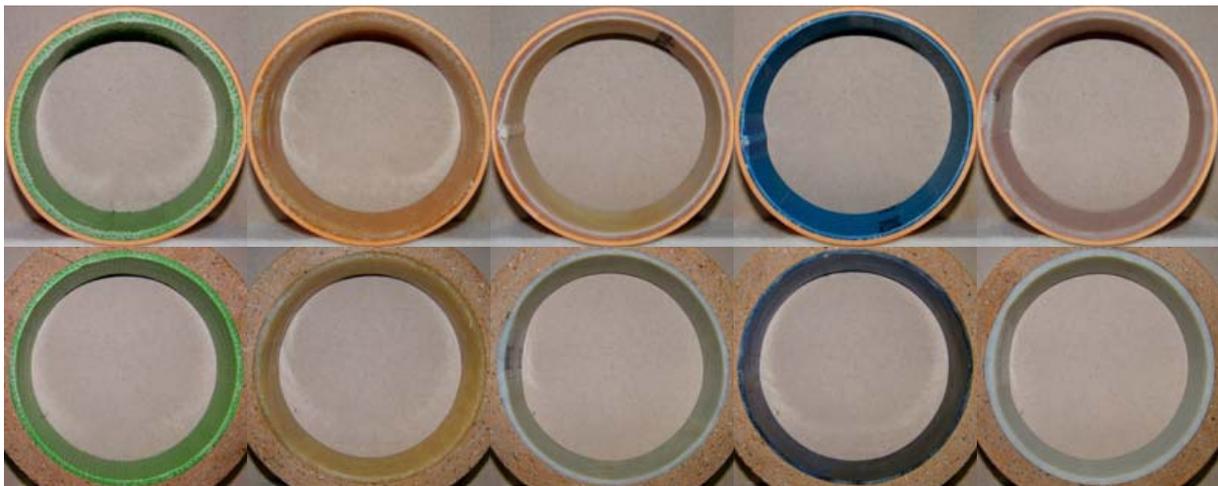


# IKT-Warentest Hausanschluss-Liner



***Endbericht***

- März 2010 -

**Endbericht zum Forschungsprojekt:**

Vergleichende Prüfung der Qualität von Sanierungsverfahren für Anschlusskanäle II  
AZ: IV-7-041 105 0182

**Auftraggeber:**



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

**Auftragnehmer:**



IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH  
Exterbruch 1  
45886 Gelsenkirchen

**Bearbeitung:**

Wissenschaftliche Leitung: Dr. Ing. B. Bosseler  
Projektleitung und –bearbeitung: Dipl.-Ing. A. Redmann  
Dipl.-Ing. C. Bennerscheidt  
Dipl.-Ing. D. Färber

**Danksagung:**

Die 17 beteiligten Kanalnetzbetreiber entsendeten Vertreter zur Mitwirkung in den Lenkungskreissitzungen des IKT-Warentests „Hausanschluss-Liner“. Diesen Fachleuten möchten wir an dieser Stelle für Ihre Unterstützung und die praxisnahe Ausrichtung des gesamten Warentests besonders danken: Behnisch, S.; Berghaus, S.; Brigl, S.; Drieschner, D.; Fiedler, M.; Glaser, U.; Groschupp, N.; Herrmanns, F.-J.; Kaltenpoth, J.; Klemm, T.; Kretzschmar, E.; Müller, C.; Pieper, M.; Restemeyer, F.; Röttgers, M.; Schindler-Sternemann, N.; Schuir, A.; Schulz, K.; Straff, G.; Vogel, A.; Vogt, H.; Waldera, A.; Wilke, S.

Unser besonderer Dank gilt der IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG, Kiel und der städtler + beck GmbH, Speyer, die durch die Bereitstellung ihrer Inspektions- und Prüftechnik wesentlich zum Erfolg des Projektes beigetragen haben.

<u>Inhaltsverzeichnis:</u>	Seite
<b>1 AUSGANGSSITUATION .....</b>	<b>5</b>
1.1 VERANLASSUNG UND RECHTLICHE GRUNDLAGEN .....	5
1.2 KONZEPT DES IKT-WARENTESTS .....	7
1.3 BETEILIGTE KANALNETZBETREIBER .....	7
<b>2 STAND DER TECHNIK.....</b>	<b>8</b>
<b>3 HAUSANSCHLUSSLINER IM TEST .....</b>	<b>15</b>
<b>4 TEST-PROGRAMM UND ERGEBNISSE .....</b>	<b>18</b>
4.1 SYSTEMPRÜFUNGEN .....	18
4.1.1 Anforderungen.....	18
4.1.2 Versuchsstrecken und Zustandsbilder.....	19
4.1.3 Sanierungen der Anschlusskanäle .....	23
4.1.3.1 BRAWOLINER XT, Karl Otto Braun GmbH & Co. KG.....	26
4.1.3.2 RS MaxLiner-FLEX S, RS Technik AG.....	28
4.1.3.3 DrainLiner und DrainPlusLiner, Trelleborg Pipe Seals .....	32
4.1.3.4 epros® DrainGlassLiner (Prototyp) und epros® DrainPlusGlassLiner (Prototyp), Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH .....	35
4.1.3.5 lineTEC ProFlex Liner, VFG Vereinigte Filzfabriken AG.....	38
4.1.3.6 Zusammenfassung .....	40
4.1.4 Untersuchungsschwerpunkte.....	44
4.1.4.1 Funktionsfähigkeit.....	44
4.1.4.2 Dichtheit.....	77
4.1.4.2.1 Strangprüfungen .....	78
4.1.4.2.2 APS-Dichtheitsprüfung.....	91
4.1.4.2.3 Außenwasserdruck .....	94
4.1.4.3 Tragfähigkeit der Struktur .....	97
4.1.4.3.1 Verbunddicke .....	97
4.1.4.3.2 Kurzzeit-Ringsteifigkeit bzw. -E-Modul.....	103
4.1.4.3.3 Kriechneigung .....	104
4.1.4.3.4 Dichte.....	106
4.1.4.4 Empfindlichkeit unter Auftrieb .....	108
4.1.4.5 Zusatzuntersuchungen .....	114
4.1.4.5.1 IR-Spektroskopie .....	114
4.1.4.5.2 DSC-Analyse (Differential Scanning Calorimetry).....	115
4.2 QUALITÄTSSICHERUNG DER VERFAHRENSANBIETER.....	118

4.2.1	<i>Anforderungen an die Qualitätssicherung</i> .....	118
4.2.2	<i>Auswertung der Unterlagen</i> .....	120
4.3	<b>BAUSTELLENUNTERSUCHUNGEN</b> .....	122
4.3.1	<i>Karl Otto Braun GmbH &amp; Co. KG</i> .....	122
4.3.2	<i>RS MaxLiner-FLEX S, RS Technik AG</i> .....	125
4.3.3	<i>DrainLiner, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH</i> .....	125
4.3.4	<i>lineTEC ProFlex Liner, VFG Vereinigte Filzfabriken AG</i> .....	128
4.3.5	<i>Zusammenfassung</i> .....	130
<b>5</b>	<b>BEWERTUNG DER HAUSANSCHLUSSLINER</b> .....	<b>131</b>
5.1	BEWERTUNGSSCHWERPUNKT „SYSTEMPRÜFUNGEN“ .....	131
5.1.1	<i>Überblick</i> .....	131
5.1.2	<i>Funktionsfähigkeit</i> .....	133
5.1.3	<i>Dichtheit</i> .....	134
5.1.3.1	<i>Strangprüfung</i> .....	134
5.1.3.2	<i>Laminatprüfung</i> .....	135
5.1.3.3	<i>Außenwasserdruck</i> .....	135
5.1.4	<i>Tragfähigkeit der Struktur</i> .....	136
5.1.5	<i>Empfindlichkeit unter Auftrieb</i> .....	137
5.2	BEWERTUNGSSCHWERPUNKT „QUALITÄTSSICHERUNG DER VERFAHRENSANBIETER“ .....	137
<b>6</b>	<b>PRÜFURTEILE UND GESAMTERGEBNIS</b> .....	<b>139</b>
<b>7</b>	<b>INFILTRATIONSMESSUNGEN</b> .....	<b>143</b>
7.1	VERANLASSUNG UND HINTERGRUND .....	143
7.2	UNTERSUCHUNGSPROGRAMM.....	144
7.2.1	<i>Aufbau und Übersicht</i> .....	144
7.2.2	<i>Kalibrierung der Durchflussmeseinrichtung</i> .....	146
7.2.2.1	<i>Funktionsprinzip</i> .....	146
7.2.2.2	<i>Messgenauigkeit</i> .....	149
7.2.2.3	<i>Messtechnische Grenzen</i> .....	151
7.2.3	<i>Infiltrationsmessungen an Versuchsleitungen</i> .....	154
7.2.3.1	<i>Infiltration in unsanierte Versuchsleitungen</i> .....	155
7.2.3.2	<i>Infiltration über undichte Schlauchlinersysteme</i> .....	163
7.2.3.3	<i>Gegenüberstellung der Messergebnisse</i> .....	171
7.3	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND FAZIT.....	172

---

<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT .....</b>	<b>175</b>
<b>9</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>183</b>

**Verwendete Formelzeichen**

A	Durchflussquerschnitt
$\alpha$	Austrittswiderstand
$d_a$	Außendurchmesser Rohr
$\Delta p$	Druckabfall
$e_m$	mittlere Wanddicke
$e_{min}$	Mindestwanddicke
g	Fallbeschleunigung 9,80665 m/s <sup>2</sup>
h	Druckhöhe
$p_0$	Prüfdruck
Q	Durchfluss
$\rho$	Dichte
S	spezifische Ringsteifigkeit
$S_0$	spezifische Anfangs-Ringsteifigkeit
$T_G$	Glasübergangstemperatur

# 1 Ausgangssituation

## 1.1 Veranlassung und rechtliche Grundlagen

Anschlusskanäle und Grundleitungen sind im öffentlichen und privaten Raum verlegt. In Abhängigkeit der Abwassersatzung liegt die Grenze zwischen der öffentlichen und privaten Kanalisation am Stutzen des öffentlichen Sammelkanals, an der Grundstücksgrenze oder einem definierten Übergabepunkt, z.B. einem Revisionsschacht. Erfahrungen zeigen, dass eine Vielzahl der Anschlusskanäle und Grundleitungen schadhaft ist. Dabei muss mit Schadensquoten bis zu 70 % gerechnet werden. Unsicherheit besteht bei der Frage, welche Verfahren und Produkte geeignet sind, die Funktionsfähigkeit und Dichtheit von Hausanschlussleitungen dauerhaft sicherzustellen.

Die rechtliche Grundlage für den Betrieb von abwassertechnischen Anlagen stellt die EU-Wasserrahmenrichtlinie [1] dar. Das Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (Wasserhaushaltsgesetz) [2] ist die bundesrechtliche Basis des Wasserrechtes in der Bundesrepublik Deutschland. Gemäß §1a (2) ist jedermann verpflichtet, bei Maßnahmen, mit denen Einwirkungen auf ein Gewässer verbunden sein können, die nach den Umständen erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um eine Verunreinigung des Wassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften zu verhüten. Der Begriff Gewässer schließt hier das Grundwasser ein.

Weiterhin fordert das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) [3], die Funktionen des Bodens nachhaltig zu sichern oder wiederherzustellen. Hierzu sind schädliche Bodenveränderungen abzuwehren, der Boden und Altlasten sowie hierdurch verursachte Gewässerverunreinigungen zu sanieren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen. Nach §4 (2) sind ein Grundstückseigentümer und der Inhaber der tatsächlichen Gewalt über ein Grundstück verpflichtet, Maßnahmen zur Abwehr der von ihrem Grundstück drohenden schädlichen Bodenveränderungen zu ergreifen. Die Anforderung des Bundesbodenschutzgesetzes (BBodSchG) [3] werden in der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) [4] konkretisiert. Spezifische Regelungen für das Bundesland Nordrhein-Westfalen werden im Landeswassergesetz (LWG) [5] formuliert.

Strafrechtliche Konsequenzen einer Gewässer- oder Bodenverunreinigung sind im Strafgesetzbuch (StGB) [6] formuliert. Nach §324 (1) wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft, wer unbefugt ein Gewässer verunreinigt oder sonst dessen Eigenschaften nachteilig verändert.

Neben der Vermeidung von Exfiltrationen zählt die Verminderung von infiltrierendem Grundwasser, sog. Fremdwasser, zu den maßgebenden Zielen der Wasserwirtschaft. Zur effektiven Minimierung von Fremdwasser hat sich eine koordinierte Vorgehensweise in der öffentlichen und privaten Kanalisation als sinnvoll erwiesen.

Durch das Investitionsprogramm Abwasser werden in Nordrhein-Westfalen Maßnahmen zur Sanierung von undichten Abwasserkanälen in Fremdwassergebieten finanziell unterstützt (vgl. [7]). Diese Förderung gilt gleichermaßen für Hausanschlussleitungen in Fremdwassergebieten.

Im Januar 2004 beauftragte das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW) das IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur mit dem Forschungsprojekt „Vergleichende Prüfung der Qualität von Sanierungsverfahren für Anschlusskanäle“ (Aktenzeichen IV-9-041 105 0180) [8]. Im Rahmen dieses Projektes wurden u.a. anhand von Prüfungen und Tests die Materialqualität und Einsetzbarkeit von Schlauchlinerprodukten für Hausanschlussleitungen untersucht. Das Testergebnis zeigte, dass nur wenige Produkte weitgehend den Anforderungen der Kanalnetzbetreiber entsprachen. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse haben zahlreiche Verfahrensanbieter ihre Produkte verbessert oder die Entwicklung neuer Systeme vorangetrieben. Heute kann der Auftraggeber aus einer Vielzahl von bauaufsichtlich zugelassenen Produkten auswählen.

Vor diesem Hintergrund beauftragte das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen das IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur erneut mit der vergleichenden Prüfung der Qualität von Schlauchlinerverfahren für Hausanschlussleitungen. Neben den bereits etablierten Anforderungen werden mit Blick auf die Fremdwassersanierung auch die Auswirkungen von Außenwasserdruck auf die in Anschlusskanäle eingebauten Schlauchliner umfassend untersucht.

Das 2005 abgeschlossene Projekt [8] zeigte auch, dass die im Bereich öffentlichen Kanalisation übliche Qualitätssicherung durch Prüfung von Linerproben (Dichtheitsprüfung nach APS [9], Prüfung mechanischer Kennwerte usw.) für sanierte Anschlusskanäle und Grundleitungen aufgrund der erschwerten Probengewinnung teilweise schwierig oder gar nicht anzuwenden ist.

Damit ergaben sich aus den Ergebnissen der Schlauchliner-Untersuchung unmittelbar folgende offene Fragestellungen:

1. Sind bogengängige Schlauchlinerprodukte für den Nennweitenbereich DN 100 bis DN 300 am Markt verfügbar, die beispielsweise hinsichtlich Dichtheit (auch unter Außenwasserdruck) und Funktionsfähigkeit (z. B. keine bzw. nur geringe Falten- und Kantenbildung) die Qualitätsanforderungen der Kanalnetzbetreiber erfüllen?
2. Welche Auswirkungen hat anstehendes Grundwasser (Außenwasserdruck) auf den eingebauten Schlauchliner?
3. Inwieweit sind die bisher angewandten Qualitätssicherungsmaßnahmen für die Sanierung von Hauptkanälen mit Schlauchlinern auf die Schlauchliner-Sanierung

von Anschlusskanälen und Grundleitungen übertragbar oder müssen ggf. neue Methoden zur Qualitätskontrolle eingesetzt werden?

Ziel des IKT-Warentests „Hausanschluss-Liner“ ist es, diese noch offenen Fragen gemeinsam mit dem Lenkungskreis der Kanalnetzbetreiber zu beantworten. Praxisnahe Tests in simulierten Versuchskanälen im Großversuchsstand des IKT stehen dabei im Mittelpunkt der Untersuchung der heute am Markt angebotenen Linerqualität.

## 1.2 Konzept des IKT-Warentests

Durch den IKT-Warentest „Hausanschluss-Liner“ werden den Kanalnetzbetreibern zuverlässige und unabhängige Informationen über die Produkteigenschaften marktgängiger Sanierungsverfahren zur Verfügung gestellt. Die Kommunen in Nordrhein-Westfalen sind gemäß §61a (5) des Landeswassergesetzes [5] verpflichtet, die Grundstückseigentümer über die Durchführung der gesetzlich geforderten Dichtheitsprüfung zu unterrichten und zu beraten. Zur weitergehenden Beratung erhält der Kanalnetzbetreiber Informationen zur Leistungsfähigkeit sowie Angaben über Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen von Sanierungsprodukten. Der Bedarf an derartigen Informationen ist groß, da häufig Unsicherheit herrscht, inwieweit die Produktqualität den Zusicherungen der Anbieter tatsächlich entspricht.

Zentraler Aspekt aller IKT-Warentests ist der praxisnahe Vergleich von Produkten und Verfahren. Im Vordergrund steht die Überprüfung der von den Kanalnetzbetreibern gestellten Praxisanforderungen. Daher werden die IKT-Warentests basierend auf den Erfahrungen der beteiligten Kanalnetzbetreiber entwickelt. Die Auswahl der zu testenden Produkte und Verfahren obliegt dem Lenkungskreis der Kanalnetzbetreiber. Das gesamte Testprogramm wird in regelmäßigen Arbeitssitzungen mit den Kanalnetzbetreibern erarbeitet und abgestimmt. Die ausgewählten Produkte und Verfahren werden somit auf der Grundlage der Qualitätsanforderungen der Kanalnetzbetreiber geprüft.

Nach Abschluss eines IKT-Warentestes stehen den Kanalnetzbetreibern unabhängige, praxisorientierte und fachlich fundierte Auskünfte über die beobachteten Stärken, Schwächen und Einsatzmöglichkeiten bzw. –grenzen der untersuchten Produkte und Verfahren zur Verfügung.

## 1.3 Beteiligte Kanalnetzbetreiber

Am IKT-Warentest „Hausanschluss-Liner“ waren die folgenden Kanalnetzbetreiber beteiligt:

- Stadtwerke Aachen AG,
- Stadt Alsdorf, Eigenbetrieb Technische Dienste,
- Stadt Bielefeld,

- Entsorgungs- und Servicebetrieb Bocholt,
- Stadt Datteln,
- Stadt Detmold,
- Stadtentwässerungsbetriebe Düsseldorf,
- Stadtwerke Essen AG,
- Stadt Gladbeck,
- Stadtentwässerung Göttingen,
- Stadt Hilden,
- Stadtentwässerungsbetriebe Köln AöR,
- Stadt Lemgo,
- Stadt Monheim am Rhein,
- Schwalmtalwerke AöR,
- KOWA Wasserverband Vorsfelde und Umgebung,
- Wuppertaler Stadtwerke AG.

Die Netzbetreiber haben den Test während des gesamten Projektverlaufs intensiv begleitet. In sechs Arbeitssitzungen wurden die zu testenden Verfahren ausgewählt und die Testinhalte – vom Untersuchungsprogramm bis zur Bewertung – abgestimmt.

## 2 Stand der Technik

### Anforderungen aus dem Normen- und Regelwerken

Die im technischen Regelwerk geforderten Maßnahmen zur Instandsetzung undichter abwasserführender Leitungen spiegeln die Einschätzung der Fachwelt bezüglich des Gefährdungs- oder Risikopotentials, welches von diesen Leitungen ausgeht, wieder. Bereits im Meyerschen Konversationslexikon von 1885 bis 1892 [10] findet sich nachfolgende Beschreibung:

*„Man hat der Kanalisation Bodenverunreinigung und Verbreitung von Kanalgasen in die Wohnräume vorgeworfen. Erstere würde zur Verunreinigung des Grundwassers und der Bodenluft führen, sie ist nur möglich bei Undichtheit der Kanalwandung, welche die Technik zu vermeiden hat. Namentlich dürfen auch keine Einlässe für Grundwasser angebracht werden, wie man sie benutzt hat, um den Boden trocken zu legen, den Grundwasserspiegel zu senken. Die Kanalwand vollkommen wasserdicht herzustellen, ist ein unlösbares technisches Problem, wohl aber besitzen die neuern Anlagen eine solche Dichtheit der Wandungen, daß die Aufgabe als für die vorliegenden Zwecke gelöst betrachtet werden kann. Diese Undurchlässigkeit wird we-*

*sentlich mit erreicht durch die in den Kanälen unter Beihilfe von niedern Organismen sich bildende Sielhaut, welche alle Poren verschließt. Aber selbst wenn geringe Mengen des Kanalinhalt in den Boden gelangen, so reicht die Selbstreinigung des Bodens völlig aus, um dieselben unschädlich zu machen. Aufgrabungen an Münchener Kanälen und Untersuchung des Bodens aus der nächsten Umgebung haben dies vollkommen bestätigt.“*

Die beschriebene Vermeidung von Fremdwasserzuflüssen ist weiterhin Ziel der Wasserwirtschaft. Bezüglich der Anforderungen, die an die Dichtheit von Abwasserleitungen gestellt werden, hat der technische Fortschritt der letzten mehr als 100 Jahre zu einer deutlich höheren geforderten Qualität geführt. Ziel der Kanalnetzbetreiber ist es heute, ein standsicheres, funktionsfähiges und dichtes Abwassernetz zu erhalten oder herzustellen.

Gemäß DIN EN 1610 [11] sind Rohrleitungen technische Konstruktionen, bei denen das Tragsystem Rohr/Boden durch das Zusammenwirken von Bauteilen, Einbettung und Verfüllung die Grundlage für Stand- und Betriebssicherheit ist. Die zugelieferten Teile, wie Rohre, Formstücke und Dichtmittel, zusammen mit der vor Ort zu erbringenden Leistung, wie Bettung, Herstellung der Rohrverbindung und Seiten- und Hauptverfüllung, sind wichtige Faktoren, damit die bestimmungsgemäße Funktion des Bauwerks sichergestellt wird.

Im Interesse der öffentlichen Sicherheit legt die DIN 1986-100 [12] in Ergänzung zur DIN EN 12056 Teil 1 bis 5 [13, 14, 15, 16, 17] einheitliche technische Bestimmungen für Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung von Entwässerungsanlagen zur Ableitung von Abwasser in Gebäuden und auf Grundstücken fest, die überwiegend mit Freispiegelleitungen betrieben werden. Maßnahmen zur Instandhaltung in Betrieb befindlicher Entwässerungsanlagen von Gebäuden und Grundstücken werden zusätzlich in DIN 1986-30 [18] geregelt. Anschlusskanäle, die nach [13] zwischen Hauptkanal und der ersten Revisionsöffnung auf dem Grundstück liegen, werden explizit in dieser Norm nicht behandelt (vgl. Abbildung 1).

Diese Hausanschlussleitungen sind in der Regel in Nennweiten von DN 100 bis DN 200 ausgeführt und bestehen überwiegend aus Steinzeug- oder PVC-Rohren. Entwässerungsleitungen außerhalb von Gebäuden im nicht begehbaren Nennweitenbereich sind nach DIN EN 752 [19] so zu planen, dass bei Änderungen der Richtung, des Gefälles oder der Dimension ein Schacht anzuordnen ist. Diese Grundsätze werden in der Regel im Bereich der Grundstücksentwässerung nicht herangezogen. Die Tiefenlage und das Gefälle einer Hausanschlussleitung werden stark durch die örtlichen Randbedingungen bestimmt. Sie können Gefällewechsel und extreme geometrische Randbedingungen z.B. 90°-Bögen aufweisen. Ebenso können Dimensions- oder Materialwechsel auftreten. Entsprechende Formteile im Nennweitenbereich DN 100 bis DN 200 werden von den Rohrherstellern angeboten.

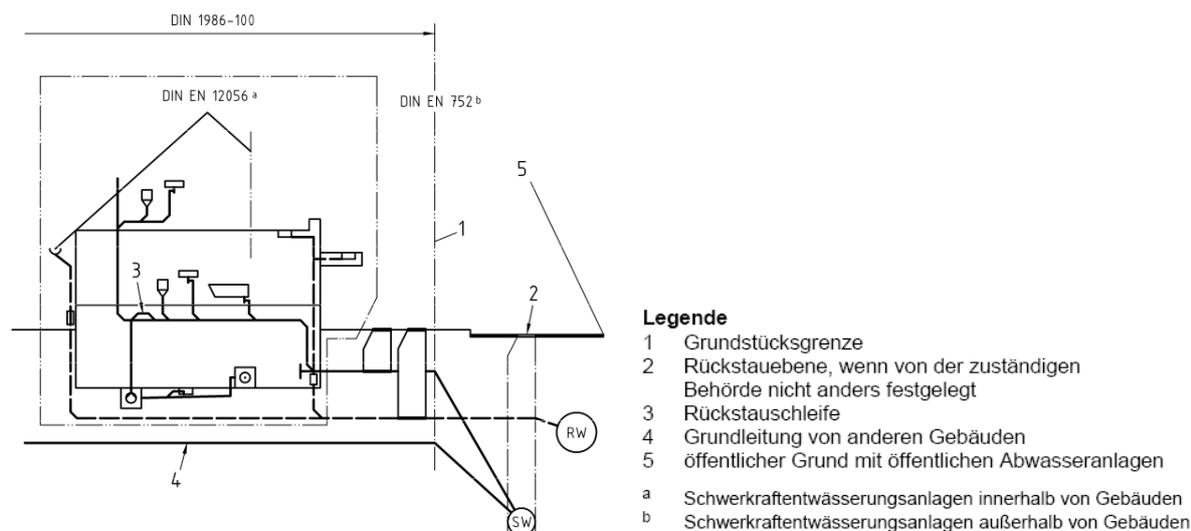


Abbildung 1: Leitungen der Grundstücksentwässerung, Prinzipskizze zum Anwendungsbereich der jeweiligen Regelwerke, aus [12]

Bei der Verwendung von Bauprodukten muss zwischen dem „öffentlichen“ und dem „privaten“ Bereich unterschieden werden. Bei einem „privaten“ Anwender darf nicht von einer fundierten Fachkenntnis bezüglich der Verwendung von Bauprodukten ausgegangen werden. Hier bietet z.B. die Landesbauordnung Nordrhein-Westfalen [20] einen Schutzmechanismus, um die Verwendung qualitativ hochwertiger Bauprodukte sicherzustellen. Die Landesbauordnungen unterscheiden zwischen geregelten, nicht geregelten und sonstigen Bauprodukten. Geregelte Bauprodukte entsprechen den technischen Regeln oder weichen von ihnen nicht wesentlich ab. Nicht geregelte Bauprodukte sind Bauprodukte, die wesentlich von den technischen Regeln abweichen oder für die es keine technischen Baubestimmungen oder allgemein anerkannten Regeln der Technik gibt.

