und Tiefbau GmbH & Co. KG: Rolldown Verfahren. URL: [http://www.ludwigpfeiffer.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=20&Itemid=64&lang=de](http://www.ludwigpfeiffer.com/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=64&lang=de), August 2013.
- [111] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisationen; 2. Auflage; Verlag Ernst & Sohn; Berlin 1992
- [112] REHAU AG + Co: U-Liner aus PE-HD. URL: <http://www.rehau.com/ch-de/bau/abwasser--und-wasserwirtschaft/rohrsanierung/u-liner-aus-pe-hd#tab1>, August 2013.
- [113] DIN EN ISO 9001: Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen. Beuth Verlag, Berlin, Dezember 2008.
- [114] PREUSS GmbH: Sanierungsverfahren. URL: <http://prt-rohrtechnik.de/index.php/geschaeftsfelder/rohrsanierung/sanierungsverfahren>, August 2013.

- [115] DVGW W 343:2005-04: Sanierung von erdverlegten Guss- und Stahlrohrleitungen durch Zementmörtelauskleidung - Einsatzbereiche, Anforderungen, Gütesicherung und Prüfungen. Beuth Verlag, Berlin April 2005.
- [116] Diringer & Scheidel Rohrsanierung GmbH & Co. KG: Zementmörtelauskleidung. URL: <http://www.dus-rohr.de/zementmoertelauskleidung.php?..>, November 2014.
- [117] DIN 1164-10:2013-03: Zement mit besonderen Eigenschaften - Teil 10: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit niedrigem wirksamen Alkali-gehalt. Beuth Verlag, Berlin, März 2013.
- [118] Mennicke Rohrbau GmbH: Zementmörtelauskleidung. URL: <http://www.mennicke.de/zementmoertelauskleidung.html>, November 2014.
- [119] Rädlinger primus line GmbH: Primus Line. URL: <http://www.primusline.com/>, August 2013.
- [120] TRACTO-TECHNIK GmbH & Co. KG: Kurz- / Langrohr Berstlining. URL: <http://rohrverlegung.tracto-technik.de/Berstlining-Verfahren>, August 2013.
- [121] DIN EN ISO 11295:2010-08: Klassifizierung von Kunststoff-Rohrleitungssystemen für die Renovierung und Informationen zur Planung. Beuth Verlag, August 2010.