Nicht geregelte Bauprodukte dürfen in Nordrhein-Westfalen gemäß Landesbauordnung [20] im „privaten“ Bereich verwendet werden, wenn:

- eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung,
- ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis oder
- eine Zustimmung im Einzelfall vorliegt.

Ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis ist ausreichend, wenn die Verwendung nicht der Erfüllung erheblicher Anforderungen an die Sicherheit baulicher Anlagen dient oder die Bauprodukte nach allgemein anerkannten Prüfverfahren beurteilt werden können.

Ausgenommen sind Bauprodukte, die für die Erfüllung der Anforderungen dieses Gesetzes oder auf Grund dieses Gesetzes nur eine untergeordnete Bedeutung haben und die das Deutsche Institut für Bautechnik im Einvernehmen mit der obersten Baurechtsbehörde in der Bauregelliste Teil C bekanntgemacht hat.

Schlauchliner zur Sanierung von abwasserführenden Leitungen auf privaten Grundstücken zählen zu den nichtgeregelten Bauprodukten und bedürfen in Nordrhein-Westfalen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) (s. Tabelle 1).

## Betriebseinflüsse durch Kanalreinigung

Reinigungen gemäß eines Spülplanes – vergleichbar der öffentlichen Kanalisationsnetze – werden in der Regel bei Hausanschlussleitungen nicht durchgeführt. Eine Reinigung findet gewöhnlich nur dann statt, wenn ein Betriebsproblem wie z.B. Rückstau oder Verstopfung vorliegt. Im Nennweitenbereich ab DN 100 kommen dann sowohl mechanische Reinigungsgeräte als auch die Wasserhochdruckreinigung zum Einsatz.

Rohrreinigungsspiralen sind z.B. aus Stahl gefertigt und es ist durch ihre elastische Form möglich, Verschmutzungen auch an schwer zugänglichen Stellen in einer Leitung zu entfernen, da die Welle dem Rohrverlauf folgen kann und trotz Abwinkelungen bis zur Spitze drehbar bleibt. Rohrreinigungsspiralen gibt es in verschiedenen Dimensionen: die gebräuchlichsten haben 8, 16, 22 und 32 mm Durchmesser, die je nach Rohrdimension und Bogengängigkeit eingesetzt werden. Die Spiralen sind 2 bis 4 Meter lang und können über Kupplungen nahezu unendlich verlängert werden. Es gibt verschiedene Aufsätze: Bohrer für festsitzende, harte Verstopfungen, Fräsen für Wurzeleinwuchs sowie Schleuderketten für Verkrustungen an den Rohrwandungen. Neben den motorgetriebenen Modellen für den professionellen Einsatz gibt es auch einfache Rohrreinigungsspiralen mit Handantrieb.

Neben den mechanischen Reinigungsgeräten wird auch das Verfahren der Wasserhochdruckreinigung zur Beseitigung von Ablagerungen im Bereich der Grundstücksentwässerung eingesetzt. Für den Einsatz im Nennweitenbereich ab DN 100 werden unterschiedliche Reinigungsdüsen eingesetzt. Gebräuchlich sind sowohl rundumstrahlende Düsen oder Stocherdüsen als auch Rotationsdüsen. Mit den gebräuchlichen Kanalspülpumpen sind Arbeitsdrücke bis über 200 bar realisierbar [21].

## Sanierung von Hausanschlussleitungen mit Schlauchlinern

Ein verbreitetes Verfahren zur Sanierung von Hausanschlussleitungen ist das Schlauchlining. Das Schlauchlining wird der Gruppe der Renovierungsverfahren zugeordnet. Ziel ist die Wiederherstellung oder Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit und Dichtheit des vorhandenen Entwässerungssystems unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz.

Beim Schlauchlining wird ein flexibler Schlauch aus Trägermaterial mit einem Reaktionsharz getränkt und in die zu renovierende Hausanschlussleitung eingebracht. Der Schlauchliner wird dann mit Wasser- oder Luftdruck formschlüssig an die Rohrwandung des Altrohres gepresst. Durch das anschließende Aushärten des Reaktionsharzes entsteht ein neues muffenloses und gewebeverstärktes Kunststoffrohr in der bestehenden Rohrleitung.

Für den Einsatz des Schlauchlinings im Nennweitenbereich der Grundstücksentwässerung ist eine Vielzahl von Produkten bauaufsichtlich zugelassen. Die Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über Schlauchlinerverfahren mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung.

Für den Nennweitenbereich ab DN 100 werden Schlauchlinerverfahren mit Glasgewebematten, Polyesterfadefilzschläuchen oder Polyesterfaserschläuchen als Trägermaterial angeboten. Im Rahmen des IKT-Warentests „Hausanschluss-Liner“ wurden speziell die besonders bogengängigen Schlauchlinerverfahren geprüft, so dass sich unter den gegebenen Randbedingungen z.B. der Einsatz von Linern mit einer reinen Glasgewebematte als Trägermaterial ausschloss. Getestet wurden somit Linersysteme, die einen Polyesterfadefilzschlauch oder einen Polyesterfaserschlauch als Trägermaterial einsetzen. Bei einem Produkt wurde ein Polyesterfadefilzschlauch mit Glasfaserverstärkung verwendet.

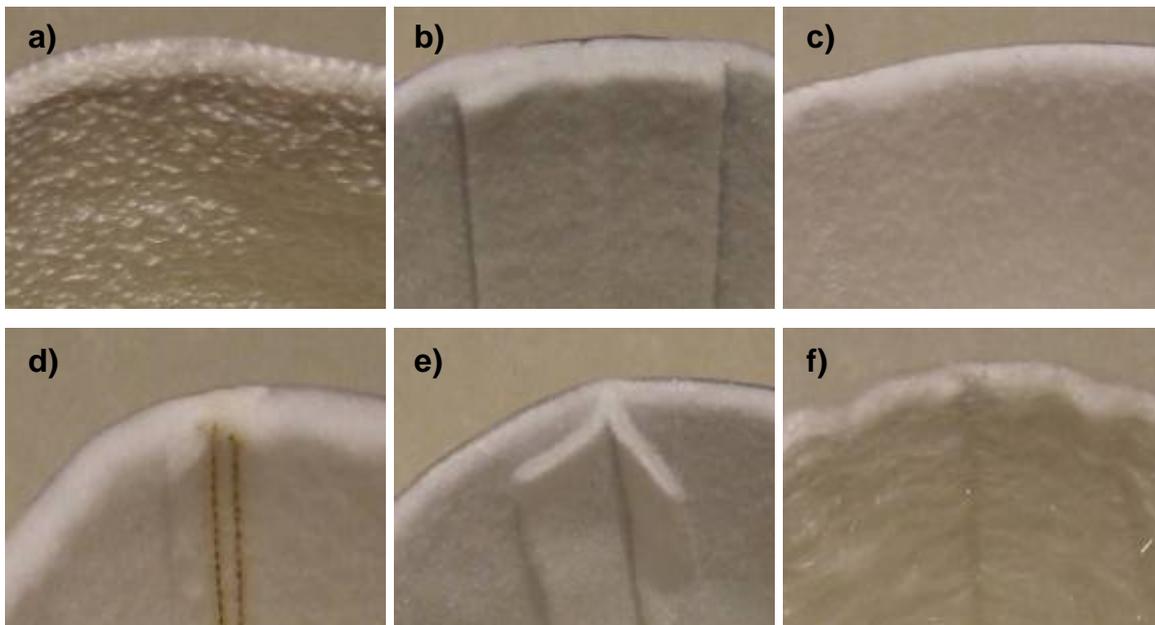


Abbildung 2: Im IKT-Warentest „Hausanschluss-Liner“ eingesetzte Trägermaterialien

- a) Polyesterfaserschlauch mit Polyesterurethan-Folie
- b) Polyester-Nadelfilzschlauch mit Polyvinylchlorid-Folie
- c) Polyester-Nadelfilzschlauch mit Polyurethan-Folie
- d) Polyesterfaserschlauch mit Polyurethan-Folie
- e) Polyesterfaserschlauch mit Polyurethan-Folie
- f) Polyester-Nadelfilzschlauch/ECR Glas mit Polyurethan-Folie

Tabelle 1: Schlauchlinerverfahren mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (Stand 2008)

Zulassungsnummer	Zulassungsgegenstand, Schlauchlinungsverfahren
Z-42.3-305	Schlauchlinungsverfahren mit der Bezeichnung „ <b>Insituform</b> “ zur Sanierung schadhafter erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 1600, Kreis- und Eiprofilquerschnitte
Z-42.3-330	Schlauchlinungsverfahren mit der Bezeichnung „ <b>Brandenburger Liner</b> “ zur Sanierung von erdverlegten schadhafter Abwasserleitungen mit Kreisprofil- und Eiprofilquerschnitten im Nennweitenbereich DN 150 bis DN 1000 und 200/300 bis 800/1200
Z-42.3-335	Schlauchlinungsverfahren mit der Bezeichnung „ <b>KM INLINER</b> “ für die Sanierung erdverlegter Abwasserleitungen mit Kreisprofilen im Nennweitenbereich DN 150 bis DN 1200
Z-42.3-336	Schlauchlinungsverfahren mit der Bezeichnung „ <b>Berolina Liner</b> “ zur Sanierung von erdverlegten schadhafter Abwasserleitungen in den Nennweiten DN 200 bis DN 800
Z-42.3-350	Schlauchlinungsverfahren mit der Bezeichnung „ <b>SAERTEX-Liner</b> “ zur Sanierung schadhafter Abwasserkanäle und -leitungen in den Nennweiten DN 100 bis DN 1200
Z-42.3-362	Schlauchlinerverfahren mit der Bezeichnung „ <b>BRAWOLINER</b> “ zur Sanierung von erdverlegten schadhafter Abwasserleitungen in den Nennweiten DN 100 bis DN 200
Z-42.3-364	Schlauchlinungsverfahren mit der Bezeichnung „ <b>Mr. PIPE-Liner</b> “ zur Sanierung von erdverlegten schadhafter Abwasserleitungen in den Nennweiten DN 100 bis DN 300
Z-42.3-365	Schlauchlinungsverfahren mit der Bezeichnung „ <b>IMPREG-Liner</b> “ für die Sanierung erdverlegter Abwasserleitungen mit Kreis- und Eiprofilquerschnitten im Nennweitenbereich DN 150 bis DN 1200
Z-42.3-375	Schlauchlinungsverfahren mit der Bezeichnung „ <b>epros Drainliner-verfahren</b> “ zur Sanierung erdverlegter schadhafter Abwasserleitungen in den Nennweiten DN 100 bis DN 300
Z-42.3-377	Schlauchlinungsverfahren mit der Bezeichnung „ <b>RS-CityLiner</b> “ für die Sanierung erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 150 bis DN 600
Z-42.3-380	Schlauchlinungsverfahren mit der Bezeichnung „ <b>UniLiner</b> “ für die Sanierung erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 1200
Z-42.3-389	Schlauchlinungsverfahren mit der Bezeichnung „ <b>RS MaxLiner</b> “ für die Sanierung erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 200
Z-42.3-396	Schlauchlinungsverfahren mit der Bezeichnung „ <b>Konudur Homeliner</b> “ zur Sanierung schadhafter erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 500
Z-42.3-398	Schlauchlinungsverfahren mit der Bezeichnung „ <b>RS-RoboLiner</b> “ für die Sanierung erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 150 bis DN 400
Z-42.3-402	Schlauchlinungsverfahren mit der Bezeichnung „ <b>pmt-Schlauchliner</b> “ zur Sanierung schadhafter erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 500
Z-42.3-414	Schlauchlinungsverfahren mit der Bezeichnung „ <b>EasyLiner</b> “ zur Sanierung von erdverlegten Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 300 (ThermoLiner und ThermoLiner <sup>plus</sup> )
Z-42.3-416	Schlauchlinungsverfahren mit der Bezeichnung „ <b>lineTEC ProFlex</b> “ zur Sanierung von erdverlegten schadhafter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 200

Mit den Polyesternadelfilzschläuchen bzw. Polyesterfaserschläuchen als Trägermaterial kommen in der Regel Epoxidharze zur Tränkung der Trägermaterialien zum Einsatz. Epoxidharz besteht aus Polymeren, die, je nach Reaktionsführung, unter Zugabe geeigneter Härter, einen duroplastischen Kunststoff von hoher Festigkeit und chemischer Beständigkeit ergeben. Die chemische Reaktion nennt man Polyaddition, sie verläuft in Stufen, d.h. die Monomere können an beiden Enden reagieren und so entstehen zunächst kurze Molekülketten aus wenigen Monomeren (Oligomere), die miteinander oder auch mit längeren Ketten reagieren können. Es werden hierbei keine Nebenprodukte abgespalten, sondern die Monomere reagieren miteinander, indem sich die Atome und die Elektronenpaare verschieben. Das Reaktionsschwinden beträgt dabei 4 bis 5 % des Volumens. Die Polyaddition ist stark exotherm. Daher dürfen insbesondere bei hochreaktiven Systemen keine beliebig großen Mengen von Harz und Härter verarbeitet werden. Die entstehende Reaktionswärme kann so groß werden, dass dieses zu einem Brand führen kann oder zumindest können die Eigenschaften durch die Überhitzung negativ beeinflusst werden [22].

Im Bauwesen werden als Standardharze wesentlich nur zwei Grundtypen verwendet, Bisphenol-A und Bisphenol-F sowie Mischungen aus beiden. Sie bilden das Ausgangsprodukt für das Epoxidharz und können evtl. Hautirritationen und Allergien hervorrufen [23]. Die Vielfalt der Verarbeitungs- und Endeigenschaften wird durch den Typ des Härters bzw. der Härterkombination und die Umweltfaktoren bestimmt. Bei einigen Epoxidharzen sind Variationen des Mischungsverhältnisses innerhalb enger Grenzen geeignet um Härte, Elastizität, Reaktivität und andere Eigenschaften gezielt zu beeinflussen. Da die Viskosität des Harzes zwischen 6000 und 8000 mPa·s liegt, werden zur Viskositätsverringerng Reaktivverdünner angewendet. Dadurch wird eine bessere Tränkung des Gewebes gewährleistet.

Bei der Verarbeitung von Epoxidharz müssen das genaue Mischungsverhältnis von Harz und Härter, ein sorgfältiges Mischen der beiden Komponenten, die Topfzeit und die notwendige Aushärtungstemperatur sowie die zulässige Temperatursteigerungsrate beachtet werden. Epoxidharz zeichnet sich durch seine hohe Festigkeit, gute Haftung und gute allgemeine chemische, wie auch mechanische Widerstandsfähigkeit aus [23].

Neben diesen Harzsystemen können auch Silikatharze und ungesättigte Polyesterharze eingesetzt werden. Linersysteme mit diesen „Harzsystemen“ wurde im Rahmen des IKT-Warentests „Hausanschluss-Liner“ nicht untersucht.

Die Trägermaterialien sind in der Regel mit einer auf der Linerrinnenseite industriell gefertigten Innenfolie beschichtet. Diese verhindert beim Aushärten den Kontakt des Liners mit dem Prozesswasser oder dem Wasserdampf. In diesem Fall liegt ein zweischichtiger Wandaufbau vor. Die Innenfolie ist in der Regel kein integraler Bestandteil des Verbundquerschnittes, d.h. sie übernimmt gemäß Zulassung nicht explizit die Dichtwirkung. Der tragende und maßgeblich dichtende Verbundquerschnitt wird demnach durch das Trägermaterial und das Reaktionsharz gebildet.

Wird ein Hausanschlussliner in grundwassergesättigten Zonen eingebaut, ist in der Regel ein sogenannter Preliner (Außenfolie) zwischen dem harzgetränkten Liner und der zu sanierenden Leitung einzusetzen. In diesem Fall weist der Liner einen dreischichtigen Wandaufbau auf. Die Außenfolie verhindert Harzausspülungen und unterbindet gleichzeitig das Austreten von überschüssigem Harz durch Schäden im Altrrohr in das umgebende Erdreich. Durch die Außenfolie entsteht eine Trennschicht zwischen Altrrohr und Liner. Ein zweischichtiger Wandaufbau führt hingegen dazu, dass der Schlauchliner mit dem Altrrohr verklebt. Diese Verklebung findet bei einem dreischichtigen Wandaufbau mit Außenfolie nicht statt.

Schlauchliner lassen sich aufgrund ihrer Konfektionierbarkeit an nahezu alle Profilquerschnitte anpassen. Die Trägermaterialien müssen mit dem Harz vollständig imprägniert werden. Die Imprägnierung erfolgt unmittelbar auf der Baustelle. Zum Einbau wird überwiegend das Inversionsverfahren eingesetzt. Zur Inversion wird der imprägnierte Liner mit Luftdruck in die Hausanschlussleitung gestülpt. Zum Einbau werden Inversionstrommeln oder ein als „LinerGUN“ bezeichnetes Inversionsgerät für das Schlauchlining bis DN 250 eingesetzt (vgl. Abschnitt 4.1.3.2). Die Aushärtung erfolgt durch Warmhärtung mit Wasser oder Dampf. Linerprodukte für die Lichtaushärtung werden bei der Sanierung von Hausanschlussleitungen zurzeit noch nicht angeboten. Entsprechende Produktentwicklungen werden jedoch vorangetrieben [24].

### 3 Hausanschlussliner im Test

Folgende Verfahrensanbieter wurden für eine mögliche Teilnahme am IKT-Warentest „Hausanschluss-Liner“ grundsätzlich ausgewählt und um Abgabe eines Angebotes für die Sanierung gebeten (in alphabetischer Reihenfolge):

- Alocit Chemie GmbH, Konstanz,
- Bodenbender GmbH, Biedenkopf-Breidenstein,
- I.S.T. GmbH, Bochum,
- Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein,
- MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG, Bottrop,
- Mr. PIPE Rohr- und Kanalsanierungstechnik GmbH, Deggendorf,
- RABMER Bau- und Installations GesmbH, Altenberg,
- RS-Technik AG, Esslingen,
- Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg,
- VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen.

Der Versuchsaufbau erlaubte es, bis zu sechs Verfahren vergleichend zu testen. Die folgenden der o.a. Verfahrensanbieter nahmen nicht am IKT-Warentest teil (in alphabetischer Reihenfolge):

- **Alocit Chemie GmbH, Konstanz**

Der Hausanschlussliner befindet sich noch in einer Entwicklungs- und Erprobungsphase, so dass kein marktreifes Produkt getestet werden konnte [25]. Ein Angebot zur Sanierung wurde nicht abgegeben.
- **Bodenbender GmbH, Biedenkopf-Breidenstein**

Bei dem PL-Inliner-System wird als Trägermaterial ein Polyesterfaserschlauch der Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein (KOB) verwendet. KOB setzt das Trägermaterial auch selbst im Warentest ein, allerdings in Verbindung mit einem anderen Harz als sog. BRAWOLINER. Um Interessenskonflikte zwischen den Beteiligten zu vermeiden, verzichtete die Bodenbender GmbH auf den Einsatz ihres Produktes im Warentest [26]. Ein Angebot zur Sanierung wurde nicht abgegeben.
- **I.S.T. GmbH, Bochum**

Der Verfahrensanbieter hält es „nicht für notwendig [...] unser System in kurzen Abständen von unterschiedlichsten Prüfinstituten testen und bewerten zu lassen.“ [27] Als Begründung wird u.a. darauf hingewiesen, dass bereits eine Vielzahl von Prüfungen zur Erlangung der DIBt-Zulassung Z-42.3-414 durchgeführt worden seien und regelmäßige Produktions- und Qualitätssicherungen durch ein akkreditiertes Prüflabor durchgeführt würden. Ein Angebot zur Sanierung wurde nicht abgegeben.
- **MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG, Bottrop**

Das Angebot der MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG [28] überstieg um ca. 30% das höchste Einstiegsangebot der übrigen Anbieter und um ca. das Dreifache den tatsächlich vergüteten Durchschnittspreis entsprechend des kalkulierten Projektbudgets. Von einer Beauftragung wurde daher abgesehen.
- **Mr. PIPE Rohr- und Kanalsanierungstechnik GmbH, Deggendorf**

Zum Zeitpunkt der Warentest-Anfrage endet die fünfjährige Gültigkeit der DIBt-Zulassung des „Mr. PIPE-Liners“. Um zu vermeiden, dass die Bearbeitung im Warentest zeitgleich zu den Prüfungen für die Verlängerung der DIBt-Zulassung erfolgten, verzichtete die Mr. PIPE Rohr- und Kanalsanierungstechnik GmbH auf die Abgabe eines Angebots [29].
- **RABMER Bau- und Installations GesmbH, Altenberg**

Von der RABMER Bau- und Installations GesmbH wurde trotz mehrfacher Aufforderung kein Angebot abgegeben.

Nach Abstimmung mit dem Lenkungskreis der Kanalnetzbetreiber wurden die nachfolgend aufgeführten Linerprodukte für die vergleichende Untersuchung ausgewählt und die Verfahrensanbieter mit der Durchführung der Sanierungsarbeiten beauftragt (in alphabetischer Reihenfolge):

- BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, DN 125, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein,
- BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, DN 150, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein,
- RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, DN 125, RS-Technik AG, Esslingen,
- RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, DN 150, RS-Technik AG, Esslingen,
- DrainPlusLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, DN 125, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg,
- epros<sup>®</sup>DrainPlusGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, DN 125, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg,
- DrainLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, DN 150, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg,
- epros<sup>®</sup>DrainGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, DN 150, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg,
- lineTEC ProFlex Liner, Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40, DN 125, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen,
- lineTEC ProFlex Liner, Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40, DN 150, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen.

Das Test-Programm und die Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

## 4 Test-Programm und Ergebnisse

### 4.1 Systemprüfungen

Die Systemprüfungen der Hausanschlussliner beinhalten die in Tabelle 2 dargestellten Prüfkriterien. Die Einzelpunkte werden nachfolgend detailliert dargestellt.

Tabelle 2: Prüfungsschwerpunkte „Systemprüfungen“

Prüfung		Kriterium
Funktionsfähigkeit / Hydraulik		Falten, Kanten u.a.
Dichtheit	Strangprüfung	Sanierungsergebnis nach HD-Reinigung
	Laminatprüfung	Durchlässigkeit / APS-Prüfung
	Außenwasserdruck	Umläufigkeit Lösen der Folie Beulen
Tragfähigkeit der Struktur		Verbunddicke E-Modul 24h-Kriechneigung Dichte
Empfindlichkeit unter Auftrieb		

#### 4.1.1 Anforderungen

Die Systemprüfungen liefern Ergebnisse bezüglich der Einsatzmöglichkeiten, der Sanierungsqualität und der Einsatzgrenzen der getesteten Hausanschlussliner. Die Systemprüfungen fanden in Versuchsstrecken im IKT-Großversuchsstand statt. Die Versuchsstrecken wurden mit den ausgewählten Hausanschlusslinern saniert. Anschließend wurden die Hausanschlussliner einem umfassenden Prüfprogramm unterzogen, in dessen Mittelpunkt die Anforderung nach Funktionsfähigkeit, Dichtheit und Tragfähigkeit der Struktur stand. Bezüglich der Dichtheit wurden sowohl das Belastungsszenario Innendruck als auch Außenwasserdruck, sowie Einflüsse der HD-Reinigung betrachtet. Im Bezug auf die Tragfähigkeit der Struktur wurden die Materialkennwerte und mechanischen Kennwerten des Hausanschlussliners betrachtet. Die Empfindlichkeit unter Auftrieb wurde gesondert bewertet.

Veränderungen der Langzeiteigenschaften des Materials durch chemische Umsetzungsprozesse oder –reaktionen wurden im Rahmen des IKT-Warentests nicht untersucht. Wurde die chemische Zusammensetzung der eingesetzten Materialkompo-

nennten zwischenzeitlich durch den Hersteller nicht verändert, ist davon auszugehen, dass die Widerstandsfähigkeit der der DIBt-Zulassung entspricht. Auch sind auf der Belastungsseite keine besonderen chemischen Beanspruchungen zu erwarten, denn der Abwasserproduzent muss nach WHG [2] seine Abwässer vor Einleitung in die öffentliche Kanalisation (sogenannte Indirekteinleitung) gemäß dem Stand der Technik vorbehandeln, d.h. gemäß Anforderungen der Abwasserverordnung. Das gilt insbesondere für Abwässer aus der gewerblich-industriellen Abwasserproduktion. Die gegenüber häuslichen Abwässern vergleichsweise hoch belasteten Abwässer sollen vor dem Einleiten in die Kanalisation vorbehandelt werden, um auf diese Weise deren gefahrloses Fortleiten und Behandeln zu ermöglichen und letztlich mittelbar die Beschaffenheit des Abwassers zum Zeitpunkt der Gewässer(direkt-)einleitung zu beeinflussen [30].

Bei der Bewertung der Hausanschlussliner wurde folglich die Annahme getroffen, dass das abzuführende Abwasser den Vorgaben des LWG [5] und des technischen Regelwerkes entspricht. So darf nicht häusliches Abwasser gemäß dem Merkblatt DWA-M 115-2 [31] beim Einleiten in öffentliche Abwasseranlagen eine Temperatur von 35°C nicht überschreiten. Entsprechend wurde nicht untersucht, inwieweit z.B. übermäßig heißes Wasser oder Abwässer mit aggressiven Inhaltsstoffen, die möglicherweise unsachgemäß über die Hausanschlussleitung entsorgt werden, die Qualität des Liners verändern.

#### 4.1.2 Versuchsstrecken und Zustandsbilder

In den IKT-Großversuchsstand wurden in sechs Ebenen insgesamt 36 Hausanschlussleitungen eingebaut und mit Boden überschüttet. Die Hausanschlussleitungen lagen dabei in zwei unterschiedlichen Varianten vor. Es wird unterschieden zwischen einer „Standardsituation“ und einer „Extremsituation“. Beide Leitungstypen enthalten verschiedene Bögen (15° bis 45°) sowie definiert eingebaute Schadensbilder (Scherbenbildung, Radial- und Längsrisse, einragender Drainageanschluss, Lageabweichung). Die Länge der einzelnen Leitungen betrug jeweils ca. 12 m. Alle Rohrverbindungen entlang der Haltung waren undicht. Die Hausanschlussleitungen waren mit fachgerecht eingebauten Sattelstücken an eine Gussleitung (Hauptkanal) DN 300 angeschlossen.

Als „Standardsituation“ wird eine Hausanschlussleitung mit einer durchgehenden Nennweite DN 150, dem Alrohrwerkstoff Steinzeug und einem Zugang über eine Revisionsöffnung (PVC-KG-Reinigungsrohr) bezeichnet.

Die „Extremsituation“ beinhaltete zusätzlich einen Werkstoffwechsel innerhalb der Leitung und eine Änderung der Nennweite von DN 125 auf DN 150. Den Beginn des Leitungstyps „Extremsituation“ stellte ein 90°-Bogenstück aus Steinzeug dar. Durch dieses 90°-Bogenstück erfolgte die Sanierung. Die Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen die schematische Darstellung der erstellten Anschlusskanäle und die in den Großversuchsstand eingebauten Anschlusskanäle.

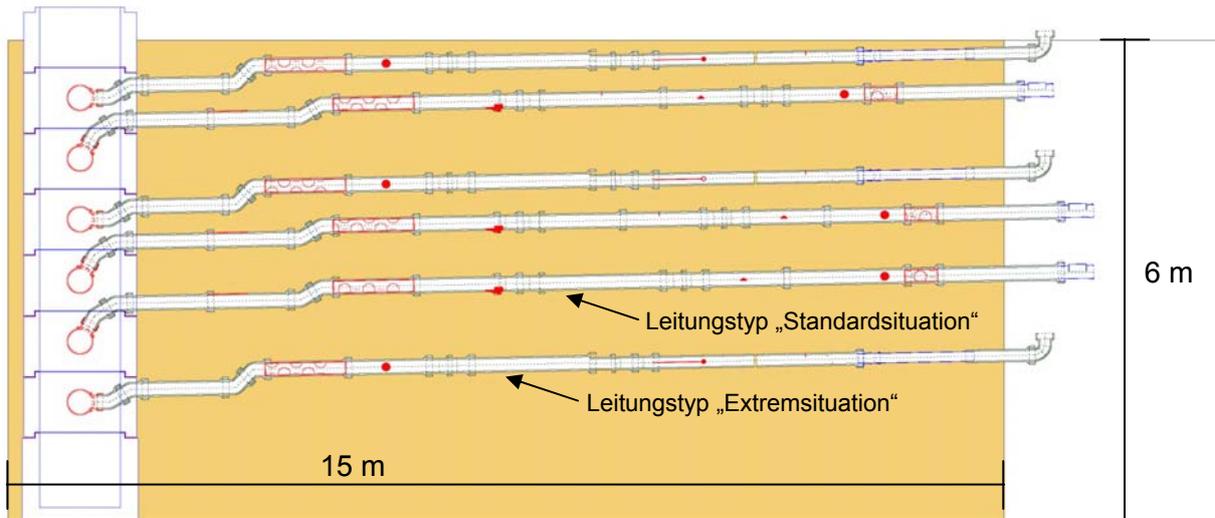


Abbildung 3: Seitenansicht des Versuchsaufbaus

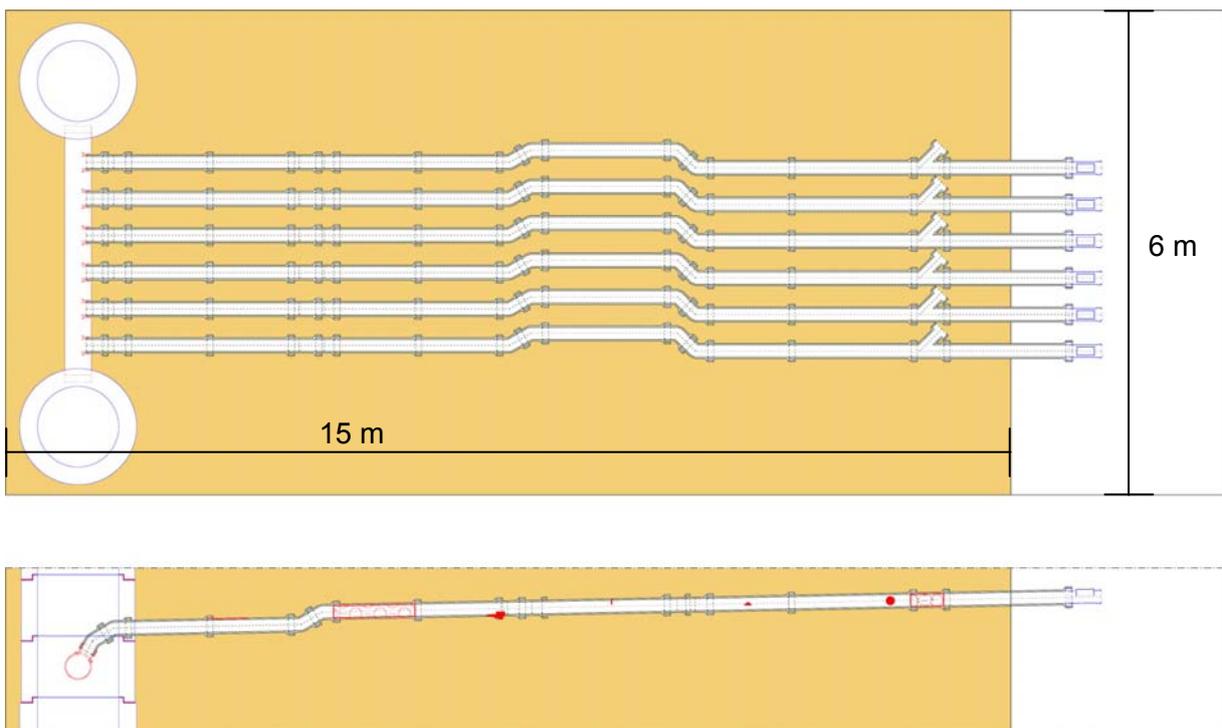


Abbildung 4: Schematische Drauf- und Seitenansicht des Versuchsaufbaus, „Standardsituation“ (Ebene 5)

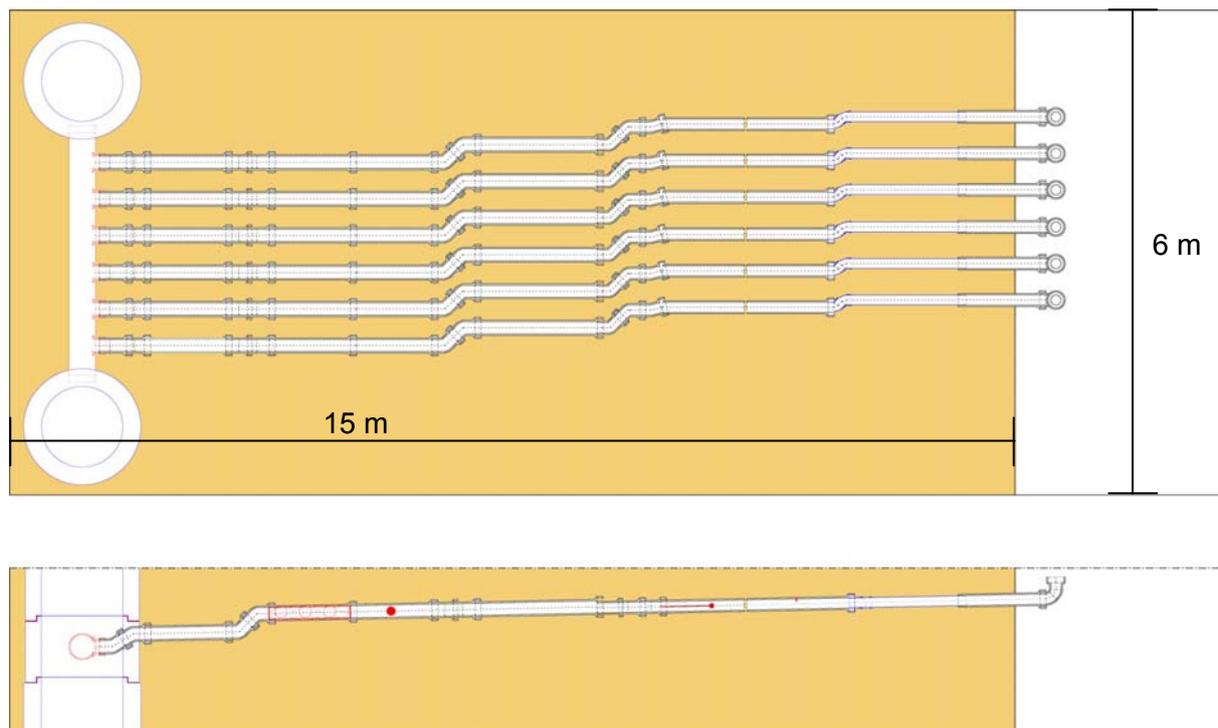


Abbildung 5: Schematische Drauf- und Seitenansicht des Versuchsaufbaus, „Extremersituation“ (Ebene 6)

Die erstellten Schadensbilder in den Anschlusskanälen wurden ausgehend von den Erfahrungen in [32] nach Vorgaben des Lenkungskreises der Kanalnetzbetreiber erstellt. Die als typisch für den Hausanschlussbereich angesehenen Schäden wurden dabei in Schadensbilder übertragen, die für die Systemprüfungen im IKT-Großversuchsstand wiederholbar herzustellen waren. Es wurden Längs- und Querrisse, Scherben und fehlende Rohrstücke eingebracht. Tabelle 3 stellt die eingebrachten Zustands- und Schadensbilder in den Hausanschlussleitungen beispielhaft dar.

Tabelle 3: Schäden, Bögen und Revisionsöffnung in den Anschlusskanälen

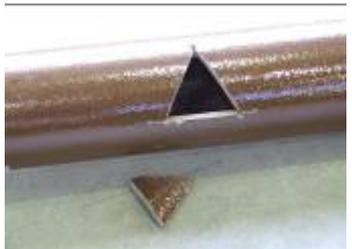
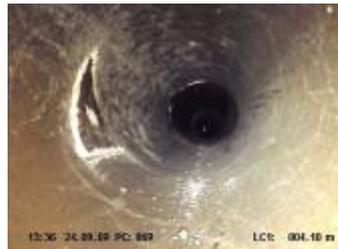
Beschreibung der Zustands- und Schadensbilder	Fotodokumentation der Zustands- und Schadensbilder	Fotodokumentation der Zustands- und Schadensbilder (Inspektionsvideo)
Steinzeugrohr DN 150, Länge 1,0 m <ul style="list-style-type: none"> <li>• fehlende Dichtung</li> <li>• Scherbenbildung in der Rohrsohle, Lage: Rohrmuffe, Fläche: 20 cm breit, dreieckförmig 20 cm in Rohrlängsrichtung</li> </ul>		

Tabelle 3: Fortsetzung

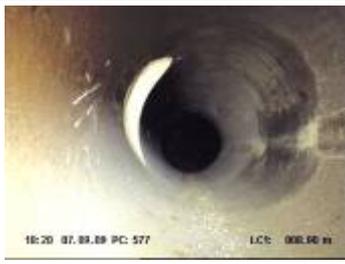
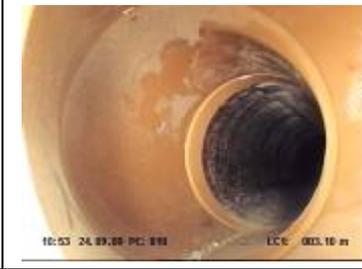
<p>Steinzeugrohr DN 125, Länge 1,25 m</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohrmuffe abgetrennt, fehlende Dichtung</li> <li>• Fehlstelle DN 100 im Rohrkämpfer, Lage: Rohrmitte</li> <li>• Längsriss im Rohrkämpfer, Länge 50 cm, Rissbreite 2 cm, Lage: Ausgehend vom Rohrspitzende</li> </ul>		
<p>Steinzeugrohr DN 150, Länge 1,50 m</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlende Dichtung</li> <li>• Fehlstelle DN 100 im Rohrkämpfer, Lage: Rohrmitte</li> </ul>		
<p>Steinzeugrohr DN 150, Länge 1,00 m, Steinzeug 30°-Bogen, DN 150, horizontal angeordnet</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlende Dichtung</li> <li>• Scherbenbildung in der Rohrsohle, Lage: Rohrmuffe, Fläche: 20 cm Breit, dreieckförmig 20 cm in Rohrlängsrichtung</li> </ul>		
<p>Steinzeugrohr DN 150, Länge 1,50 m</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlende Dichtung</li> <li>• Querriss im Rohrscheitel, Länge 10 cm, Rissbreite 2 cm, Lage: Rohrmitte</li> </ul>		
<p>Steinzeugrohr DN 150, Länge 1,50 m</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• fehlende Dichtung</li> <li>• unsachgemäß hergestellter 2 cm einragender Stutzen (durch einragendes Drainagerohr)</li> </ul>		
<p>Steinzeugrohr DN 150, Länge 1,00 m</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlende Dichtung</li> <li>• Fettablagerung</li> </ul>		

Tabelle 3: Fortsetzung

<p>2 x Steinzeug 45°-Bogen DN 150, vertikale Anordnung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• fehlende Dichtung</li> </ul>		 <p>10:16 02.09.09 PC: 545 LC: 010.20 m</p>
<p>2 x Steinzeug 30°-Bogen DN 150, vertikale Anordnung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlende Dichtung</li> </ul> <p>Anschlussstutzen, sachgerechte Herstellung im Rohrkämpfer des Hauptkanals</p>		 <p>10:24 07.09.09 PC: 591 LC: 012.00 m</p>
<p>2 x Steinzeug 45°-Bogen DN 150, horizontale Anordnung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlende Dichtung</li> </ul>		 <p>10:20 07.09.09 PC: 575 LC: 008.40 m</p>
<p>2 x PVC-KG 45°-Bogen DN 125, horizontale Anordnung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlende Dichtung</li> <li>• Materialwechsel auf Steinzeug DN 125</li> </ul>		 <p>10:53 24.09.09 PC: 611 LC: 003.10 m</p>

### 4.1.3 Sanierungen der Anschlusskanäle

Nach den Vorgaben des Lenkungsgebietes der Kanalnetzbetreiber wurde im Großversuchsstand des IKT der Versuchsaufbau zum vergleichenden Test der Linerprodukte errichtet. Die Sanierungsarbeiten wurden durch das IKT beauftragt. Auftragnehmer waren die Verfahrensanbieter der getesteten Linersysteme. Die Auswahl der Verfahrensanbieter erfolgte durch den Lenkungsgebiet der Kanalnetzbetreiber. Ziel der Sanierung soll es sein, eine dichte, funktionsfähige und standsichere Hausanschlussleitung herzustellen. Dabei war es den Verfahrens Anbietern freigestellt, die Sanierungsarbeiten mit eigenem Personal oder mit Hilfe eines Dienstleisters durchzuführen.

Es waren jeweils drei Hausanschlussleitungen des Leitungstyps „Standardsituation“ bzw. „Extremsituation“ zu sanieren. Für die zwei unterschiedlichen Leitungstypen konnten verschiedene, auf die Leitungscharakteristik abgestimmte Linerprodukte eingesetzt werden. Innerhalb der „Standardsituation“ bzw. „Extremsituation“ waren

die gleichen Materialien einzusetzen. Das Vorgehen während der Sanierung der sechs Hausanschlussleitungen, die Vorbereitung einschließlich der Reinigung, die Sanierungsdurchführung und die Nachbereitung, waren dem Verfahrensanbieter bzw. der ausführenden Firmen freigestellt. Insbesondere wurden keine einschränkenden Vorgaben zum Umfang der Sanierungsvorarbeiten aufgestellt.

Im Fall der „Standardsituation“ DN 150 erfolgt die Sanierung durch eine Revisionsöffnung (PVC-KG Reinigungsrohr). Im Fall der „Extremsituation“ bestand der Zugang über ein 90°-Bogenstück DN 125, Rohrwerkstoff Steinzeug. Nach Ermessen des Verfahrensanbieters bzw. des ausführenden Dienstleisters durfte hier ein PVC-KG Rohrabschnitt DN 125 vorgeschaltet werden. Ein Zeitlimit für die Sanierungsarbeiten wurde nicht vorgegeben.

Drei Verfahrensanbieter führten die Sanierung mit eigenem Personal durch. Lediglich für die Sanierungsvorarbeiten, Reinigen und Fräsen, kamen hier z.T. Dienstleister zum Einsatz. Ein Verfahrensanbieter wurde bei der Ausführung der Sanierungsarbeiten durch einen Dienstleister unterstützt. Die Tabelle 4 stellt die Sanierungen mit den acht eingesetzten Schlauchlinern im Großversuchsstand zusammen.

Tabelle 4: Verfahrensanbieter und eingesetzte Linersysteme (alphabetisch nach Firmennamen sortiert)

Hausanschlussliner, Anbieter	Standardsituation			Extremsituation		
	S 1	S 2	S 3	E 1	E 2	E 3
BRAWOLINER XT, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG	X	X	X	X	X	X
RS MaxLiner-FLEX S, RS Technik AG	X	X	X	X	X	X
DrainLiner, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	X	X	X	-	-	-
DrainPlusLiner, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	-	-	-	X	X	X
epros® DrainGlassLiner (Prototyp), Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	X	X	X	-	-	-
epros® DrainPlusGlassLiner (Prototyp), Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	-	-	-	X	X	X
lineTEC ProFlex Liner, Vereinigte Filzfabriken AG	X	X	X	X	X	X

Die zu sanierenden Leitungen wurden so verteilt, dass jeder Verfahrensanbieter eine Leitung in jeder Ebene (1 bis 6) und gleichzeitig eine Leitung an jeder Position (A bis F) sanieren musste. Auf diese Weise erhielt jeder Verfahrensanbieter vergleichbare

Randbedingungen hinsichtlich Zugänglichkeit und Leitungslage. Die Tabelle 5 zeigt die Verteilung der zu sanierenden Leitungen je Anbieter.

Tabelle 5: Verteilung der zu sanierenden Hausanschlussleitungen im IKT Großversuchsstand

Position	A	B	C	D	E	F
Ebene						
1	 BRAWOLINER XT	- *	 epros®DrainPlus GlassLiner (Prototyp)	 RS MaxLiner-FLEX-S	 lineTEC ProFlex	 DrainPlusLiner
2	- *	 epros®Drain GlassLiner (Prototyp)	 RS MaxLiner-FLEX-S	 lineTEC ProFlex Liner	 DrainLiner	 BRAWOLINER XT
3	 epros®DrainPlus GlassLiner (Prototyp)	 RS MaxLiner-FLEX-S	 lineTEC ProFlex Liner	 DrainPlusLiner	 BRAWOLINER XT	- *
4	 RS MaxLiner-FLEX-S	 lineTEC ProFlex Liner	 DrainLiner	 BRAWOLINER XT	- *	 epros®Drain GlassLiner (Prototyp)
5	 lineTEC ProFlex Liner	 DrainLiner	 BRAWOLINER XT	- *	 epros®Drain GlassLiner (Prototyp)	 RS MaxLiner-FLEX-S
6	 DrainPlusLiner	 BRAWOLINER XT	- *	 epros®DrainPlus GlassLiner (Prototyp)	 RS MaxLiner-FLEX-S	 lineTEC ProFlex Liner

\* Unsanierete Hausanschlussleitung diente zur Messung von Infiltrationsmengen im Rahmen der Außenwasserdruckprüfung

Die für die jeweiligen Anwendungsfälle („Standardsituation“ bzw. „Extremsituation“) eingesetzten Schlauchliner ermöglichten grundsätzlich die Sanierung der Hausanschlussleitungen. Das Einbringen über die Revisionsöffnung der „Standardsituation“ und durch den 90°-Bogen DN 125 der „Extremsituation“ in die Anschlusskanäle verursachte keine Probleme. Nachfolgend werden die eingesetzten Schlauchliner und

die jeweiligen Sanierungsvorgänge beschrieben sowie anhand von Bilderserien veranschaulicht (alphabetisch nach Firmennamen sortiert).

#### **4.1.3.1 BRAWOLINER XT, Karl Otto Braun GmbH & Co. KG**

Mit dem BRAWOLINER - XT wurden die Leitungen des Typs „Standardsituation“ und „Extremsituation“ saniert. Das Trägermaterial besteht aus einem Polyesterfaser-schlauch mit einer Polyesterurethan-Folie. Zur Imprägnierung dieses Trägermaterials wurde für beide Situationen das Epoxidharz BRAWO I eingesetzt (Behälterkenzeichnung). Entsprechend der DIBT-Zulassung (Zulassungsnummer Z-42.3-362, Geltungsdauer bis 31. Mai 2014) ist der Einsatz des Schlauchlinerverfahrens BRAWOLINER XT in Nennweiten von DN 100 bis DN 200 möglich.

##### **Einbaubeschreibung**

Zunächst wurden die zu sanierenden Leitungen mit einer TV-Kamera befahren, um den Umfang der erforderlichen Sanierungsvorarbeiten festzulegen. Anschließend wurden die zu sanierenden Leitungen mit Wasserhochdruck ausgehend von der Revisionsöffnung gereinigt. Ein zusätzlicher Reinigungsschritt erfolgte durch einen Bürstenaufsatz an der Inspektionskamera während der optischen Kontrolle des Reinigungserfolges. In den Hausanschlussleitungen des Typs „Standardsituation“ musste zusätzlich jeweils ein einragender Stutzen entfernt werden. Hier kam eine Handfräse zum Einsatz. Abschließend erfolgten die Inspektion und die Längenmessung zur Konfektionierung des Liners mit einer Schiebekamera.

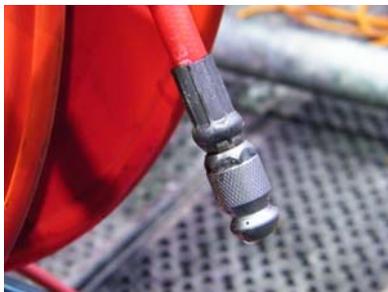
Zur Vorbereitung des Einbaus wurde der Schlauch auf die passende Länge geschnitten und ein Ende des Schlauches mit Klebeband verschlossen. An diesem verschlossenen Ende wurde an einer Stelle die Polyesterurethan-Folie eingeschnitten und der Saugnapf einer Vakuumpumpe angesetzt, um den Schlauch vor und während des Imprägnierens mit einem Unterdruck von 0,5 bar zu entlüften. Hier ist im Besonderen auf die Einbaurichtung des Liners zu achten. Abhängigkeit von der Linnerlänge, der Nennweite und der angestrebten Wanddicke wurden die Mengen des benötigten Harzes berechnet und die beiden Komponenten A und B gemischt. Die Einhaltung der Mischzeit wurde mittels einer Uhr überwacht. Das gemischte Harz wurde anschließend in den entlüfteten Schlauch gefüllt und händisch verteilt. Zur Einarbeitung und Walzung des Harzes in das Trägermaterial kam eine elektrische Imprägnieranlage zum Einsatz. Nach Abschluss der Imprägnierung wurde Spülmittel als Gleitmittel auf den Schlauch aufgebracht. Anschließend wurde er mit verschlossenem Ende voran in die Inversionstrommel gewickelt.

Zum Einbau wurde das offene Ende des Schlauches am Inversionsbogen der Inversionstrommel befestigt. Über den Linneranfang wurde ein Stützschlauch gestülpt, um den Weg von der Drucktrommel zum Leitungsanfang zu überbrücken. Anschließend wurde der Liner mit kontrollierter Geschwindigkeit langsam im Stülpverfahren mit Druckluft in den Anschlusskanal eingeblasen. Der Liner wurde in der Verfahrensvariante mit geschlossenem Ende eingebaut. Der dabei eingesetzte Luftdruck betrug et-

wa 0,2 bis 0,3 bar. Über ein Manometer wurde der Druck kontrolliert und bis zur vollständigen Aushärtung beibehalten.

Als Aushärteverfahren wurde die Warmaushärtung gewählt. Hierbei wurde ein, als Hotbox bezeichnetes Warmwasser-Erhitzermodul verwendet. Der Wasserzulauf erfolgte durch die Inversionstrommel. Für die Warmaushärtung wurde der Liner zunächst mit untemperiertem Wasser aufgefüllt und entlüftet. Anschließend wurde das Wasser über einen Rücklauf-/Absaugschlauch in die Hotbox gepumpt und dort bis auf eine Temperatur von 45°C erhitzt. Mit einer Zirkulationspumpe wurde ein Wasserkreislauf erzeugt. Die Erwärmung des Wassers dauerte ca. eine Stunde. Nach weiteren ca. 1,5 Stunden war der Aushärtevorgang beendet. Das Wasser wurde anschließend kontrolliert abgekühlt. Abschließend wurde das Wasser aus dem Liner abgelassen und das geschlossene Ende mit einem Fräsroboter bzw. mit einer Säge geöffnet. Eine abschließende Überprüfung des Einbaus erfolgte mit einer Schiebekamera. Die Abbildung 6 zeigt eine Bilddokumentation der einzelnen Arbeitsschritte.

In einem Fall wurde der Liner versehentlich auf die gemessene Haltungslänge ohne Zuschläge für Bögen und Nennweitenwechsel zugeschnitten, so dass er zu kurz war. Dies wurde unmittelbar nach dem Invertieren festgestellt, so dass der Liner noch vor dem Aufstellen wieder ausgebaut und einer neuer Liner konfektiert und eingebracht werden konnte.



a) Reinigungsdüse



b) Reinigung der Leitung



c) Inspektionskamera mit Bürstenaufsatz



d) Fräse



e) Entlüften des Liners



f) Abwiegen der Harzkomponenten



g) und h) Mischen von Komponente A und B

i) Einfüllen des Harzes



j) und k) Imprägnieren des Liners

l) Einziehen des mit Gleitmittel benetzten Schlauches in die Inversionstrommel



m) Linerende am Inversionsbogen

n) Inversion

o) Nacharbeiten im Hauptkanal

Abbildung 6: Einbau des BRAWOLINER XT im IKT Großversuchsstand

#### 4.1.3.2 RS MaxLiner-FLEX S, RS Technik AG

Mit dem RS MaxLiner-FLEX S wurden die Leitungen vom Typ „Standardsituation“ und vom Typ „Extremsituation“ saniert. Das Trägermaterial besteht aus einem Polyester-Nadelfilzschlauch mit einer Polyurethan-Folie. Zur Imprägnierung dieses Trägermaterials wurde das Epoxidharz MaxPox 15-40 verwendet (Behälterkennzeichnung). Entsprechend der DIBt-Zulassung (Zulassungsnummer Z-42.3-389, Geltungsdauer bis 30. April 2011) ist der Einsatz des Schlauchlinerverfahrens RS MaxLiner-FLEX S in Nennweiten von DN 100 bis DN 200 möglich.

Das Trägermaterial RS MaxLiner-FLEX S wurde in die am 19.05.2009 ausgestellte Zulassung Z-42.3-389 aufgenommen.

## Einbaubeschreibung

Die zu sanierenden Leitungen wurden zunächst mit einer TV-Kamera inspiziert. Danach konnte der Umfang der erforderlichen Sanierungsvorarbeiten festgelegt werden. Die Leitungen wurden im ersten Schritt mehrfach HD-gereinigt. Anschließend wurden Fräsarbeiten an einzelne Schadstellen innerhalb der Leitung (Scherben- und Rissbildung sowie Versätze) durchgeführt. Insbesondere wurden dabei die Übergangsbereiche angefasst. In den Leitungen des Typs „Standardsituation“ musste zusätzlich jeweils ein einragender Stutzen entfernt werden. Anschließend erfolgten die Inspektion und die Längenmessung zur Konfektionierung des Liners mit einer Schiebekamera.

Zur Einbauvorbereitung wurde der Schlauch auf die passende Länge geschnitten. Ein Ende des Schlauchs wurde mit Klebeband verschlossen, die Folie bereichsweise eingeschnitten und der Schlauch anschließend mit einer Vakuumpumpe mit einem Unterdruck von 0,5 bar entlüftet. Dieser Unterdruck wurde während des Imprägnierens aufrecht gehalten. In Abhängigkeit der Linerlänge, der Nennweite und der angestrebten Wanddicke wurden die Menge des benötigten Harzes berechnet und die Komponenten MaxPox 15 (Harz) und MaxPox 40 (Härter) gemischt. Die Einhaltung der erforderlichen Mischzeit wurde mittels einer Uhr kontrolliert. Anschließend wurde das gemischte Harz in den entlüfteten Schlauch gefüllt. Zur Imprägnierung wurde das Harz zunächst von Hand im Schlauch verteilt und der Liner danach auf einem elektrischen Imprägniertisch gewalzt. Anschließend wurde als Gleitmittel Pflanzenöl auf den Schlauch aufgebracht.

Zum Einbau des Liners wurde eine sogenannte „LinerGun“ eingesetzt. Dabei wurde der Schlauch am Vorsatzring der „LinerGun“ befestigt. Über den Lineranfang wurde ein Stützschauch gestülpt, um den Weg von der Drucktrommel zum Leitungsanfang zu überbrücken. Anschließend wurde der Liner abschnittsweise in die „LinerGun“ geschoben und mit kontrollierter Geschwindigkeit langsam im Stülpverfahren mit Druckluft in den Anschlusskanal eingeblasen. Der dabei eingesetzte Luftdruck betrug bis zu 0,4 bar. Dieser Vorgang wurde wiederholt, bis der gesamte Liner eingestülpt war. Der Liner wurde in der Verfahrensvariante mit offenem Ende eingebaut. Nach dem vollständigen Invertieren des Schlauches wurde das Ende des Liners vom Vorsatzring der „LinerGun“ gelöst und anschließend mit Hilfe einer Inversionstrommel ein Kalibrierschlauch zum Aufstellen und Aushärten des Liners eingestülpt. Der Luftdruck zum Einstülpen des Kalibrierschlauches betrug etwa 0,5 bar.

Zur Aushärtung wurde die Warmaushärtung gewählt. Hierbei wurde ein Warmwasser-Erhitzenmodul (Typ RS Hotbox) verwendet. Die sanierte Leitung wurde mit einem Universalverschlussstopfen verschlossen und mit 0,5 bar Druckluft beaufschlagt. Danach wurde der Verschlussstopfen über Wasserschläuche mit der „HotBox“ verbunden. Über ein Manometer wurde der Druck kontrolliert und bis zur vollständigen Aushärtung beibehalten. Zur Aushärtung wurde der Liner zunächst mit untemperiertem Wasser gefüllt und entlüftet. Anschließend wurde das Wasser über einen Rücklauf-

/Absaugschlauch zurück in die Heizanlage gepumpt und somit ein Wasserkreislauf erzeugt. Die Aufheizphase dauerte an, bis die Rücklauftemperatur 50°C betrug. Diese Aushärtetemperatur wurde anschließend für 3 Stunden aufrecht erhalten. Danach folgte das kontrollierte Abkühlen des Wassers. Das Wasser wurde nach der Abkühlung aus dem Kalibrierschlauch abgelassen und der Kalibrierschlauch ausgebaut. Eine abschließende Überprüfung des Einbaus erfolgte mit einer Schiebekamera. Die Abbildung 7 zeigt eine Bilddokumentation der einzelnen Arbeitsschritte.

In einem Fall wurde das Harz mit einer automatischen Mischanlage gemischt. Erst nach Ablauf der Aushärtezeit konnte festgestellt werden, dass am Lineranfang nur eine unzureichende Aushärtung stattgefunden hatte. Ursache des Fehlers war ein falsches Mischungsverhältnis zwischen Harz und Härter, welches durch einen Defekt der Mischanlage hervorgerufen wurde. Im Nachgang der Sanierung musste in dem nicht ausreichend ausgehärteten Bereich ein zweiter Liner eingebaut werden.

In einem anderen Fall reichte der Liner nicht bis an das Sattelstück des Hauptkanals heran. Hier wurde ein Kurzschlauch (MaxPatch®-Kurzlinersystem bestehend aus einer Glasfasermatte und einem Silikat-Isocyanat-Harz) eingebaut, um den nicht linersanierten Bereich zu überbrücken. Der Einbau des Kurzschlauhes wurde von der AbflussKlar Cita Wilbers GmbH ausgeführt.



a) Fräsroboter



b) Inspektion



c) Imprägnieranlage



d) Entlüften des Liners



e) Abwiegen der Harzkomponenten



f) Mischen von Harz und Härter



g) Einfüllen des Harzes



h) und i) Imprägnieren des Liners



j) und k) Inversion des Liners mit einer „Linerung“



l) Kalibrierschlauch am Inversionsstutzen



m) Inversion des Kalibrierschlauches



n) Aufgestelltes Linerende im Hauptkanal



o) Aushärtung

Abbildung 7: Einbau des RS MaxLiners im IKT Großversuchsstand

#### **4.1.3.3 DrainLiner und DrainPlusLiner, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH**

Mit dem DrainLiner wurden die Leitungen vom Typ „Standardsituation“ saniert. Das Trägermaterial besteht aus einem Polyester-Nadelfilzschlauch mit einer Polyvinylchlorid-Folie. Zur Imprägnierung dieses Trägermaterials wurde das Epoxidharz EPROPOX VIS A2/B2 verwendet (Behälterkennzeichnung). Entsprechend der DIBt-Zulassung (Zulassungsnummer Z-42.3-375, Geltungsdauer bis 30. April 2010) darf der DrainLiner in Nennweiten von DN 100 bis DN 300 und Bögen bis 45° eingesetzt werden.

Der DrainPlusLiner wurde zur Sanierung der Leitungen des Typs „Extremsituation“ eingesetzt. Das Trägermaterial des DrainPlusLiners besteht aus einem Polyester-Nadelfilzschlauch mit einer Polyurethan-Folie. Zur Imprägnierung dieses Trägermaterials wurde das Epoxidharz EPROPOX VIS A2/B2 verwendet. (Behälterkennzeichnung). Entsprechend der DIBt-Zulassung (Zulassungsnummer Z-42.3-375, Geltungsdauer bis 30. April 2010) darf der DrainPlusLiner in Nennweiten von DN 100 bis DN 300 und Bögen bis 90° eingesetzt werden.

#### **Einbaubeschreibung**

Der Einbau des DrainLiners und des DrainPlusLiners verläuft gleich.

Die zu sanierenden Leitungen wurden zunächst mit einer TV-Kamera inspiziert. Danach konnte der Umfang der erforderlichen Sanierungsvorarbeiten festgelegt werden. Die Leitungen wurden im ersten Schritt mehrfach HD-gereinigt. Anschließend wurden Fräsarbeiten an einzelne Schadstellen innerhalb der Leitung (Scherben- und Rissbildung sowie Versätze) durchgeführt. Insbesondere wurden dabei die Übergangsbereiche angefasst. In den Leitungen des Typs „Standardsituation“ musste zusätzlich jeweils ein einragender Stutzen entfernt werden. Die Fräsarbeiten wurden durch die Fa. Hächler AG ausgeführt. Anschließend erfolgten die Inspektion und die Längenmessung zur Konfektionierung des Liners mit einer Schiebekamera.

Zur Einbauvorbereitung wurde der Schlauch auf die passende Länge geschnitten. Ein Ende des Schlauchs wurde mit Klebeband verschlossen, die Folie bereichsweise eingeschnitten und der Schlauch anschließend mit einer Vakuumpumpe mit einem Unterdruck von 0,5 bar entlüftet. Dieser Unterdruck wurde während des Imprägnierens aufrecht gehalten. In Abhängigkeit der Linerlänge, der Nennweite und der angestrebten Wanddicke wurden die Menge des benötigten Harzes berechnet und die Komponenten EPROPOX VIS A2 (Harz) und EPROPOX VIS B2 (Härter) gemischt. Die Einhaltung der erforderlichen Mischzeit wurde mittels einer Uhr kontrolliert. Anschließend wurde das gemischte Harz in den entlüfteten Schlauch gefüllt. Zur Imprägnierung wurde das Harz zunächst von Hand im Schlauch verteilt und der Liner danach auf einem elektrischen Imprägniertisch gewalzt. Anschließend wurde als Gleitmittel Siliconöl auf den Schlauch aufgebracht. Danach wurde der Schlauch in die Inversionstrommel gewickelt.

Zum Einbau wurde der Schlauch am Inversionsstutzen der Inversionstrommel befestigt. Über den Lineranfang wurde ein Stützschauch gestülpt, um den Weg von der Drucktrommel zum Leitungsanfang zu überbrücken. Anschließend wurde der Liner mit kontrollierter Geschwindigkeit langsam im Stülpverfahren mit Druckluft in den Anschlusskanal eingeblasen. Der dabei eingesetzte Luftdruck betrug bis zu 0,5 bar. Der Liner wurde in der Verfahrensvariante mit offenem Ende eingebaut. Nach dem vollständigen Invertieren des Schlauches wurde das Ende des Liners vom Inversionsbogen gelöst und anschließend mit Hilfe der Inversionstrommel ein Kalibrierschlauch zum Aufstellen und Aushärten des Liners eingestülpt. Der Luftdruck zum Einstülpen des Kalibrierschlauches betrug etwa 0,5 bar. Über ein Manometer wurde der Druck kontrolliert und bis zur vollständigen Aushärtung beibehalten.

Zur Aushärtung wurde die Warmaushärtung gewählt. Hierbei wurde ein Warmwasser-Erhitzenmodul (Typ Hotbox 300) verwendet. Der Wasserzulauf erfolgte durch die Inversionstrommel. Zur Aushärtung wurde der Liner zunächst mit ca. 15 °C warmem Wasser gefüllt und entlüftet. Anschließend wurde das Wasser über einen Rücklauf-/Absaugschlauch zurück in die Heizanlage gepumpt und somit ein Wasserkreislauf erzeugt. Die Aufheizphase dauerte an, bis die Rücklauftemperatur 55°C betrug. Diese Aushärtetemperatur wurde anschließend für 1,5 Stunden aufrecht erhalten. Danach folgte das kontrollierte Abkühlen des Wassers. Das Wasser wurde nach der Abkühlung aus dem Kalibrierschlauch abgelassen und der Kalibrierschlauch ausgebaut. Zum Abschluss der Sanierungsarbeiten wurden an den Übergangsbereichen zum Hauptkanal DN 300 epros<sup>®</sup>LCR-S Hutmanschetten eingebaut. Eine abschließende Überprüfung des Einbaus erfolgte mit einer Schiebekamera. Die Abbildung 8 zeigt eine Bilddokumentation der einzelnen Arbeitsschritte.

In einem Fall versuchte der Anbieter, den Liner und den Kalibrierschlauch in einem Arbeitsgang zu invertieren. Das Einblasen von Liner und Kalibrierschlauch konnte allerdings mit dem zulässigen Inversionsdruck nicht umgesetzt werden. Der Liner wurde daher vor dem Aufstellen wieder ausgebaut und ein neuer Liner konfektioniert und eingebaut.



a) und b) Reinigungsdüsen



c) Fräsroboter



d) Ablängen des Liners und des Kalibrierschlauches



e) Entlüften des Liners



f) Abwiegen der Harzkomponenten



g) und h) Mischen von Harz und Härter



i) Einfüllen des Harzes



j) und k) Imprägnieren des Liners



l) Einziehen des mit Gleitmittel benetzten Schlauches in die Inversionstrommel



m) Linierende am Inversionsstutzen



n) Inversion



o) Kalibrierschlauch in der Inversionstrommel



p) Kalibrierschlauch im Hauptkanal

q) und r) Einbau der epros<sup>®</sup>LCR-S Hutmanschetten

Abbildung 8: Einbau des DrainLiners und DrainPlusLiners im IKT Großversuchsstand

#### 4.1.3.4 epros<sup>®</sup>DrainGlassLiner (Prototyp) und epros<sup>®</sup>DrainPlusGlassLiner (Prototyp), Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH

Mit dem epros<sup>®</sup>DrainGlassLiner (Prototyp) wurden die Leitungen vom Typ „Standard-situation“ saniert. Das Trägermaterial besteht aus einem Polyester-Nadelfilzschlauch/ECR-Glas mit einer Polyvinylchlorid-Folie. Zur Imprägnierung dieses Trägermaterials wurde das Epoxidharz EPROPOX VIS A4 / B4 verwendet (Behälterkennzeichnung). Eine DIBt-Zulassung liegt noch nicht vor. Laut Herstellerangaben kann der epros<sup>®</sup>DrainGlassLiner (Prototyp) in Nennweiten von DN 100 bis DN 400 und Bögen bis 45° eingesetzt werden. Herstellerangaben zu den mechanischen Kennwerten lagen vor. Eine DIBt-Zulassung wird beantragt.

Der epros<sup>®</sup>DrainPlusGlassLiner (Prototyp) wurde zur Sanierung der Leitungen des Typs „Extrem-situation“ eingesetzt. Das Trägermaterial des DrainPlusLiners (Prototyp) besteht aus einem Polyester-Nadelfilzschlauch mit einer Polyurethan-Folie, vergleichbar mit dem DrainPlusLiner. Zur Imprägnierung dieses Trägermaterials wurde hier allerdings das Epoxidharz EPROPOX VIS A4/B4 verwendet (Behälterkennzeichnung). Laut Herstellerangaben kann dieser Liner in Nennweiten von DN 100 bis DN 400 und Bögen bis 90° eingesetzt werden. Herstellerangaben zu den mechanischen Kennwerten lagen ebenfalls vor. Eine DIBt-Zulassung wird beantragt.

#### Einbaubeschreibung

Der Einbau des Prototyps des DrainSteamLiners und des Prototyps des DrainPlusLiners verläuft gleich.

Die zu sanierenden Leitungen wurden zunächst mit einer TV-Kamera inspiziert. Danach wurde der Umfang der erforderlichen Sanierungsvorarbeiten festgelegt. Um Verschmutzungen zu entfernen, wurden die Leitungen mehrfach HD-gereinigt. Anschließend wurden Fräsarbeiten an einzelne Schadstellen innerhalb der Leitung (Scherben- und Rissbildung sowie Versätze) durchgeführt. Insbesondere wurden dabei Übergangsbereiche angefast und Kanten gebrochen. In den Leitungen des Typs „Standardsituation“ musste zusätzlich jeweils ein einragender Stutzen entfernt wer-

den. Die Fräsarbeiten wurden durch die Fa. IMS Robotics GmbH ausgeführt. In einer Leitung wurde als vorbereitende Arbeit eine vorhandene Scherbenbildung mit einem Kurzschlauch repariert. Eingesetzt wurde eine mit Silikatharz getränkte zweilagige Glasfasermatte. Anschließend erfolgten die Inspektion und die Längenmessung zur Konfektionierung des Liners mit einer Schiebekamera.

Zur Einbauvorbereitung wurde der Schlauch auf die passende Länge geschnitten. Ein Ende des Schlauchs wurde mit Klebeband verschlossen, die Folie bereichsweise eingeschnitten und der Schlauch anschließend mit einer Vakuumpumpe mit einem Unterdruck von 0,5 bar entlüftet. Dieses Vakuum wurde während des Imprägniervorgangs aufrecht gehalten. In Abhängigkeit der Linerlänge, der Nennweite und der angestrebten Wanddicke wurden die Menge des benötigten Harzes berechnet und die Komponenten EPROPOX VIS A4 (Harz) und EPROPOX VIS B4 (Härter) gemischt. Die Einhaltung der erforderlichen Mischzeit wurde mittels einer Uhr kontrolliert. Das gemischte Harz konnte danach in den entlüfteten Schlauch gefüllt werden. Zur Imprägnierung wurde das Harz zunächst von Hand im Schlauch verteilt und der Liner danach auf einem elektrischen Imprägniertisch gewalzt. Anschließend wurde als Gleitmittel Siliconöl auf den Schlauch aufgebracht. Danach wurde der Schlauch in die Inversionstrommel gewickelt.

Zum Einbau wurde der Schlauch am Inversionsstutzen der Inversionstrommel befestigt. Anschließend wurde der Liner mit kontrollierter Geschwindigkeit langsam im Stülpverfahren mit Druckluft in den Anschlusskanal eingblasen. Der dabei eingesetzte Luftdruck betrug bis zu 0,5 bar. Der Liner wurde in der Verfahrensvariante mit offenem Ende eingebaut. Nach dem vollständigen Invertieren des Schlauches wurde das Ende des Liners vom Inversionsbogen gelöst und anschließend mit Hilfe der Inversionstrommel ein Kalibrierschlauch zum Aufstellen und Aushärten des Liners eingestülpt. Der Luftdruck zum Einstülpen des Kalibrierschlauches betrug etwa 0,5 bar. Über ein Manometer wurde der Druck kontrolliert und bis zur vollständigen Aushärtung beibehalten.

Zur Aushärtung wurde die Dampfhärtung gewählt. Dazu wird in einem Dampfgenerator Wasserdampf erzeugt, der über die Inversionstrommel in den Kalibrierschlauch geblasen wird. Die Atmosphäre innerhalb des Kalibrierschlauches wurde durch das Einblasen eines Gemisches aus heißem Wasserdampf und kühler Druckluft kontrolliert aufgeheizt. Ein Überdruckventil begrenzt den Druck innerhalb des Systems. Die Temperatur wurde mittels Thermometern an der Drucktrommel und am Anfang des Liners überwacht. Die maximale Aushärtetemperatur betrug 60°C. Diese Aushärtetemperatur wurde anschließend für etwa 30 Minuten aufrecht erhalten. Danach folgten das kontrollierte Abkühlen der Atmosphäre innerhalb des Kalibrierschlauches und der Ausbau des Kalibrierschlauches. Zum Abschluss der Sanierungsarbeiten wurden an den Übergangsbereichen zum Hauptkanal DN 300 epros<sup>®</sup>LCR-S Hutmanschetten eingebaut. Eine abschließende Überprüfung des Einbaus erfolgte mit einer Schiebekamera. Die Abbildung 9 zeigt eine Bilddokumentation der einzelnen Arbeitsschritte.

In einem Fall konnte ein imprägnierter Liner nicht eingebaut werden, da Harz aus den Nahtbereichen des Trägermaterials austrat. Die entsprechende Charge des Trägermaterials wurde anschließend nicht weiter verwendet, sondern Material einer anderen Charge eingebaut.



a) und b) Reinigungsdüsen



c) Fräskopf



d) Abwiegen der Harzkomponenten



e) Mischen von Harz und Härter



f) Einfüllen des Harzes



g) und h) Imprägnieren des Liners



i) Einziehen des mit Gleitmittel benetzten Schlauches in die Inversionstrommel



j) Linerende am Inversionsstutzen      k) und l) Inversion

Abbildung 9: Einbau des DrainSteamLiners und DrainPlusLiners (Dampfhärtung) im IKT Großversuchsstand

#### 4.1.3.5 lineTEC ProFlex Liner, VFG Vereinigte Filzfabriken AG

Mit dem Schlauchliningverfahren „lineTEC ProFlex“ wurden die Leitungen des Typs „Standardsituation“ und „Extremsituation“ saniert. Das Trägermaterial besteht aus einem polyurethanbeschichteten Polyesterfaserschlauch. Zur Imprägnierung dieses Trägermaterials wurde für beide Situationen das Epoxidharz Biresin lineTEC EP 40 eingesetzt (Behälterkennzeichnung). Entsprechend der DIBT-Zulassung (Zulassungsnummer Z-42.3-416, Geltungsdauer bis 31. Juli 2012) ist der Einsatz des Schlauchliningverfahrens „lineTEC ProFlex“ in Nennweiten von DN 100 bis DN 200 möglich.

##### Einbaubeschreibung

Zunächst wurde der Ist-Zustand der zu sanierenden Leitungen mit einer TV-Kamera aufgenommen und der Umfang der erforderlichen Sanierungsvorarbeiten festgelegt. Anschließend wurden die zu sanierenden Leitungen mehrfach mit Wasserhochdruck sowohl ausgehend von der Revisionsöffnung als auch gegen die Fließrichtung vom Hauptkanal ausgehend gereinigt. Zum Einsatz kamen Spül- und Rotationsdüsen und ein Bürstenkranz mit Kettenschleuder. Letzterer wurde auch eingesetzt, um bereichsweise die Glasur der zu sanierenden Steinzeugrohre abzulösen. In den Hausanschlussleitungen des Typs „Standardsituation“ und „Extremsituation“ wurde ein Fräsroboter eingesetzt, um an einzelnen Schadstellen Kanten zu brechen und anzufassen. Zusätzlich musste bei den Leitungen vom Typ „Standardsituation“ jeweils ein einragender Stutzen entfernt werden. Hier kam ebenfalls der Fräsroboter zum Einsatz. Die Fräsarbeiten wurden durch die Fa. Kuchem GmbH ausgeführt. Abschließend erfolgten die Inspektion und die Längenmessung zur Konfektionierung des Liners mit einer Schiebekamera.

Zur Vorbereitung des Einbaus wurde der Schlauch auf die passende Länge geschnitten und ein Ende des Schlauches mit Klebeband verschlossen. An diesem verschlossenen Ende wurde an einer Stelle die Polyurethanbeschichtung eingeschnitten und der Saugnapf einer Vakuumpumpe angesetzt, um den Schlauch vor und wäh-

rend des Imprägnierens mit einem Unterdruck von 0,25 bar zu entlüftet. Abhängigkeit vom der Linerlänge, der Nennweite und der angestrebten Wanddicke wurden die Mengen des benötigten Harzes berechnet und die beiden Komponenten A (Harz) und B (Härter) gemischt. Die Einhaltung der Mischzeit wurde mit einer Uhr kontrolliert. Das gemischte Harz wurde anschließend in den entlüfteten Schlauch gefüllt. Zur Einarbeitung und Walzung des Harzes in das Trägermaterial kam eine elektrische Imprägnieranlage zum Einsatz. Nach Abschluss der Imprägnierung wurde Seife als Gleitmittel auf den Schlauch aufgebracht. Anschließend wurde er mit verschlossenem Ende voran in die Inversionstrommel gewickelt.

Zum Einbau wurde das offene Ende des Schlauches am Inversionsbogen der Inversionstrommel befestigt. Über den Lineranfang wurde ein Stützschlauch gestülpt, um den Weg von der Drucktrommel zum Leitungsanfang zu überbrücken. Anschließend wurde der Liner mit kontrollierter Geschwindigkeit langsam im Stülpverfahren mit Druckluft in den Anschlusskanal eingblasen. Das Druckluft-Inversionsgerät wurde dabei mit einem Druck von etwa 0,2 bis 0,4 bar beaufschlagt. Der Liner wurde in der Verfahrensvariante mit geschlossenem Ende eingebaut. Nach dem Einstülpen wurde der Druck auf 0,2 bar reduziert und bis zur vollständigen Aushärtung beibehalten. Über ein Manometer wurde der Druck kontrolliert.

Als Aushärteverfahren wurde die Warmaushärtung gewählt. Hierbei wurde ein Heizaggregat mit Zirkulationspumpe verwendet. Der Wasserzulauf erfolgte durch die Inversionstrommel. Für die Warmaushärtung wurde der Liner zunächst mit untemperiertem Wasser aufgefüllt und entlüftet. Anschließend wurde das Wasser über einen Rücklauf-/Absaugschlauch durch das Heizaggregat gepumpt und dort erhitzt, bis die Rücklauftemperatur 60°C betrug. Mit einer Zirkulationspumpe wurde ein Wasserkreislauf erzeugt. Die Erwärmung des Wassers dauerte ca. 2,5 Stunden. Nach einer weiteren Stunde war der Aushärtevorgang beendet. Das Wasser wurde anschließend über mehr als zwei Stunden kontrolliert abgekühlt. Abschließend wurde das Wasser aus dem Liner abgelassen und das geschlossene Ende mit einem Fräsroboter bzw. mit einer Säge geöffnet. Eine abschließende Überprüfung des Einbaus erfolgte mit einer Schiebekamera. Die Abbildung 10 zeigt eine Bilddokumentation der einzelnen Arbeitsschritte.



a) und b) Reinigungsdüsen

c) Fräsroboter



d) Entlüften des Liners



e) Abwiegen der Harzkomponenten



f) Mischen von Harz und Härter



g) Einfüllen des Harzes



h) und i) Imprägnieren des Liners



j) und k) Einziehen des mit Gleitmittel benetzten Schlauches in die Inversionstrommel



l) Linerende am Inversionsstutzen



m) Inversion



n) geschlossenes Linerende im Hauptkanal



o) Nacharbeiten im Hauptkanal

Abbildung 10: Einbau des lineTEC ProFlex Liners im IKT Großversuchsstand

#### 4.1.3.6 Zusammenfassung

Bei den Sanierungsarbeiten im Rahmen des IKT-Warentests erfolgten die Arbeiten nach folgendem grundsätzlichen Vorgehen:

- Die Anschlussleitung wurde inspiziert und gereinigt. Nach Ermessen des Verfahrensanbieters wurden Fräsarbeiten ausgeführt. Anschließend wurde die Länge der Leitung gemessen. In einem Fall wurde ein Schadensbild mit Scherbenbildung vor dem Invertieren des Hausanschlussliners mit einem Kurzschlauch repariert.
- Das Trägermaterial des Liners wurde entsprechend der Länge der Leitung und den örtlichen Randbedingungen z.B. Anzahl der Bögen, Nennweitenwechsel zugeschnitten. Die Folie des Liners wurde an einem Ende geöffnet und eine Vakuumpumpe angeschlossen, um die Imprägnierung des Liners zu unterstützen.
- Die Epoxidharzkomponenten (Harz und Härter) wurden entsprechend der Linnerlänge und -dicke abgemessen, gemischt und das gemischte Harz in den Linner eingefüllt. Die Imprägnierung des Schlauches wurde durch Walzung bei gleichzeitiger Entlüftung unterstützt. Vor der Inversion in den Kanal wurde auf den Linner ein Gleitmittel aufgebracht.
- Die Linner wurden mit Luftdruck invertiert. Die Inversion wurde nach Ermessen des Verfahrensanbieters mit geschlossenem Linnerende oder offenem Linnerende und anschließendem Einbau eines Kalibrierschlauches durchgeführt. Der Kalibrierschlauch wurde dann mit Luft aufgestellt und drückte den Linner an die Rohrrinnenwand.
- Die Aushärtung erfolgte durch Zufuhr von warmem Wasser oder Dampf. Nach der Aushärtung wurden notwendige Nacharbeiten, wie z. B. Fräsen der Linnerenden, durchgeführt. Sofern der Linner mit geschlossenem Ende eingebracht worden war, wurde er nach der Aushärtung geöffnet.

In Tabelle 6 und Tabelle 7 sind die bei den Sanierungsarbeiten eingesetzten Materialien, die Sanierungstechniken und Randbedingungen für die „Standardsituation“ und die „Extremsituation“ zusammengestellt.

Tabelle 6: Sanierung der Standardsituation (alphabetisch nach Verfahrensanbieter sortiert)

Liner, Anbieter	Sanierungs- vorbereiten	Trägermaterial	Harzsystem	Gewichts- verhältnis der Harzkom- ponenten A zu B	Inversionstechnik	Inversions- druck	Einbaudauer (Vorbereitung bis Beginn Aushärtung)	Aus- härtung	Dauer der Aushärtung	Druck bei der Aus- härtung
BRAWOLINER XT, Karl Otto Braun GmbH	HD- Reinigung Fräsen	Polyester- faserschlauch PU-Folie, DN 150	Bravo I (Epoxidharz)	3 : 1	Inversion mit geschlossenem Ende, mit Luftdruck	0,2 - 0,3 bar	ca. 1 - 1,5 h	Warm- wasser (ca. 45°)	ca. 2,5 h	0,2 - 0,3 bar
RS MaxLiner- FLEX S, RS Technik AG	HD- Reinigung Fräsen	Polyester- faserschlauch mit PU-Folie, DN 150	MaxPox 15-40 (Epoxidharz)	4 : 1	Inversion mit offenem Ende, mit Luftdruck, PVC- Kalibrierschlauch, DN150	0,2 - 0,4 bar	ca. 1,5 - 2 h	Warm- wasser (60°)	ca. 3,5 h	0,4 bar
DrainLiner, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	HD- Reinigung Fräsen	Polyester- Nadelfilz mit PVC-Folie, DN 150	EPROPOX VIS A2/B2 (Epoxidharz)	100 : 67	Inversion mit offenem Ende, mit Luftdruck, PVC- Kalibrierschlauch, DN150	0,3 – 0,5 bar	ca. 1,5 – 2 h	Warm- wasser (ca. 55°)	ca. 2,5 h	0,5 bar
epros®Drain GlassLiner (Prototyp), Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	HD- Reinigung Fräsen Kurzschlauch über einem Schaden	Polyester- Nadelfilz / ECR Glas mit PU- Folie, DN 150	EPROPOX VIS A4/B4 (Epoxidharz)	100 : 33	Inversion mit offenem Ende, mit Luftdruck, PVC- Kalibrierschlauch, DN150	0,3 – 0,5 bar	ca. 1,5 – 2 h	Dampf (ca. 60°)	ca. 1,5 h	0,5 bar
lineTEC ProFlex Liner, VFG Vereinigte Filzfabriken AG	HD- Reinigung Fräsen	Polyester- faserschlauch PU-Folie	Biresin line TEC EP 40 (Epoxidharz)	100 : 12	Inversion mit geschlossenem Ende, mit Luftdruck	0,3 – 0,45 bar	ca. 1 – 1,5 h	Warm- wasser (ca. 60°)	ca. 3,5 h	0,2 bar

Tabelle 7: Sanierung der „Extremsituation“ (alphabetisch nach Verfahrensanbieter sortiert)

Liner, Anbieter	Sanierungs- vorbereiten	Trägermaterial	Harzsystem	Gewichts- verhältnis der Harzkom- ponenten A zu B	Inversionstechnik	Inversions- druck	Einbaudauer (Vorbereitung bis Beginn Aushärtung)	Aus- härtung	Dauer der Aushärtung	Druck bei der Aus- härtung
BRAWOLINER XT, Karl Otto Braun GmbH	HD- Reinigung Fräsen	Polyester- faserschlauch PU-Folie, DN 150	Bravo I (Epoxidharz)	3 : 1	Inversion mit geschlossenem Ende, mit Luftdruck	0,2 - 0,3 bar	ca. 1 - 1,5 h	Warm- wasser (ca. 45°)	ca. 2,5 h	0,2 - 0,3 bar
RS MaxLiner- FLEX S, RS Technik AG	HD- Reinigung Fräsen	Polyester- faserschlauch mit PU-Folie, DN 150	MaxPox 15-40 (Epoxidharz)	4 : 1	Inversion mit offenem Ende, mit Luftdruck, PVC- Kalibrierschlauch, DN150	0,2 - 0,4 bar	ca. 1,5 - 2 h	Warm- wasser (60°)	ca. 3,5 h	0,4 bar
DrainPlusLiner, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	HD- Reinigung Fräsen	Polyester- Nadelfilz mit PU-Folie, DN 150	EPROPOX VIS A2/B2 (Epoxidharz)	100 : 67	Inversion mit offenem Ende, mit Luftdruck, PVC- Kalibrierschlauch, DN150	0,3 - 0,5 bar	ca. 1,5 - 2 h	Warm- wasser (ca. 55°)	ca. 2,5 h	0,5 bar
epros®Drain PlusGlassLiner (Prototyp), Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	HD- Reinigung Fräsen	Polyester- Nadelfilz mit PU-Folie, DN 150	EPROPOX VIS A4/B4 (Epoxidharz)	100 : 33	Inversion mit offenem Ende, mit Luftdruck, PVC- Kalibrierschlauch, DN150	0,3 - 0,5 bar	ca. 1,5 - 2 h	Dampf (ca. 60°)	ca. 1,5 h	0,5 bar
lineTEC ProFlex Liner, VFG Vereinigte Filzfabriken AG	HD- Reinigung Fräsen	Polyester- faserschlauch mit PU-Folie	Biresin line TEC EP 40 (Epoxidharz)	100 : 12	Inversion mit geschlossenem Ende, mit Luftdruck	0,3 - 0,45 bar	ca. 1 - 1,5 h	Warm- wasser (ca. 60°)	ca. 3,5 h	0,2 bar

#### 4.1.4 Untersuchungsschwerpunkte

Im Rahmen des IKT-Warentests „Hausanschluss-Liner“ wurden in den Systemprüfungen folgende Gesichtspunkte näher betrachtet:

- Funktionsfähigkeit,
- Dichtheit,
- Tragfähigkeit der Struktur und
- Empfindlichkeit unter Auftrieb.

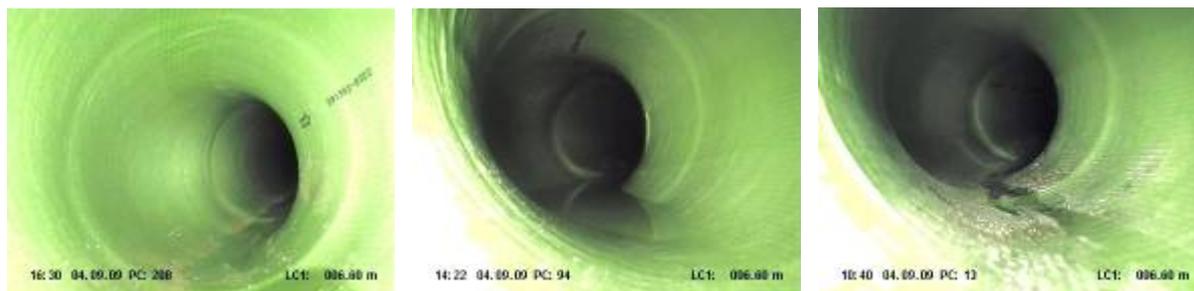
Nachfolgend werden die Hintergründe und Ergebnisse der Prüfungen zusammengefasst.

##### 4.1.4.1 Funktionsfähigkeit

Ein Sanierungsziel bestand darin, die Funktionsfähigkeit defekter Hausanschlussleitungen wiederherzustellen. Die Funktionsfähigkeit wird hier durch den optischen Zustand des gesamten Abflussquerschnittes definiert. Die Sanierung soll dabei zu einer Verbesserung des Abflussverhaltens und einer Stabilisierung der geschädigten Rohrabschnitte führen. Von besonderem Interesse ist dabei die Faltenbildung im Hausanschlussliner, da diese Falten ein einragendes Abflusshindernis darstellen können. Zur Beurteilung des Sanierungsergebnisses wurde nach der Sanierung mit Hilfe einer TV-Inspektionskamera eine Fotodokumentation des Sanierungsergebnisses erstellt. Nach dem Ausbau der sanierten Hausanschlussleitungen konnten die Rohrabschnitte darüber hinaus segmentiert und im Detail optisch begutachtet werden. Hierbei wurden z.B. Falten im Liner vermessen und photographisch festgehalten. Insbesondere in engen Bögen können an der Bogeninnenseite Falten auftreten. Hier ist zu unterscheiden, ob diese nur den Abflussquerschnitt verringern oder zusätzlich ein Abflusshindernis darstellen. Neben der möglichen Faltenbildung an der Bogeninnenseite ist z.B. auch die erreichte Wanddicke an der Bogenaußenseite zu beachten (vgl. Abschnitt 4.1.4.3.1).

Nachfolgend ist eine repräsentative Fotodokumentation der Sanierungsergebnisse dargestellt. Abbildung 11 bis Abbildung 17 zeigen das Sanierungsergebnis, aufgenommen mit einer TV-Inspektionskamera, Typ ORION-L der IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG. Im Fall der „Standardsituation“ ist jeweils ein Bild der Ebene 2, Ebene 4 und Ebene 5 nebeneinander dargestellt. Im Fall der „Extremsituation“ sind es Bilder der Ebene 1, Ebene 3 und Ebene 6. Dargestellt sind auch Eindrücke nach der HD-Reinigung von Leitungen der Ebenen 5 und 6.

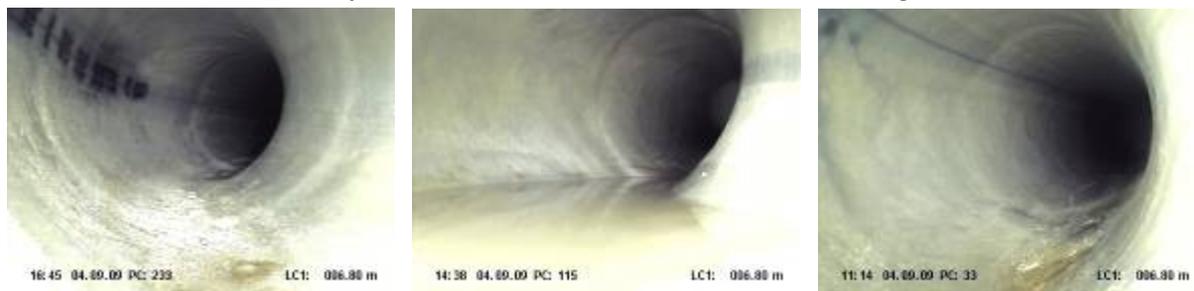
Abbildung 18 bis Abbildung 42 zeigen einzelne repräsentative Querschnitte der Sanierungsergebnisse. Die Rohre wurden nach dem Ausbau aus dem IKT-Großversuchsstand aufgeschnitten. Der jeweils dargestellte Bereich (z.B. Bild „Steinzeug DN 150, Scheitelriss“) wurde bei allen Verfahren aus der jeweils gleichen Ebene des Versuchsaufbaus entnommen.



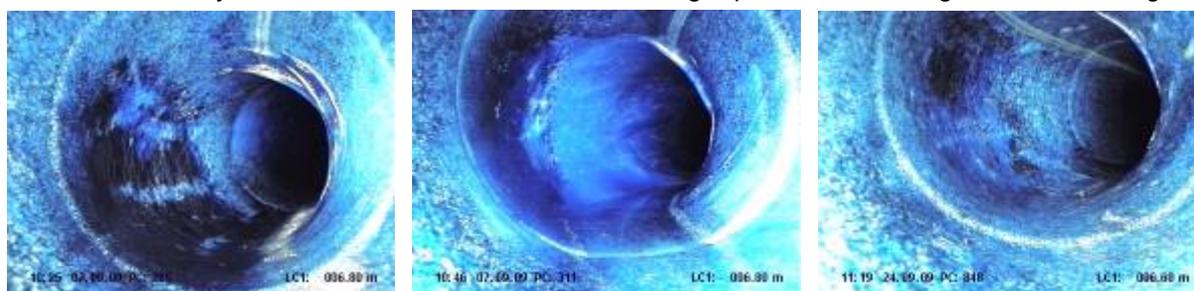
BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein



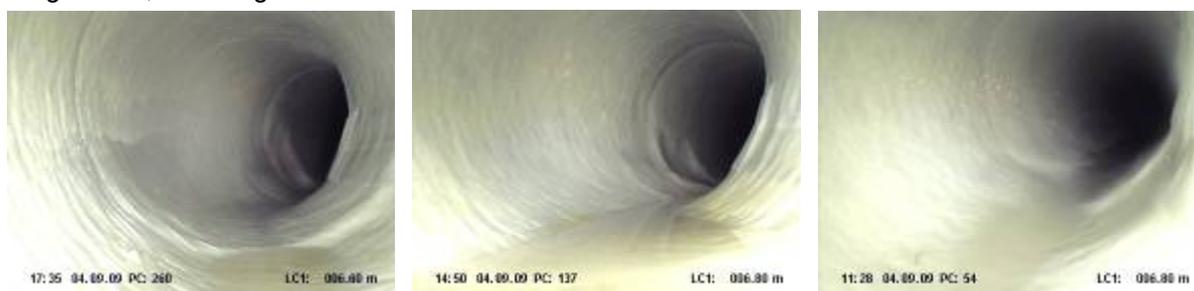
RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, RS-Technik AG, Esslingen



DrainLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg

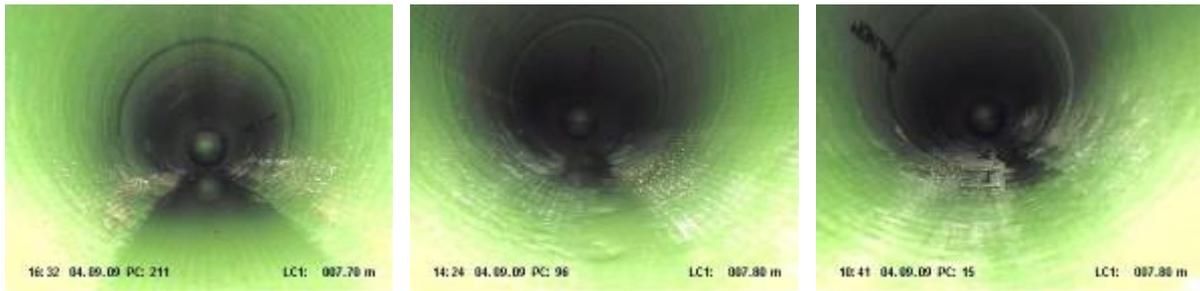


epros<sup>®</sup> DrainGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



lineTEC ProFlex Liner, Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen

Abbildung 11: „Standardsituation“, Altrohr Steinzeug DN 150, Steinzeug-Bogen 30°, horizontal angeordnet



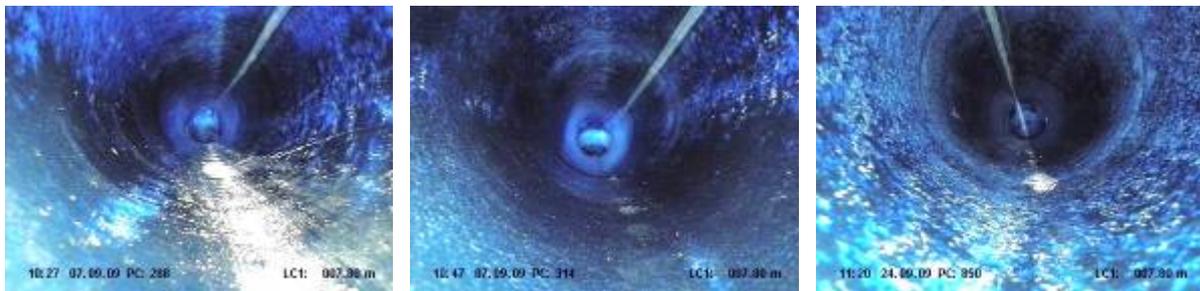
BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein



RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, RS-Technik AG, Esslingen



DrainLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



epros® DrainGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



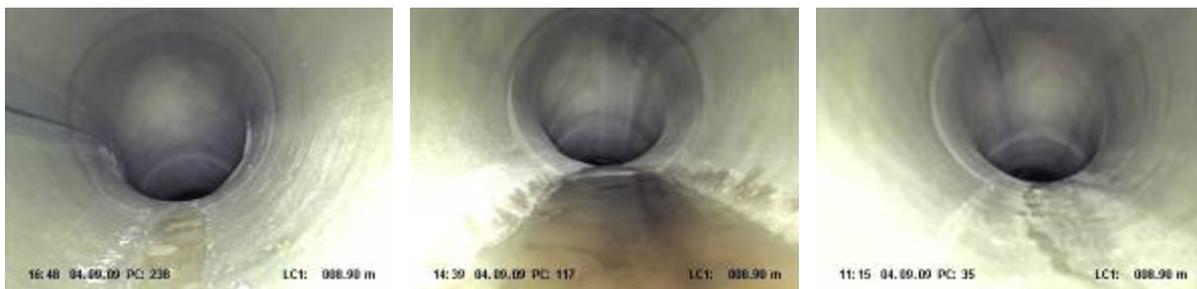
lineTEC ProFlex Liner, Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen  
Abbildung 12: „Standardsituation“, Altrrohr Steinzeug DN 150



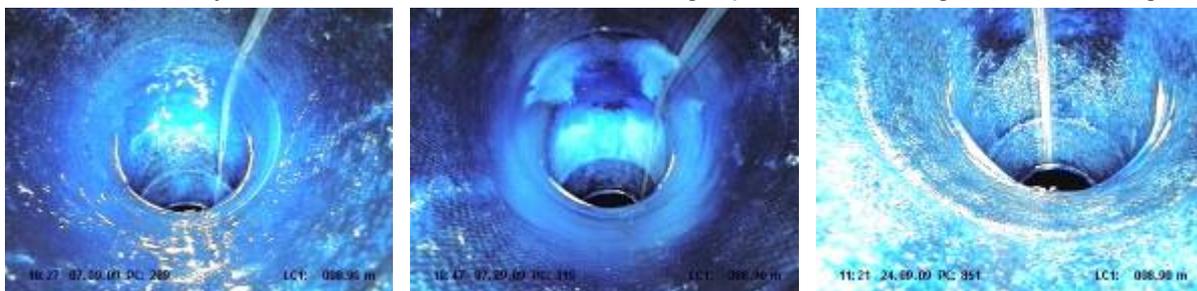
BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein



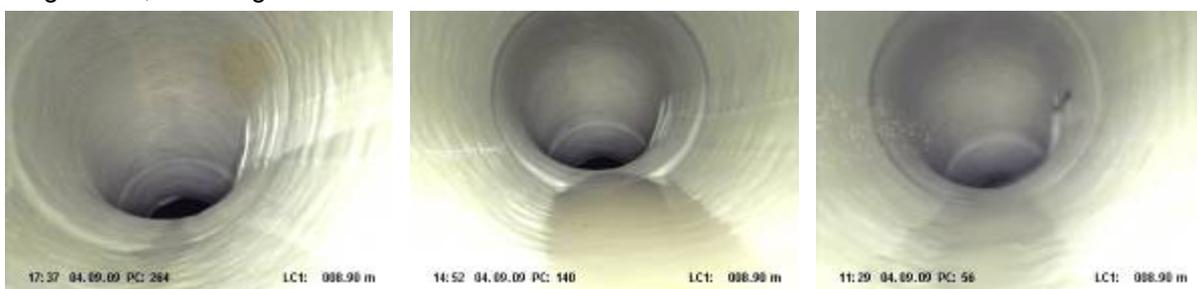
RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, RS-Technik AG, Esslingen



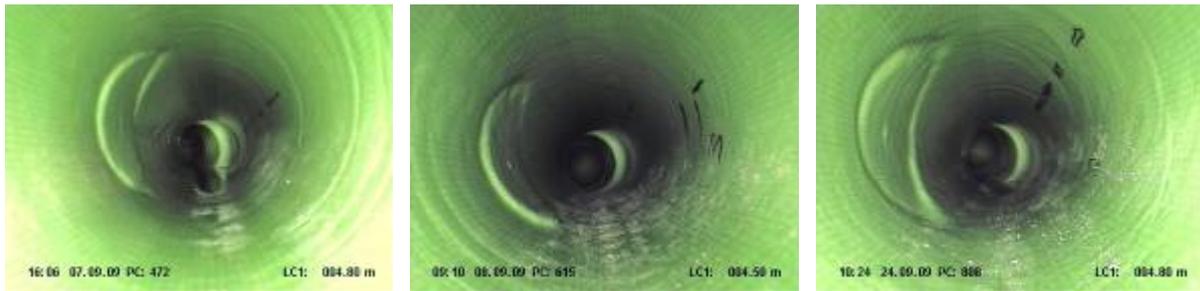
DrainLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



epros® DrainGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



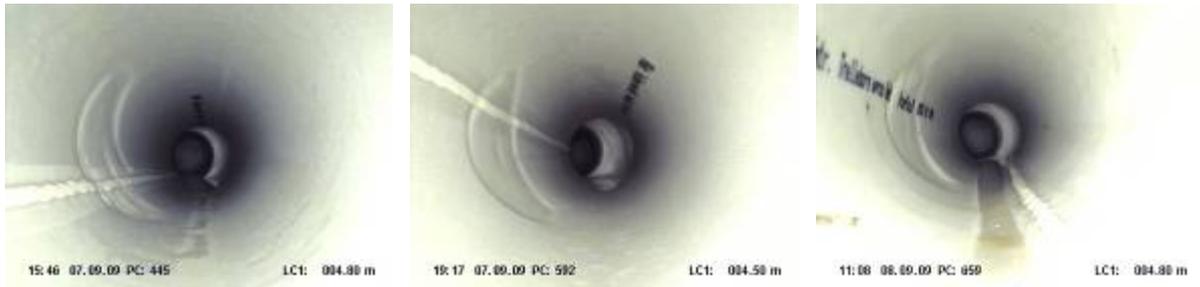
lineTEC ProFlex Liner, Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen  
Abbildung 13: „Standardsituation“, Altrohr Steinzeug DN 150, Steinzeug-Bogen 30°, vertikal angeordnet



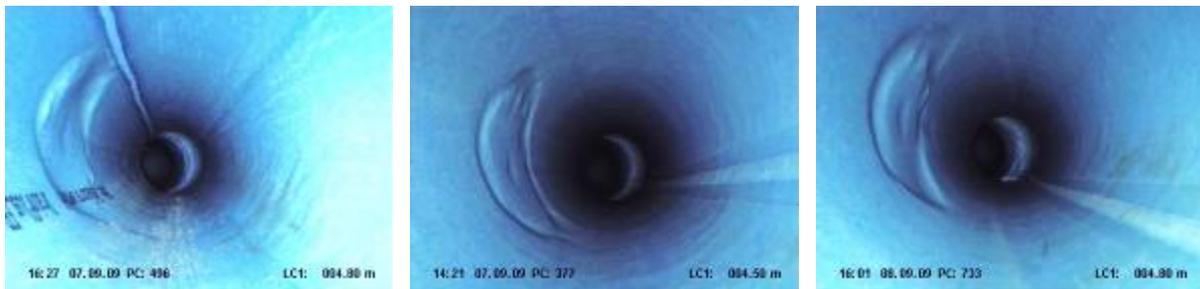
BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein



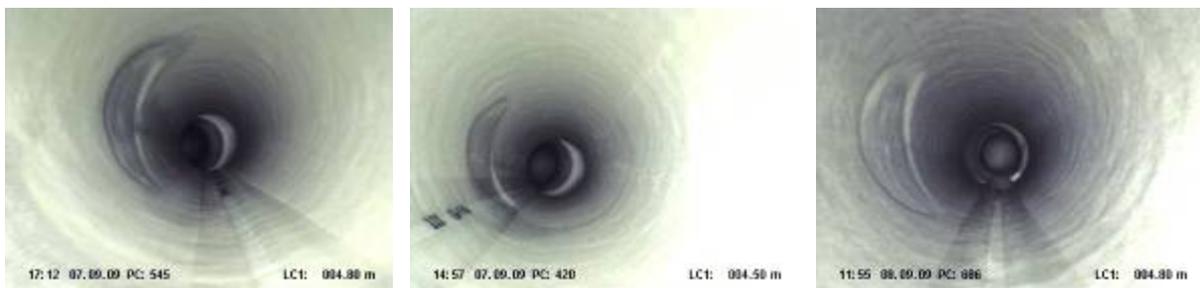
RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, RS-Technik AG, Esslingen



DrainPlusLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg

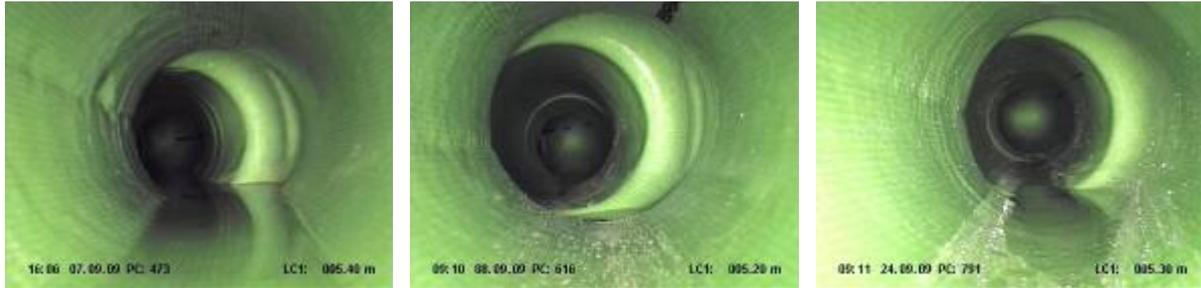


epros® DrainPlusGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



lineTEC ProFlex Liner, Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen

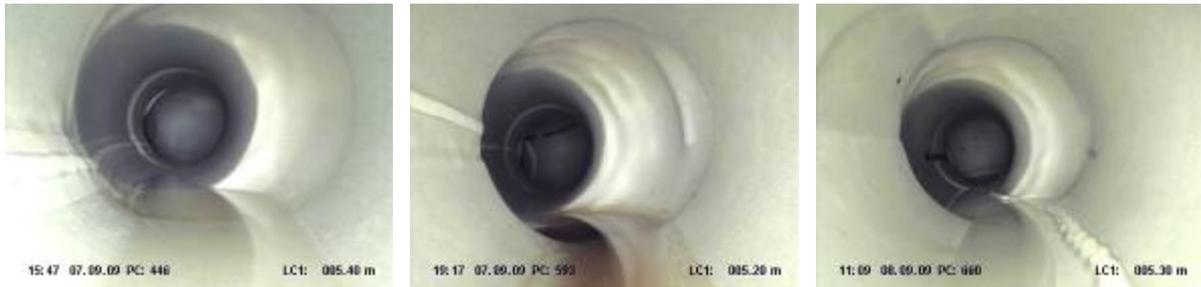
Abbildung 14: „Extremsituation“, Altrohr Steinzeug DN 125, Scherbenbildung, Kämpferriss, Versatz



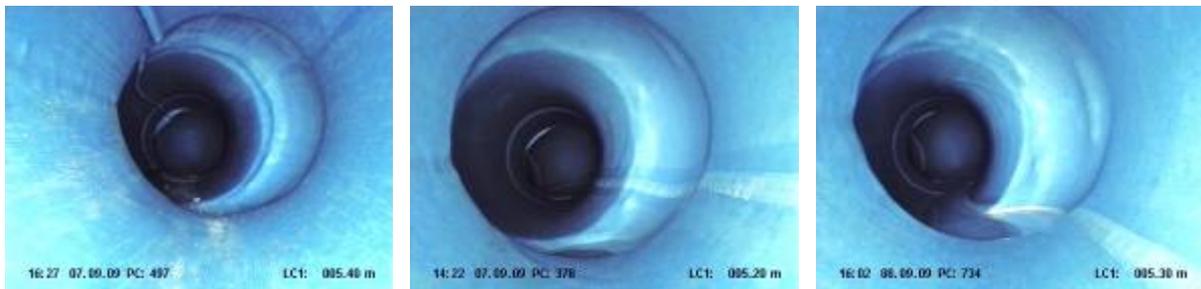
BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein



RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, RS-Technik AG, Esslingen



DrainPlusLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



epros® DrainPlusGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



lineTEC ProFlex Liner, Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen

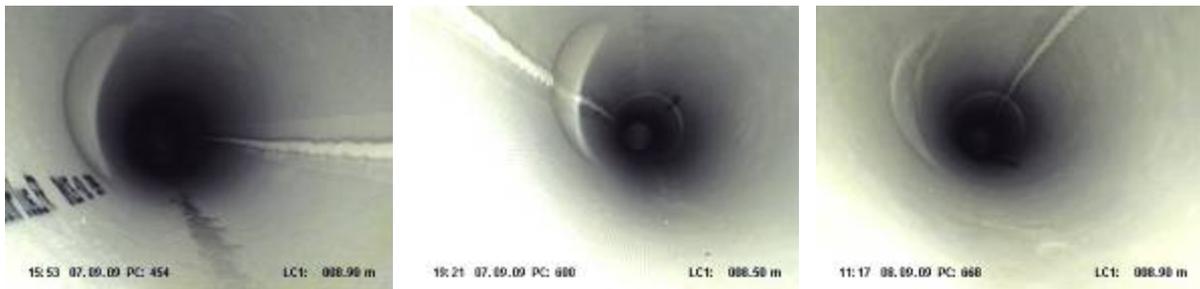
Abbildung 15: „Extremsituation“, Altrhr Steinzeug DN 125, Kämpferriss, Versatz, Steinzeug-Bogen 15°, horizontal angeordnet



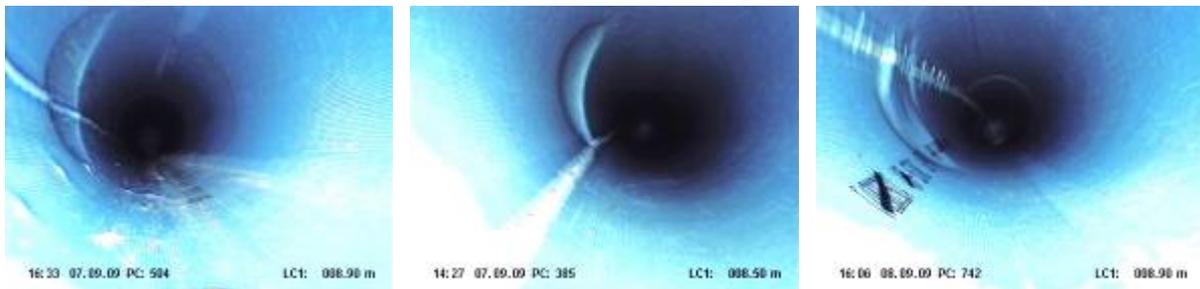
BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein



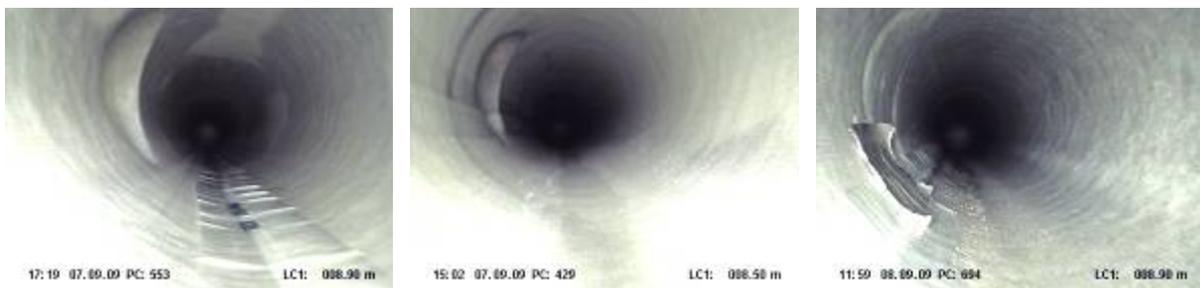
RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, RS-Technik AG, Esslingen



DrainPlusLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg

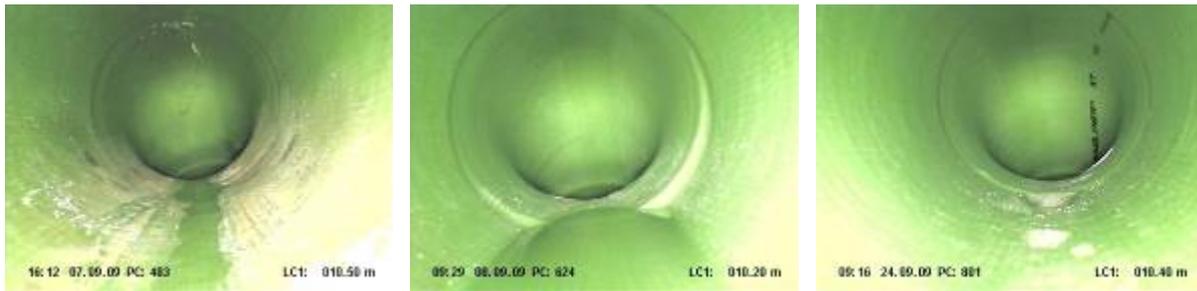


epros® DrainPlusGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



lineTEC ProFlex Liner, Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen

Abbildung 16: „Extremsituation“, Altrrohr Steinzeug DN 150, Scherbenbildung, fehlendes Wandungsteil



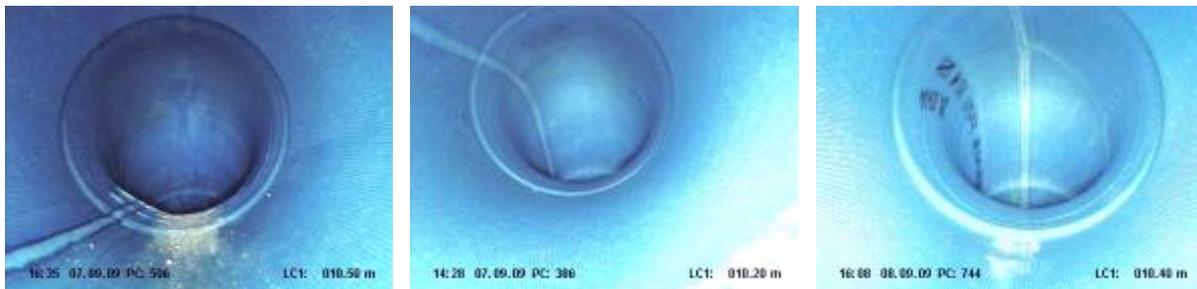
BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein



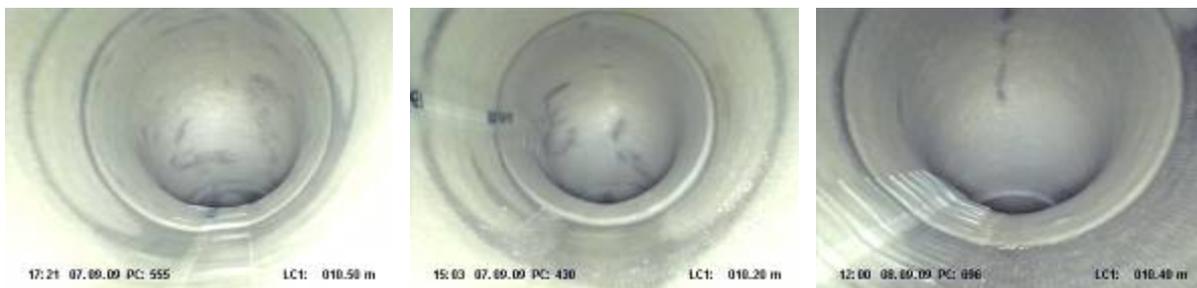
Bewertung RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, RS-Technik AG, Esslingen



DrainPlusLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



epros® DrainPlusGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



lineTEC ProFlex Liner, Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen

Abbildung 17: „Extremsituation“, Altrohr Steinzeug DN 150, Steinzeug-Bogen 30°, vertikal angeordnet



Steinzeug DN 150, Scheitelriss



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, vertikal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, horizontal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, horizontal angeordnet, Scherbenbildung in der Sohle, gegen Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, horizontal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, vertikal angeordnet, in Fließrichtung

Abbildung 18: „Standardsituation“, BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein



Steinzeug DN 150, Scheitelriss



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, vertikal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, horizontal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, horizontal angeordnet, Scherbenbildung in der Sohle, gegen Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, horizontal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, vertikal angeordnet, in Fließrichtung

Abbildung 19: „Standardsituation“, RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, RS-Technik AG, Esslingen



Steinzeug DN 150, Scheitelriss



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, vertikal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, horizontal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, horizontal angeordnet, Scherbenbildung in der Sohle, gegen Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, horizontal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, vertikal angeordnet, in Fließrichtung

Abbildung 20: „Standardsituation“, DrainLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



Steinzeug DN 150, Scheitelriss



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, vertikal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, horizontal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, horizontal angeordnet, Scherbenbildung in der Sohle, gegen Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, horizontal angeordnet, in Fließrichtung

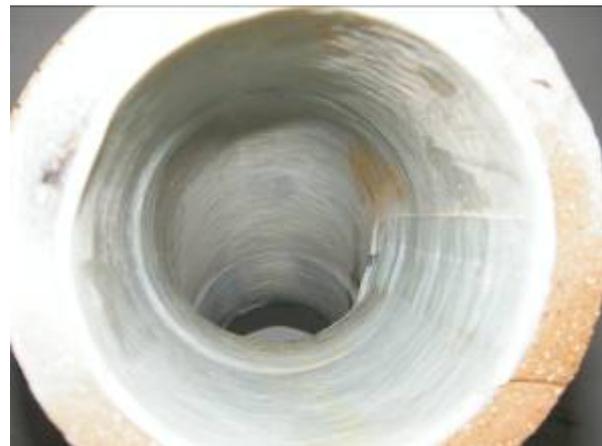


Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, vertikal angeordnet, in Fließrichtung

Abbildung 21: „Standardsituation“, epros<sup>®</sup> DrainGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



Steinzeug DN 150, Scheitelriss



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, vertikal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, horizontal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, horizontal angeordnet, Scherbenbildung in der Sohle, gegen Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, horizontal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 30°, DN 150, vertikal angeordnet, in Fließrichtung

Abbildung 22: „Standardsituation“, lineTEC ProFlex Liner, Harzsystem: Biresin line-TEC EP 40, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, Sohlbereich

Abbildung 23: „Standardsituation“, BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, Sohlbereich

Abbildung 24: „Standardsituation“, RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, RS-Technik AG, Esslingen



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, Sohlbereich

Abbildung 25: „Standardsituation“, DrainLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, Sohlbereich

Abbildung 26: „Standardsituation“, epros® DrainGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, Sohlbereich

Abbildung 27: „Standardsituation“, lineTEC ProFlex Liner, Harzsystem: Biresin line-TEC EP 40, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen



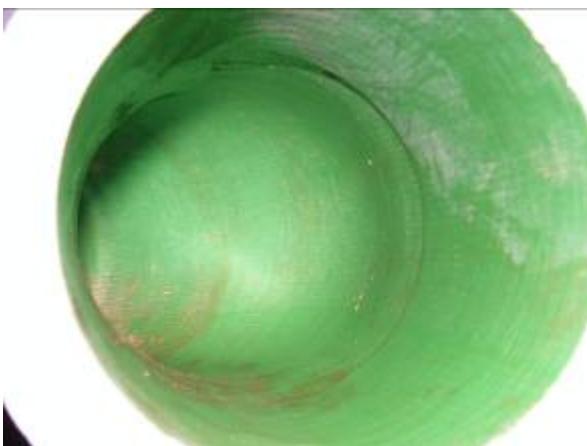
Übergang PVC-KG DN 125 auf Steinzeug DN 125



Steinzeug DN 125, Kämpferriss



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, horizontal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, horizontal angeordnet, gegen Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, vertikal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 45°, DN 125, Nennweiten wechsel DN 125 auf DN 150, gegen Fließrichtung

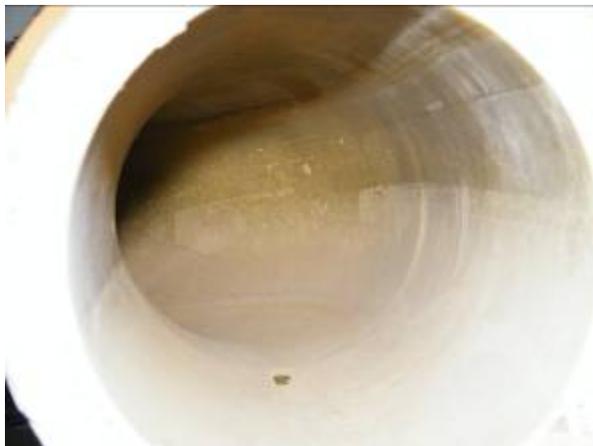
Abbildung 28: „Extremsituation“, BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein



Übergang PVC-KG DN 125 auf Steinzeug DN 125



Steinzeug DN 125, Kämpferriss



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, horizontal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, horizontal angeordnet, gegen Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, vertikal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 45°, DN 125, Nennweiten wechsel DN 125 auf DN 150, gegen Fließrichtung

Abbildung 29: „Extremsituation“, RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, RS-Technik AG, Esslingen



Übergang PVC-KG DN 125 auf Steinzeug DN 125



Steinzeug DN 125, Kämpferriss



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, horizontal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, horizontal angeordnet, gegen Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, vertikal angeordnet, in Fließrichtung

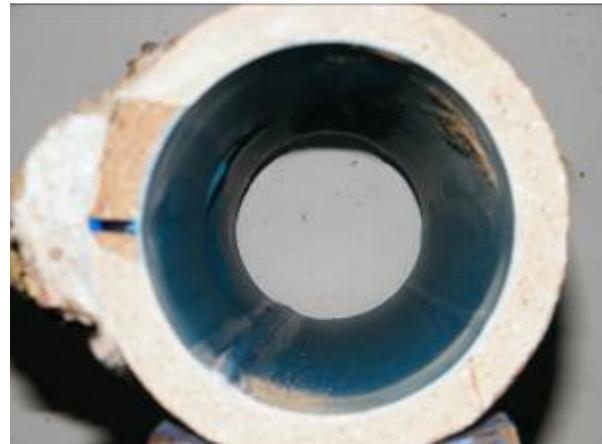


Steinzeug-Bogen 45°, DN 125, Nennweiten wechsel DN 125 auf DN 150, gegen Fließrichtung

Abbildung 30: „Extremsituation“, DrainPlusLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



Übergang PVC-KG DN 125 auf Steinzeug DN 125



Steinzeug DN 125, Kämpferriss



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, horizontal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, horizontal angeordnet, gegen Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, vertikal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 45°, DN 125, Nennweiten wechsel DN 125 auf DN 150, gegen Fließrichtung

Abbildung 31: „Extremsituation“, epros<sup>®</sup>DrainPlusGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



Übergang PVC-KG DN 125 auf Steinzeug DN 125



Steinzeug DN 125, Kämpferriss



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, horizontal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, horizontal angeordnet, gegen Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 45°, DN 150, vertikal angeordnet, in Fließrichtung



Steinzeug-Bogen 45°, DN 125, Nennweiten wechsel DN 125 auf DN 150, gegen Fließrichtung

Abbildung 32: „Extremsituation“, lineTEC ProFlex Liner, Harzsystem: Biresin line-TEC EP 40, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen



Steinzeug-Bogen 90°, DN 125, vertikal angeordnet



Steinzeug-Bogen 90°, DN 125, vertikal angeordnet



Steinzeug-Bogen 90°, DN 125, vertikal angeordnet

Abbildung 33: „Extremsituation“, BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein



Steinzeug-Bogen 90°, DN 125, vertikal angeordnet



Steinzeug-Bogen 90°, DN 125, vertikal angeordnet



Steinzeug-Bogen 90°, DN 125, vertikal angeordnet

Abbildung 34: „Extremsituation“, RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, RS-Technik AG, Esslingen



Steinzeug-Bogen 90°, DN 125, vertikal angeordnet



Steinzeug-Bogen 90°, DN 125, vertikal angeordnet



Steinzeug-Bogen 90°, DN 125, vertikal angeordnet

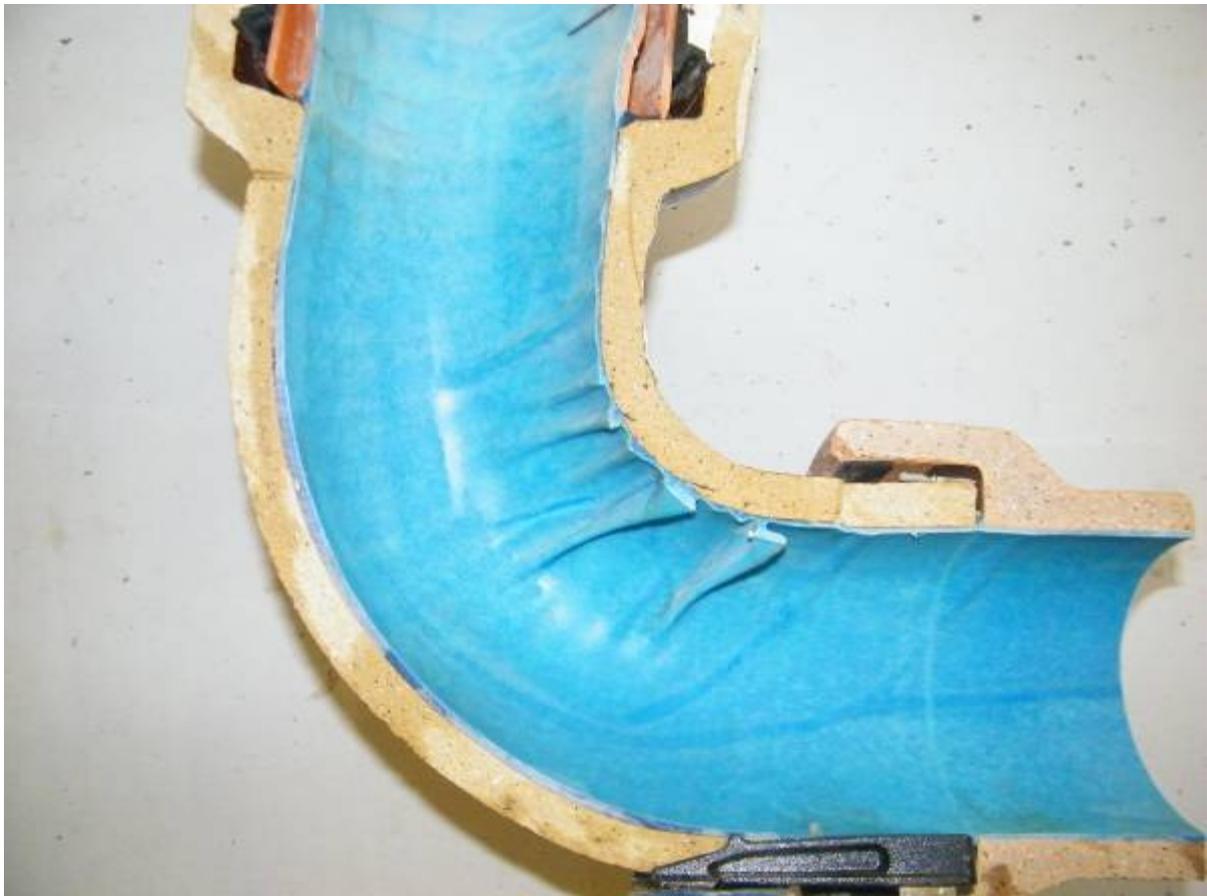
Abbildung 35: „Extremsituation“, DrainPlusLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



Steinzeug-Bogen 90°, DN 125, vertikal angeordnet

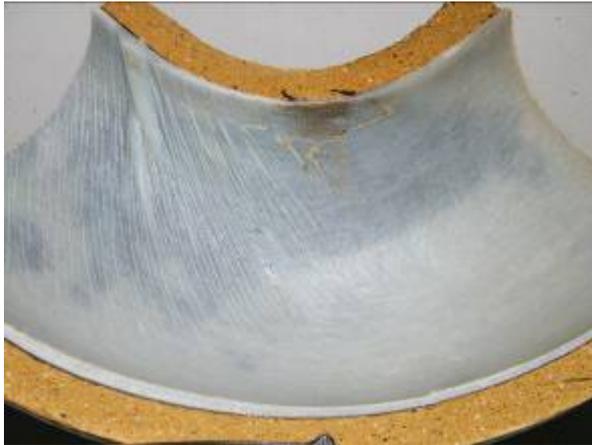


Steinzeug-Bogen 90°, DN 125, vertikal angeordnet

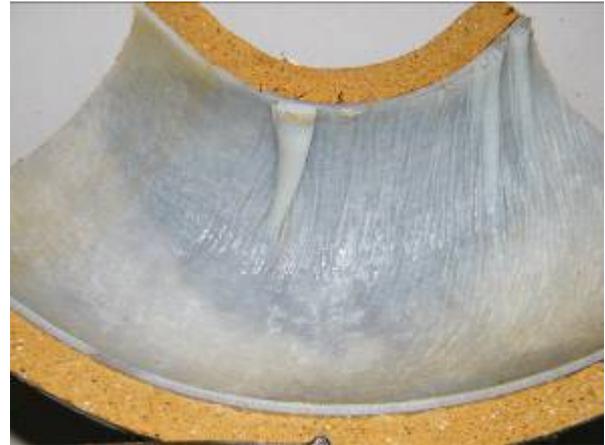


Steinzeug-Bogen 90°, DN 125, vertikal angeordnet

Abbildung 36: „Extremsituation“, epros® DrainPlusGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



Steinzeug-Bogen 90°, DN 125, vertikal angeordnet



Steinzeug-Bogen 90°, DN 125, vertikal angeordnet



Steinzeug-Bogen 90°, DN 125, vertikal angeordnet

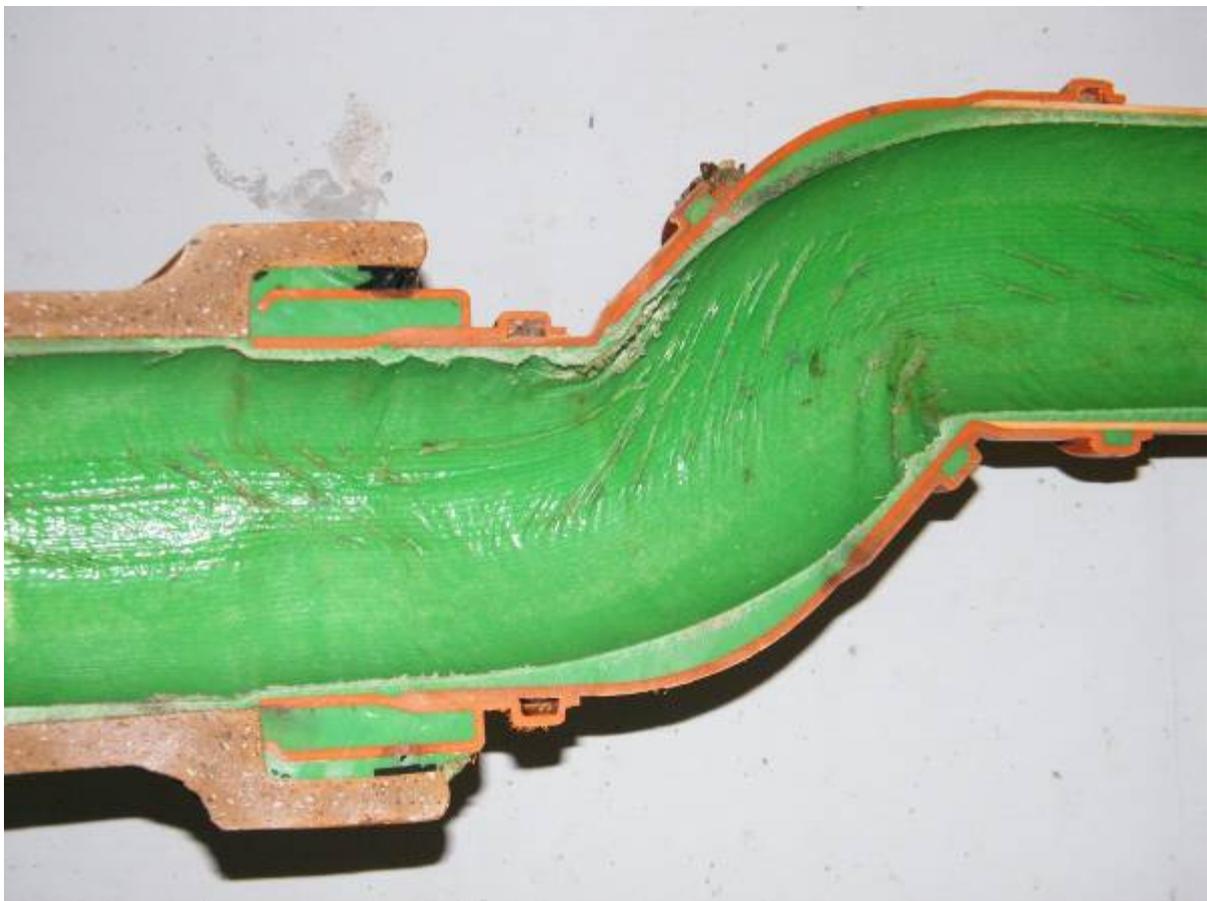
Abbildung 37: „Extremsituation“, lineTEC ProFlex Liner, Harzsystem: Biresin line-TEC EP 40, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen



Steinzeug-Bogen 45°, DN 125, Sohlbereich vertikal angeordnet



Steinzeug-Bogen 45°, DN 125, Sohlbereich vertikal angeordnet



PVC-KG-Bögen 45°, DN 125, Übergang auf Steinzeug DN 125, Sohlbereich, horizontal angeordnet

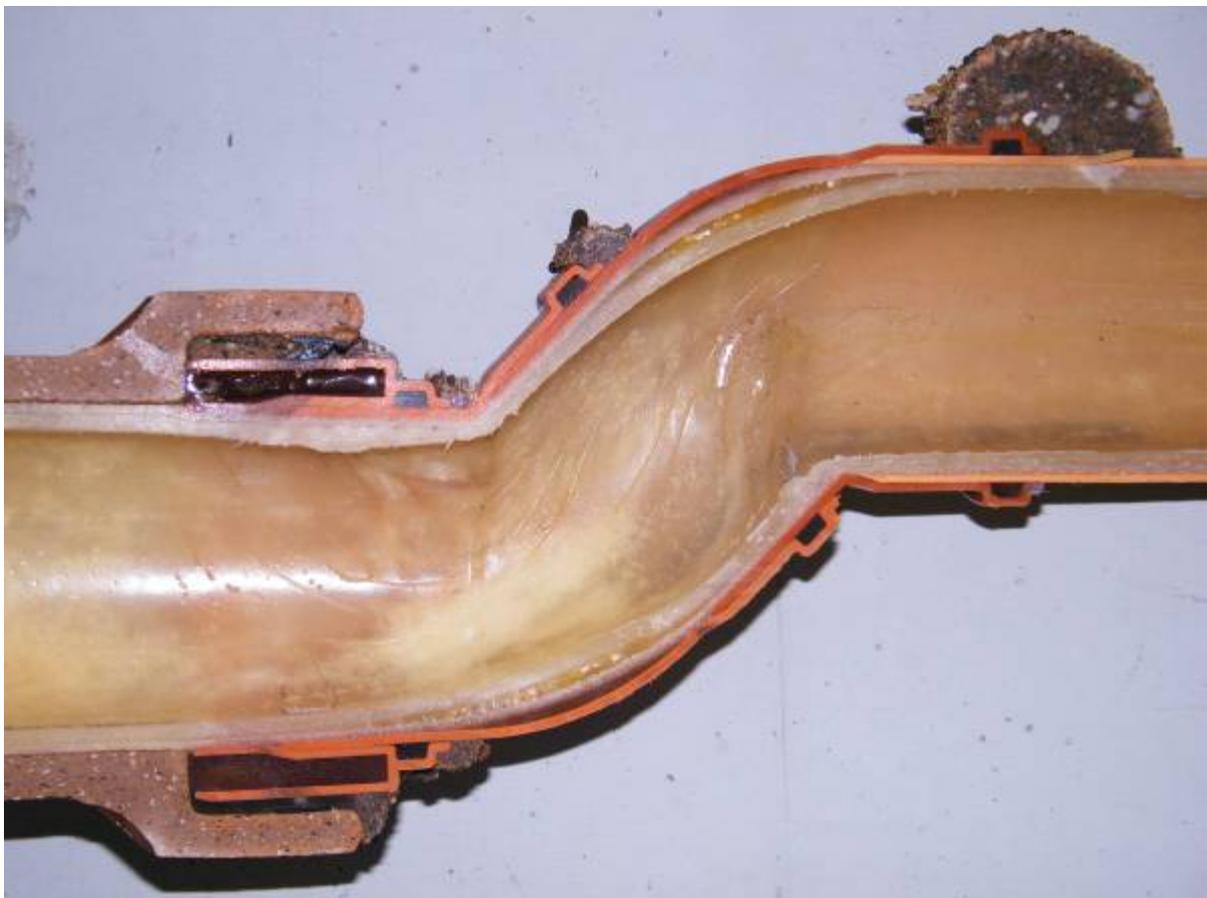
Abbildung 38: „Extremsituation“, BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein



Steinzeug-Bogen 45°, DN 125, Sohlbereich vertikal angeordnet



Steinzeug-Bogen 45°, DN 125, Sohlbereich vertikal angeordnet



PVC-KG-Bögen 45°, DN 125, Übergang auf Steinzeug DN 125, Sohlbereich, horizontal angeordnet

Abbildung 39: „Extremsituation“, RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, RS-Technik AG, Esslingen



Riss beim Ausbau  
Steinzeug-Bogen 45°, DN 125, Sohlbereich  
vertikal angeordnet



Steinzeug-Bogen 45°, DN 125, Sohlbereich  
vertikal angeordnet



PVC-KG-Bögen 45°, DN 125, Übergang auf Steinzeug DN 125, Sohlbereich, horizontal angeordnet

Abbildung 40: „Extremsituation“, DrainPlusLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



Steinzeug-Bogen 45°, DN 125, Sohlbereich vertikal angeordnet



Steinzeug-Bogen 45°, DN 125, Sohlbereich vertikal angeordnet



PVC-KG-Bögen 45°, DN 125, Übergang auf Steinzeug DN 125, Sohlbereich, horizontal angeordnet

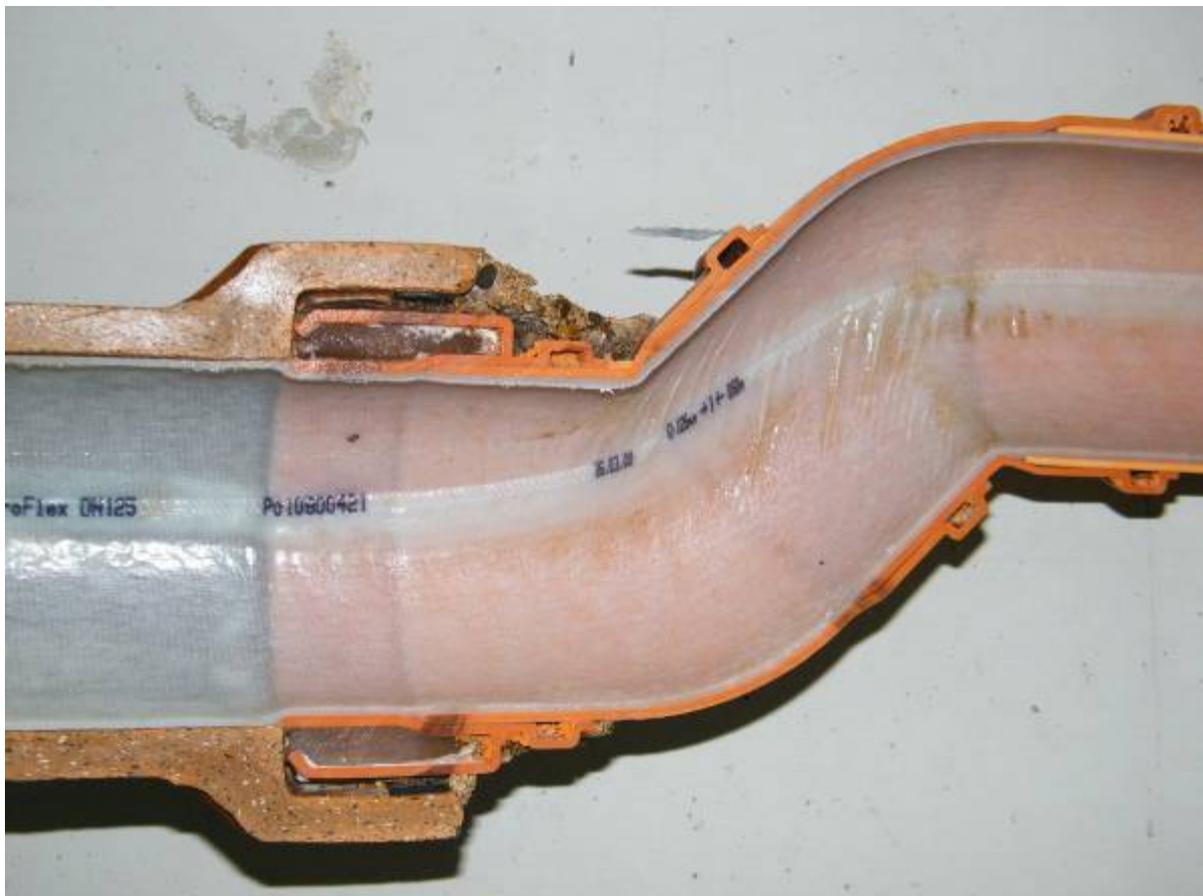
Abbildung 41: „Extremsituation“, epros® DrainPlusGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



Steinzeug-Bogen 45°, DN 125, Sohlbereich vertikal angeordnet



Steinzeug-Bogen 45°, DN 125, Sohlbereich vertikal angeordnet



PVC-KG-Bögen 45°, DN 125, Übergang auf Steinzeug DN 125, Sohlbereich, horizontal angeordnet

Abbildung 42: „Extremsituation“, lineTEC ProFlex Liner, Harzsystem: Biresin line-TEC EP 40, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen

#### 4.1.4.2 Dichtheit

Die Dichtheit ist ein weiteres, wesentliches Kriterium, das von einer Leitung zum Transport von Abwasser erfüllt werden muss. Grenzwerte zur Dichtheit beziehen sich dabei immer auf ein Medium und einen Prüfdruck. Eine Abwasserleitung kann z.B. wasserdicht bis zu einem geforderten Innen- bzw. Außendruck sein.

Für die Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen, die üblicherweise erdverlegt sind und unter Freispiegelbedingungen betrieben werden, gilt DIN EN 1610 [11] als Abnahmeprüfung. Diese Norm ist anwendbar für Abwasserleitungen und –kanäle in Gräben, bei Dammbedingungen oder oberirdischer Verlegung. Für die grabenlose Bauausführung wird auf DIN EN 12889 [33] verwiesen. Die Prüfung der Dichtheit kann in beiden Fällen mit Luft (Verfahren „L“) oder Wasser (Verfahren „W“) durchgeführt werden. Nicht Gegenstand dieser Normen sind Renovierungsverfahren für vorhandene Abwasserleitungen und –kanäle. Allerdings verweist DIN EN 13566-1 [34] für „Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen“ explizit darauf, dass das eingebaute Lining-System den Dichtheitsanforderungen in Abschnitt 13 von EN 1610 [11], d.h. den Anforderungen der Druckprüfung, entsprechen soll.

Auf den hier relevanten Anwendungsfall privater Entwässerungssysteme wird in den vorgenannten Normen nicht explizit eingegangen. Diesbezügliche Anforderungen sind in DIN 1986-30 [18] besonders dargestellt. Grundleitungen, die ausschließlich häusliches Abwasser oder Mischwasser, jedoch kein gewerbliches Abwasser transportieren, gelten gemäß DIN 1986-30 grundsätzlich als dicht, wenn bei einer Prüfung mit der Kanalfernsehanlage keine sichtbaren Schäden und Fremdwassereintritte festgestellt wurden. Ist eine optische Inspektion nicht durchführbar oder wird sie als nicht ausreichend angesehen, ist wiederum eine Dichtheitsprüfung nach DIN EN 1610 [11] mit Wasser oder Luft durchzuführen.

Im Zuge der DIBt-Zulassungen der Linerprodukte wird auch die Dichtheit des Laminats überprüft, sofern dieses die Dichtwirkung maßgeblich übernimmt. Zur Überprüfung dieser Dichtwirkung wird in der Praxis eine Dichtheitsprüfung des Laminats nach Anforderungen der APS (vgl. [9]) an Liner-Probestücken durchgeführt.

In Nordrhein-Westfalen fordert das Landeswassergesetz [5] im §61a, dass private Abwasserleitungen einer Dichtheitsprüfung zu unterziehen sind. Die anzuwendenden Verfahren zur Dichtheitsprüfung, Prüfmedium, Prüfdruck, Prüfzeit und Dichtkeitskriterien sind nicht explizit definiert. Im Rahmen des IKT-Warentests „Hausanschluss-Liner“ wurden daher zur Bewertung der Hausanschlussliner verschiedene der o.a. Dichtheitsprüfungen durchgeführt und deren Ergebnisse gewichtet in die Gesamtbewertung einbezogen. Im Einzelnen betraf dies folgende Prüfungen: Strangprüfungen, Dichtheitsprüfungen nach den Anforderungen der APS, Dichtheitsprüfung durch Außenwasserdruckbelastung.

#### 4.1.4.2.1 Strangprüfungen

Nach der Sanierung wurden alle Leitungen in Anlehnung an DIN EN 1610 [11] auf Dichtheit geprüft. Einzelne Leitungsbereiche wurden anschließend HD- bzw. mechanisch gereingt. Diese Leitungen wurden nach der Reinigung erneut auf Dichtheit geprüft.

Zur Strangprüfung werden in Abschnitt 13 der DIN EN 1610 [11] das Verfahren und die Anforderungen für die Prüfung von Freispiegelleitungen beschrieben. Die Prüfung der Dichtheit kann mit Luft (Verfahren „L“) oder Wasser (Verfahren „W“) durchgeführt werden. Im Fall des einmaligen oder wiederholten Nichtbestehens der Prüfung mit Luft ist ein Übergang zur Prüfung mit Wasser zulässig, und das Ergebnis der Prüfung mit Wasser maßgebend.

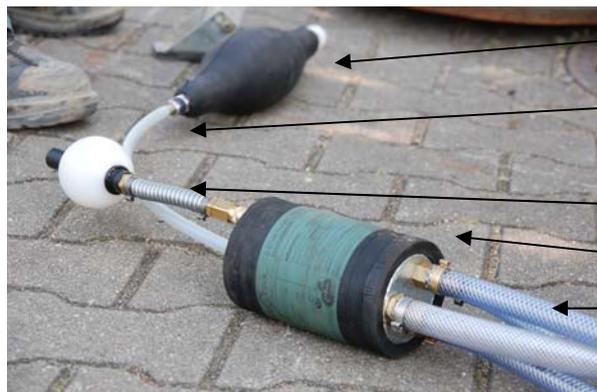
Bei der Prüfung mit Luft ist zu beachten, dass sich z.B. bei einer Undichtigkeit an den Rohrprüfgeräten die komprimierte Luft explosionsartig ausbreiten kann. Das Gefährdungspotential steigt dabei mit zunehmendem Prüfvolumen, ist also Abhängig von Rohrdurchmesser und Haltungslänge. Die Anforderungen bezüglich Unfallverhütung und Arbeitsschutz sind daher besonders zu beachten. Bei der Prüfung mit Wasser ist die zu prüfende Leitung vor der Prüfung vollständig zu entlüften, da Lufteinschlüsse aufgrund der Komprimierbarkeit der Luft das Ergebnis der Prüfung maßgebend beeinflussen können.

Im vorliegenden Anwendungsfall wurde aufgrund des geringen Durchmessers der Leitungen (DN 125 und DN 150) und der vergleichbar geringen Haltungslänge von ca. 12 m zunächst eine Prüfung nach Verfahren „L“ mit Luft durchgeführt. Die Prüfzeit ist nach DIN EN 1610 [11] unter Berücksichtigung des Rohrdurchmessers und des Prüfverfahrens (LA; LB; LC; LD) aus Tabelle 8 zu entnehmen. Im Gegensatz zur Prüfung mit Wasser nach Verfahren „W“ ist eine exakte Berechnung der während der Prüfung benetzten Oberfläche nicht erforderlich. Wird die Dichtheitsprüfung mit Luft nicht bestanden, ist aber letztlich das Ergebnis einer anschließenden Wasserdruckprüfung maßgebend.

Tabelle 8: Prüfdruck, Druckabfall und Prüfzeiten für die Prüfung mit Luft [11]

Werkstoff	Prüfverfahren	$p_0^*)$ mbar (kPa)	$\Delta p$	Prüfzeit (min)						
				DN 100	DN 200	DN 300	DN 400	DN 600	DN 800	DN 1000
Trockene Beton- rohre	LA	10 (1)	2,5 (0,25)	5	5	5	7	11	14	18
	LB	50 (5)	10 (1)	4	4	4	6	8	11	14
	LC	100 (10)	15 (1,5)	3	3	3	4	6	8	10
	LD	200 (20)	15 (1,5)	1,5	1,5	1,5	2	3	4	5
$K_p$ -Wert**)				0,058	0,058	0,053	0,040	0,0267	0,020	0,016
Feuchte Beton- rohre und alle anderen Werk- stoffe	LA	10 (1)	2,5 (0,25)	5	5	7	10	14	19	24
	LB	50 (5)	10 (1)	4	4	6	7	11	15	19
	LC	100 (10)	15 (1,5)	3	3	4	5	8	11	14
	LD	200 (20)	15 (1,5)	1,5	1,5	2	2,5	4	5	7
$K_p$ -Wert**)				0,058	0,058	0,040	0,030	0,020	0,015	0,012
<p>*) Druck über Atmosphärendruck</p> <p>**<math>t = \frac{1}{K_p} \cdot \ln \frac{p_0}{p_0 - \Delta p}</math></p> <p>Für trockene Betonrohre ist <math>K_p = \frac{16}{DN}</math> mit einem Höchstwert von 0,058.</p> <p>Für feuchte Betonrohre und alle anderen Werkstoffe ist <math>K_p = \frac{12}{DN}</math> mit einem Höchstwert von 0,058.</p> <p>wobei <math>t</math> bei <math>t \leq 5</math> min auf die nähere 0,5 Minute, und bei <math>t &gt; 5</math> min auf die nähere min gerundet ist.</p> <p>ln = log<sub>e</sub></p>										

Im Rahmen des IKT-Warentests wurden zur Dichtheitsprüfung mit Luft jeweils nacheinander Prüfungen nach den vier möglichen Prüfverfahren LA bis LD durchgeführt. Zum Einsatz kam ein spezielles Prüfgerät für Hausanschlüsse sowie das Druckprüfmessgerät DMS 5.0 der städtler + beck GmbH, Speyer (vgl. Abbildung 43).



Schubblasen DN 90 bis DN 150

Multifunktionsschlauch zum Positionieren und Befüllen der Schubblase (PA-Rohr mit eingearbeiteter Stahlschnecke als Knickschutz)

Entlüftungsschlauch

Prüfbubble DN 90 bis DN 150

Anschlusschläuche

Abbildung 43: Prüfgerät für Hausanschlüsse der städtler + beck GmbH, Speyer

Für die durchzuführenden Dichtheitsprüfungen wurde der standardmäßig 10 m lange Multifunktionsschlauch zur Positionierung und Befüllung der Schubblase mit einem Zusatzschlauch auf eine Gesamtlänge von 15 m verlängert. Anschließend wurde die Schubblase an das PA-Rohr gekuppelt und an das Ende der zu prüfenden Hausanschlussleitung geschoben. Nach der Positionierung wurde die Schubblase über einen Prüfkopf mit Manometer mit bis zu 2,5 bar Druck beaufschlagt. Nach der Fixierung und Abdichtung des PA-Rohres am Durchgang des Anschlusschlauchs der Prüfbubble mit einer Stopfbuchse wurde die Prüfbubble ebenfalls mit einem Druck bis zu 2,5 bar beaufschlagt. Nachdem die Absperrarmatur mit Kugelhahn und Manometer am entsprechenden Anschlusschlauch montiert war, wurde die zu prüfende Hausanschlussleitung bis zum Erreichen des erforderlichen Anfangsdruckes mit Luft befüllt. Anschließend wurden die Prüfungen nach Verfahren „L“ gemäß DIN EN 1610 [11] durchgeführt. Der Anfangsdruck, der den erforderlichen Prüfdruck um etwa 10 % überschreitet, war zunächst für etwa 5 Minuten aufrecht zu erhalten. Anschließend wurde der erforderliche Prüfdruck eingestellt und der Druckabfall während der Prüfzeit gemessen.

Alle durchgeführten Strangprüfungen nach der Sanierung konnten mit dem Prüfergebnis „dicht“ bewertet werden. Die Abbildung 44 und Abbildung 45 zeigen die gemessenen Druckverluste der einzelnen Prüfungen.

Ebene 1 / A			Ebene 1 / C			Ebene 1 / D			Ebene 1 / E			Ebene 1 / F		
Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]
10	5	1,46	10	5	0,78	10	5	0,15	10	5	2,51	10	5	0,19
50	4	4,09	50	4	2,79	50	4	0,51	50	4	6,00	50	4	0,45
100	3	5,38	100	3	4,26	100	3	0,87	100	3	8,20	100	3	0,14
200	1,5	5,49	200	1,5	4,62	200	1,5	1,26	200	1,5	9,35	200	1,5	0,21

Ebene 2 / B			Ebene 2 / C			Ebene 2 / D			Ebene 2 / E			Ebene 2 / F		
Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]
10	5	0,33	10	5	0,22	10	5	0,43	10	5	0,19	10	5	0,02
50	4	0,68	50	4	0,67	50	4	1,74	50	4	0,89	50	4	0,06
100	3	1,20	100	3	1,29	100	3	2,31	100	3	1,53	100	3	0,11
200	1,5	0,88	200	1,5	1,21	200	1,5	2,39	200	1,5	2,08	200	1,5	0,04

Ebene 3 / A			Ebene 3 / B			Ebene 3 / C			Ebene 3 / D			Ebene 3 / E		
Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]
10	5	0,34	10	5	0,46	10	5	1,38	10	5	0,14	10	5	0,04
50	4	0,99	50	4	0,62	50	4	3,91	50	4	0,18	50	4	0,39
100	3	1,44	100	3	0,90	100	3	5,49	100	3	0,22	100	3	0,38
200	1,5	1,37	200	1,5	0,94	200	1,5	5,89	200	1,5	0,17	200	1,5	0,37

Abbildung 44: Ergebnisse der Strangprüfungen nach der Sanierung (Ebene 1 bis Ebene 3)

Ebene 4 / A			Ebene 4 / B			Ebene 4 / C			Ebene 4 / D			Ebene 4 / F		
Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]
10	5	0,86	10	5	1,56	10	5	0,69	10	5	0,05	10	5	1,40
50	4	2,69	50	4	4,71	50	4	1,98	50	4	0,41	50	4	2,86
100	3	3,99	100	3	6,72	100	3	2,97	100	3	0,62	100	3	4,03
200	1,5	4,79	200	1,5	6,73	200	1,5	2,86	200	1,5	0,59	200	1,5	3,97

Ebene 5 / A			Ebene 5 / B			Ebene 5 / C			Ebene 5 / E			Ebene 5 / F		
Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]
10	5	1,66	10	5	0,22	10	5	1,22	10	5	0,83	10	5	2,24
50	4	4,51	50	4	0,34	50	4	4,12	50	4	1,56	50	4	5,85
100	3	7,94	100	3	0,65	100	3	5,92	100	3	2,11	100	3	8,23
200	1,5	5,73	200	1,5	0,49	200	1,5	6,83	200	1,5	2,09	200	1,5	8,28

Ebene 6 / A			Ebene 6 / B			Ebene 6 / D			Ebene 6 / E			Ebene 6 / F		
Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]
10	5	0,51	10	5	0,08	10	5	0,70	10	5	0,26	10	5	1,71
50	4	0,73	50	4	0,18	50	4	1,68	50	4	0,61	50	4	4,13
100	3	1,19	100	3	0,19	100	3	2,27	100	3	0,79	100	3	5,56
200	1,5	1,27	200	1,5	0,09	200	1,5	2,25	200	1,5	0,96	200	1,5	5,70

Abbildung 45: Ergebnisse der Strangprüfungen nach der Sanierung (Ebene 4 bis Ebene 6)

Um mögliche Betriebsbeanspruchungen der eingebauten Hausanschlussliner zu simulieren, wurde jeweils eine Leitung vom Typ „Standardsituation“ und eine Haltung vom Typ „Extremsituation“ einer Wasserhochdruckreinigung unterzogen (vgl. Abbildung 46).

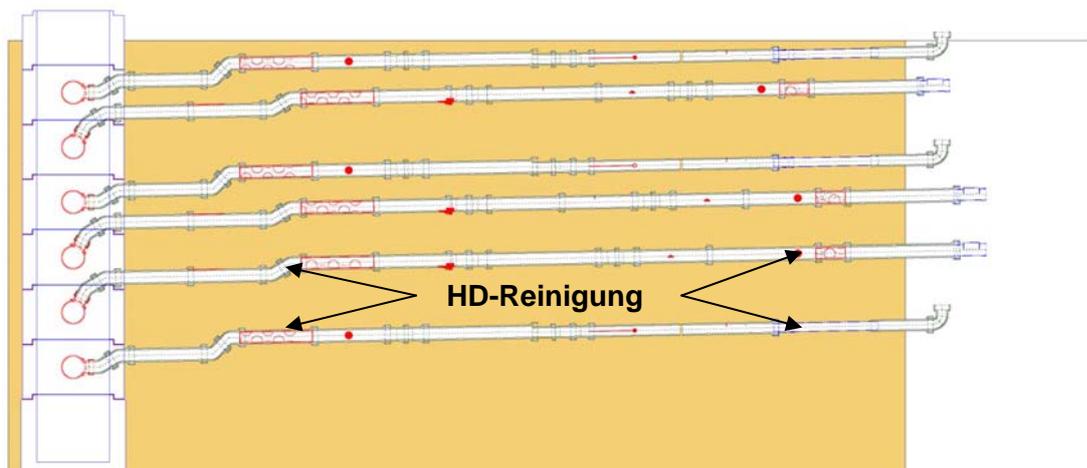


Abbildung 46: Seitenansicht des Versuchsaufbaus

Zunächst wurden Druck und Wasserdurchfluss der Reinigungsdüse bestimmt (vgl. Abbildung 47). An der Düse wurde nach Vorgabe des Lenkungs-kreises der Kanalnetzbetreiber ein Druck von 100 bar bei einem Durchflusswert von 80 l/min eingestellt. Mit diesem Druck wurden insgesamt je fünf Reinigungsdurchgänge in den Leitungen durchgeführt.



Abbildung 47: Spüldüse (links), Einstellung von Druck und Durchflussmenge (rechts)

Die durch die Wasserhochdruckreinigung beanspruchten Leitungen wurden einer erneuten Dichtheitsprüfung unterzogen. Alle durchgeführten Strangprüfungen nach

der HD-Reinigung konnten mit dem Prüfergebnis „dicht“ bewertet werden. Die Abbildung 50 zeigt die gemessenen Druckverluste der einzelnen Prüfungen.

Neben der HD-Reinigung werden in der Praxis auch mechanische Reinigungsgeräte eingesetzt. Mit dem Einsatz mechanischer Reinigungsgeräte wird eine Zerstörung der Linerstruktur provoziert. Im Rahmen einer nicht bewertungsrelevanten Zusatzuntersuchung wurde ein 6 m langer Bereich der Ebene 1 mit einer Kettenschleuder beansprucht (vgl. Abbildung 48 und Abbildung 49). Die durch diese mechanische Reinigung beanspruchten Leitungen wurden einer Dichtheitsprüfung unterzogen.

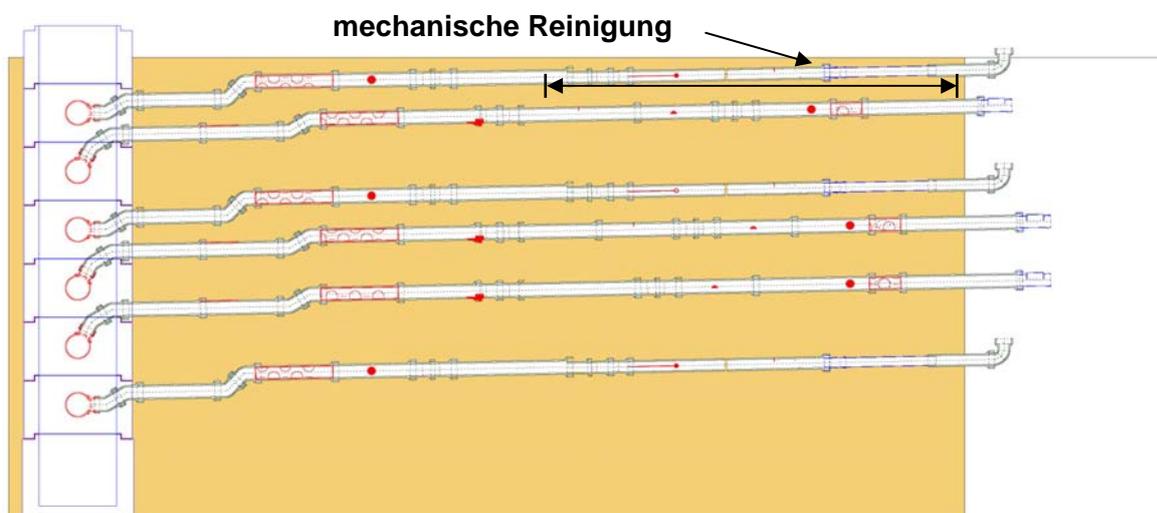


Abbildung 48: Seitenansicht des Versuchsaufbaus



Abbildung 49: Einsatz der Kettenschleuder

Sämtliche Strangprüfungen nach der mechanischen Reinigung konnten mit dem Prüfergebnis „dicht“ abgeschlossen werden. Die Abbildung 50 zeigt die gemessenen Druckverluste der einzelnen Prüfungen.

In Tabelle 9 und Tabelle 10 sind die Ergebnisse der Strangprüfungen zusammengefasst.

Ebene 6 / A			Ebene 6 / B			Ebene 6 / D			Ebene 6 / E			Ebene 6 / F		
Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]
10	5	0,00	10	5	0,13	10	5	1,77	10	5	0,22	10	5	0,07
50	4	0,44	50	4	0,04	50	4	4,89	50	4	0,53	50	4	0,45
100	3	0,52	100	3	0,03	100	3	7,24	100	3	0,61	100	3	0,52
200	1,5	0,26	200	1,5	0,00	200	1,5	7,67	200	1,5	0,56	200	1,5	0,83

Ebene 6 / A			Ebene 6 / B			Ebene 6 / D			Ebene 6 / E			Ebene 6 / F		
Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]
10	5	0,21	10	5	0,16	10	5	1,21	10	5	0,07	10	5	0,15
50	4	0,26	50	4	0,27	50	4	5,53	50	4	0,11	50	4	0,06
100	3	0,13	100	3	0,41	100	3	9,31	100	3	0,69	100	3	0,02
200	1,5	0,09	200	1,5	0,35	200	1,5	5,09	200	1,5	0,59	200	1,5	0,42

Ebene 5 / A			Ebene 5 / B			Ebene 5 / C			Ebene 5 / E			Ebene 5 / F		
Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]
10	5	2,21	10	5	0,01	10	5	0,15	10	5	0,62	10	5	0,41
50	4	6,51	50	4	0,37	50	4	0,86	50	4	1,37	50	4	0,84
100	3	9,35	100	3	0,22	100	3	0,87	100	3	1,97	100	3	1,09
200	1,5	10,13	200	1,5	0,30	200	1,5	0,73	200	1,5	1,86	200	1,5	1,06

Ebene 1 / A			Ebene 1 / C			Ebene 1 / D			Ebene 1 / E			Ebene 1 / F		
Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]	Druck [mbar]	Zeit [Min]	Druckverlust [mbar]
10	5	0,10	10	5	0,25	10	5	0,08	10	5	0,11	10	5	2,40
50	4	0,56	50	4	1,34	50	4	0,21	50	4	0,36	50	4	6,88
100	3	0,44	100	3	2,95	100	3	0,48	100	3	0,51	100	3	9,53
200	1,5	0,80	200	1,5	3,49	200	1,5	0,35	200	1,5	1,44	200	1,5	9,09

Abbildung 50: Ergebnisse der Strangprüfungen nach der HD-Reinigung und mechanischer Reinigung  
 Ebene 6 nach einem Spüldurchgang (links),  
 Ebene 6 nach insgesamt 5 Spüldurchgängen (mitte links),  
 Ebene 5 nach fünf Spüldurchgängen (mitte rechts),  
 Ebene 1 nach einem Durchgang Kettenschleuder (rechts)

Tabelle 9: Bestandene Dichtheitsprüfungen gemäß DIN EN 1610 [11] vor und nach der hydraulischen Belastung, „Standardsituation“

Liner Anbieter	gesamte Anschlussleitung, unbelastet	Teilbereich, belastet durch HD-Reinigung <sup>1)</sup>
BRAWOLINER XT Harzsystem: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	3/3	1/1
RS MaxLiner-FLEX S Harzsystem: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	3/3	1/1
DrainLiner Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	3/3	1/1
epros® DrainGlassLiner (Prototyp) Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	3/3	1/1
lineTEC ProFlex Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	3/3	1/1

<sup>1)</sup> 5 Durchgänge

Tabelle 10: Bestandene Dichtheitsprüfungen gemäß DIN EN 1610 [11] vor und nach der hydraulischen sowie mechanischen Belastung, „Extremsituation“

Liner Anbieter	gesamte Anschlussleitung, unbelastet	Teilbereich, belastet durch HD-Reinigung <sup>1)</sup>	Teilbereich, belastet durch Spirale <sup>2)</sup> mit 4er-Kette
BRAWOLINER XT Harzsystem: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	3/3	1/1	1/1
RS MaxLiner-FLEX S Harzsystem: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	3/3	1/1	1/1
DrainPlusLiner Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	3/3	1/1	1/1
epros® DrainPlusGlassLiner (Prototyp) Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	3/3	1/1	1/1
lineTEC ProFlex Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	3/3	1/1	1/1

<sup>1)</sup> 5 Durchgänge

<sup>2)</sup> 1 Durchgang

Als Ergebnis der mechanischen Reinigung mit der Kettenschleuder konnten erwartungsgemäß Beschädigungen der Innenfolie und Riefenbildung festgestellt werden. Deutliche Zerstörungen der Linerstruktur waren nicht zu erkennen. Abbildung 51 bis Abbildung 55 zeigt die Hausanschlussliner nach dem Einsatz der Kettenschleuder. Dargestellt ist ein Bereich im Altrrohr PVC-KG DN 125, Gerade und 45°-Bögen.



Abbildung 51: Hausanschlussliner nach dem Einsatz der Kettenschleuder  
BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, DN 125, Karl Otto Braun  
GmbH & CO. KG, Wolfstein



Abbildung 52: Hausanschlussliner nach dem Einsatz der Kettenschleuder  
RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, DN 125, RS-  
Technik AG, Esslingen



Abbildung 53: Hausanschlussliner nach dem Einsatz der Kettenschleuder DrainPlusLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, DN 125, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg

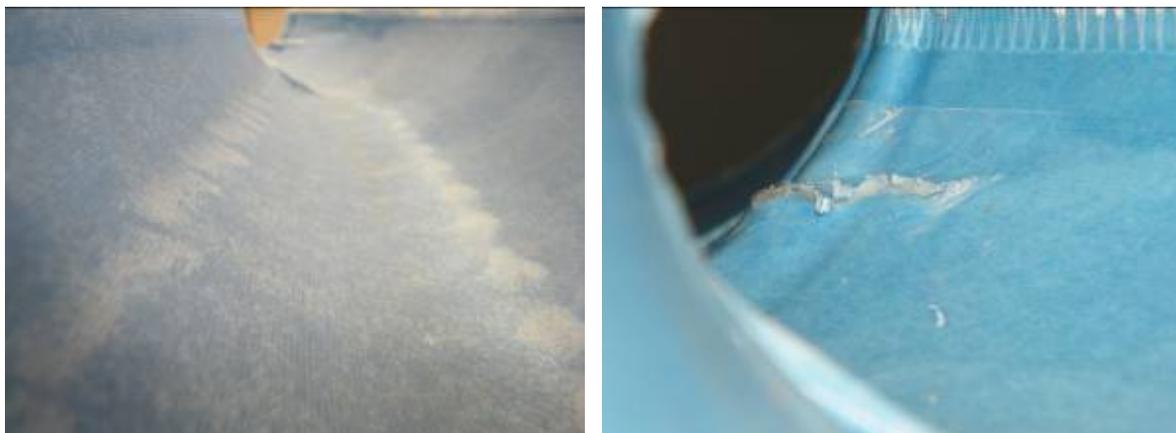


Abbildung 54: Hausanschlussliner nach dem Einsatz der Kettenschleuder epros<sup>®</sup> DrainPlusGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, DN 125, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg



Abbildung 55: Hausanschlussliner nach dem Einsatz der Kettenschleuder lineTEC ProFlex, Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40, DN 125, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen

Bei Beschädigung der Innenfolie durch mechanische Reinigung entfällt grundsätzlich auch die Dichtwirkung dieser Folie an der geschädigten Stelle, so dass die Dichtfunktion hier zunächst vollständig durch die Struktur des Laminates übernommen werden müsste. Die genauere Untersuchung der linersanierten Rohrstücke zeigte jedoch, dass Undichtigkeiten im Altrrohr ggf. auch durch Linerharz abgedichtet wurden, das in die Muffen, Scherben oder sogar den Boden austrat. Diese, zum Teil mit einer Injektion vergleichbare Abdichtung führte möglicherweise dazu, dass die Dichtheitskriterien nach der mechanischen Reinigung auch bei Schwächen in der APS-Prüfung in der Strangprüfung noch erfüllt werden konnten, allerdings u.U. zu Lasten der Liner-Wanddicke.

Die Abbildung 56 zeigt beispielhaft, wie das Harz die Bereiche der Rohrverbindung ausfüllt, sowie das aus der Rohrverbindung ausgetretene Harz. Das Harz hat sich hier mit dem umgebenden Boden zu einem festen Körper verbunden. Im Detail ist zu erkennen, dass das Harz auch den minimalen Fugenspalt zwischen den PVC-KG Formteilen ausfüllt. Die Abbildung 57 zeigt die Verteilung des Harzes zwischen Liner und Altrrohr in einem Fall, bei dem kein Harz aus der Rohrverbindung ausgetreten ist. Auch hier ist im Detail zu sehen, dass der minimale Fugenspalt zwischen den PVC-KG-Oberflächen mit Linerharz ausgefüllt ist.



Abbildung 56: Harzaustritt aus einer undichten Verbindung

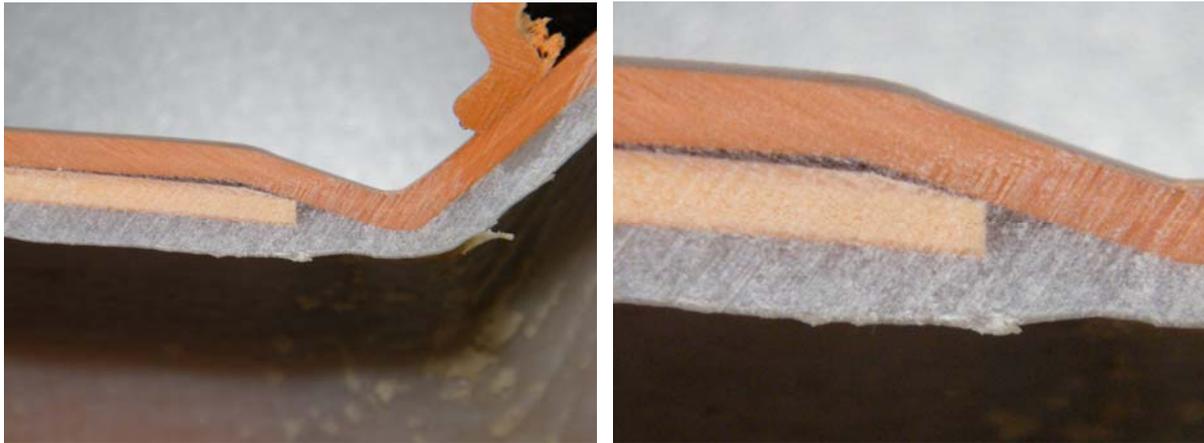


Abbildung 57: Harzaustritt in eine undichten Rohrverbindung

#### 4.1.4.2.2 APS-Dichtheitsprüfung

Zur Prüfung der Wasserdichtheit des Laminats von Baustellenproben aus vor Ort härtenden Schlauchlinern wird die APS-Prüfrichtlinie vom 15.09.2004 [9] herangezogen. Die Randbedingungen zur Prüfung der Wasserdichtheit nach den Kriterien des APS - Arbeitskreis Prüfinstitute Schlauchliner sind nachfolgend aufgelistet:

- Prüfdruck: 500 mbar  $\pm$  5 %
- Prüfdauer: 30 min
- Prüffläche:  $\varnothing$  45 mm  $\pm$  5 mm
- Prüfserie: 3 Prüfungen je Baustellenprobe an augenscheinlich markanten Stellen (ausgenommen Nahtbereich)
- Innenfolie im Gitterschnitt durchtrennen (sofern nicht integraler Bestandteil des Liners), Beschädigung des Linerlaminates vermeiden (max. 0,3 mm Einschnitttiefe)
- Prüfklima: Raumtemperatur 23  $\pm$  5°C

Zur Prüfung der Wasserdichtheit nach den Kriterien des APS wird die Innenfolie der zu prüfenden Probe nach einem festgelegten Muster eingeschnitten (Gitterschnitt). Dann wird mit Rhodamin gefärbtes Wasser auf die Innenseite der Probe aufgetragen und auf die Außenseite ein Unterdruck von 0,5 bar aufgebracht. Bilden sich an mindestens einer der drei Prüfflächen Tropfen, Schaum oder Feuchtigkeit auf der Außenseite, so gelten diese Prüfflächen und die betroffene Prüfserie als undicht (vgl. Abbildung 58). Im Besonderen ist darauf zu achten, dass die Prüfung z.B. nicht an den Nahtbereichen des Trägermaterials durchgeführt wird.

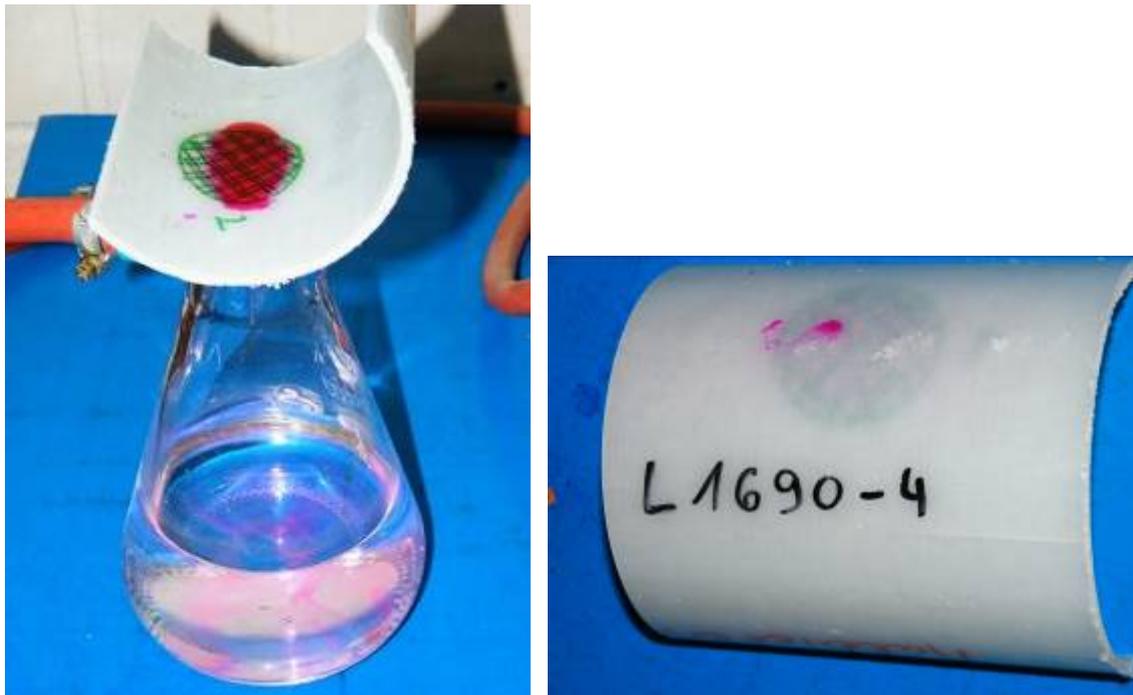


Abbildung 58: Undichtigkeit bei der Prüfung nach APS-Kriterien, Unterseite der Probe mit Tropfenbildung nach ca. 5 Minuten Prüfzeit (rechts)

Es wurden sowohl für die „Standardsituation“ als auch die „Extremsituation“ jeweils sechs Prüfungen nach APS-Prüfrichtlinie [9] für jeden der jeweils 5 Hausanschlussliner durchgeführt. In Tabelle 11 und Tabelle 12 sind die Ergebnisse der Prüfung von Linerproben nach APS- Prüfrichtlinie [9] zusammengestellt.

Tabelle 11: Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen nach APS-Prüfrichtlinie [9], „Standardsituation“

Liner Anbieter	Prüfserien gesamt	Prüfserien dicht	Einzelprüfungen gesamt	Einzelprüfungen dicht
BRAWOLINER XT Harzsystem: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	6	5	18	17
RS MaxLiner-FLEX S Harzsystem: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	6	1	18	11
DrainLiner Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	6	3	18	15
epros® DrainGlassLiner (Prototyp) Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	6	1	18	7
lineTEC ProFlex Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	6	0	18	9

Tabelle 12: Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen nach APS-Prüfrichtlinie [9], „Extremersituation“

Liner Anbieter	Prüfserien gesamt	Prüfserien dicht	Einzelprüfungen gesamt	Einzelprüfungen dicht
BRAWOLINER XT Harzsystem: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	6	6	18	18
RS MaxLiner-FLEX S Harzsystem: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	6	4	18	14
DrainPlusLiner Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	6	6	18	18
epros® DrainPlusGlassLiner (Prototyp) Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	5*	3	15	11
lineTEC ProFlex Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	6	4	18	16

\* Aufgrund der Verklebung zwischen Liner und Altrohr war eine Probenahme nicht möglich

#### 4.1.4.2.3 Außenwasserdruck

Der Großversuchsstand des IKT bietet die Möglichkeit, die eingeerdeten, sanierten Hausanschlussleitungen mit einem definierten Außenwasserdruck zu beaufschlagen. Hierzu ist der IKT-Großversuchsstand mit Wasserzuläufen in der Bodenplatte ausgestattet, die eine Flutung möglich machen. Ein ansteigender Grundwasserstand kann so simuliert werden (vgl. Abbildung 59). Vor dem Bodeneinbau wurden die Auslassöffnungen mit Kies und Filterflies abgedeckt.



Abbildung 59: Wasserzulauf an der Unterseite des IKT Großversuchsstandes (links), Auslassöffnungen in der Bodenplatte (rechts)

Der Bodenkörper aus einem wasserdurchlässigen Sand-Kies-Gemisch unterhalb der tiefsten Rohrlage wurde lagenweise eingebaut und mit einer Vibrationswalze verdichtet. Die Überschüttung der Hausanschlussleitungen und die Bettung der darüberliegenden Rohrlagen wurden lagenweise eingebaut und mittels Handstampfung verdichtet (vgl. Abbildung 60).

Um eine Außenwasserdruckbeanspruchung der Hausanschlussliner sicherzustellen, wurden sämtliche Rohrverbindungen der zu sanierenden Leitungen definiert undicht hergestellt. Das Dichtungsmaterial wurde dazu bereichsweise entfernt. Im Sohlbereich wurden lediglich Fragmente der Dichtung belassen um eine sohlgleiche Lage der Rohre zu gewährleisten. Ein Dichtungsrest im Rohrscheitel sollte vor ungewollten Lageabweichungen und Versätzen schützen.



Abbildung 60: Tiefste Rohrlage vor der Überschüttung, spätere Überschüttungshöhe 5 m

Grundsätzlich musste davon ausgegangen werden, dass die getesteten Liner unter Grenzlast unterschiedliche Versagensformen zeigen, wie z.B. Umläufigkeiten im Bereich der Einbindung zum Hauptkanal, das Beulen des Liners sowie das Ablösen der Innenfolie und schließlich Zutritt von Wasser durch Fehlstellen in der Rohrwandung.

An insgesamt neun Halungen zeigte sich im Verlauf der Außenwasserdruckprüfung eindringendes Wasser. Die Infiltrationsstellen sind beispielhaft in Abbildung 61 dargestellt. Die Infiltrationsstellen liegen in Rohrverbindungsbereichen vor Bögen oder Abzweigen. Vor der Außenwasserdruckbeanspruchung waren in diesen Bereichen keine Auffälligkeiten festzustellen. Daher war zu hinterfragen, ob die entstandenen Undichtigkeiten allein durch den einwirkenden Außenwasserdruck hervorgerufen wurden oder ob andere Effekte wie z.B. Auftriebsbeanspruchungen ursächlich für die Schädigung der Linerwand sind und das eindringende Wasser lediglich eine Folge dieser Schädigungen ist.

Die Undichtigkeiten traten jeweils unmittelbar auf, nachdem der Wasserspiegel den Rohrscheitel überstieg. Es liegt nahe, dass der Rohrauftrieb sowie der Auftrieb des Bodens (scheinbare Wichterreduzierung) einen Einfluss auf die Schadensentstehung haben. Spätere Aufgrabungen zeigten keine nennenswerten Setzungen unter den Leitungen, so dass dies als Schadensursache ausgeschlossen wurde.

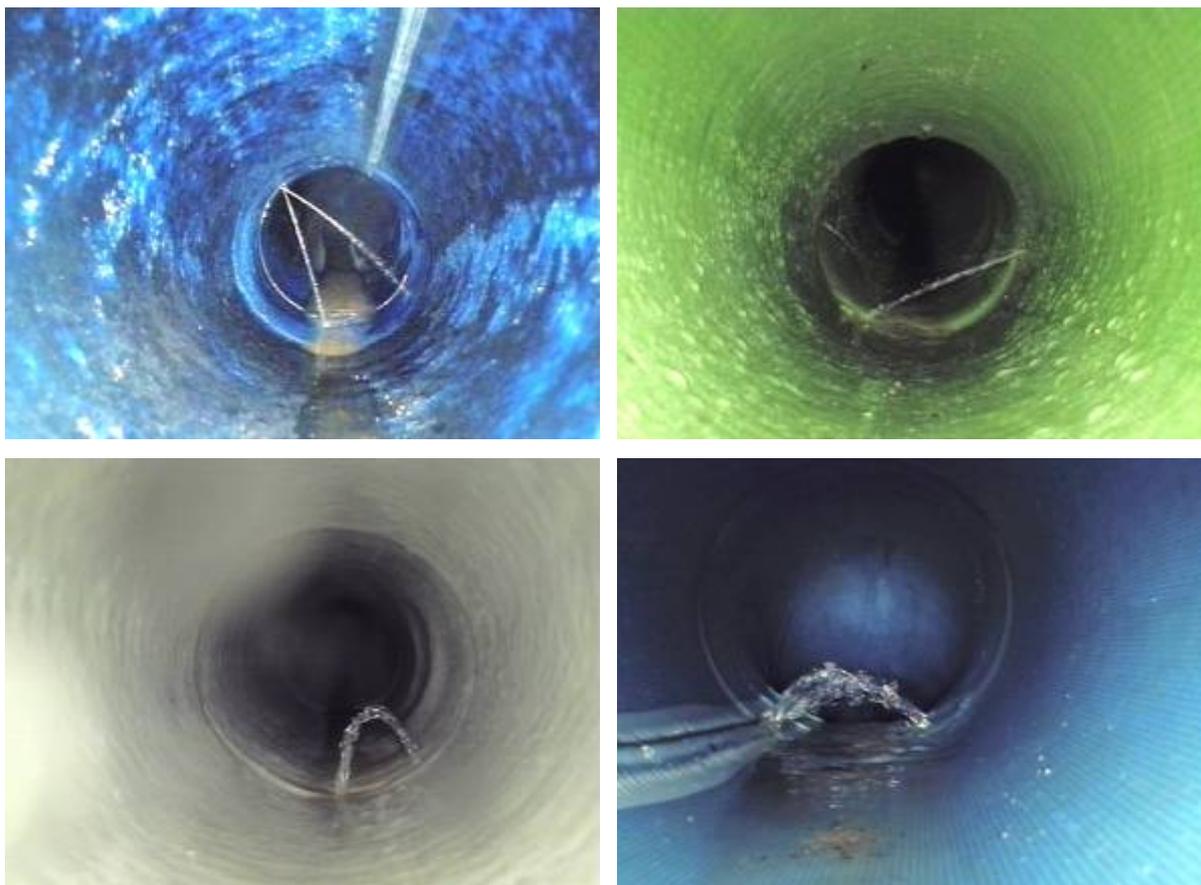


Abbildung 61: Infiltrationsstellen bei der Außenwasserdruckprüfung unter Auftrieb

Nach dem Ausbau der Rohre konnten die Infiltrationsbereiche detailliert beurteilt werden. Die Analyse bestätigte, dass die Auftriebseffekte für die Schäden maßgeblich verantwortlich sind. Es zeigte sich deutlich ein Zielkonflikt zwischen der angestrebten Verklebung des Liners mit dem Altrohr und der scheinbar notwendigen Abwinkelbarkeit der Rohrverbindungsgebiete unter Auftrieb (vgl. Absatz 4.1.4.4). Da offensichtlich die Undichtigkeiten nicht auf die Belastungsart „Außendruck“ allein, sondern auf die Empfindlichkeit der Struktur unter Auftrieb zurückzuführen sind, werden die hier erkannten Schäden bei der Bewertung der Dichtheit des Linermaterials nicht berücksichtigt, sondern in Abschnitt 5.1.5 als „Empfindlichkeit unter Auftrieb“ ggf. gesondert bewertet.

Ein Ablösen der Innenfolie oder Beulen des Liners wurde in keinem Fall beobachtet. Auch zeigten sich weder Umläufigkeiten im Bereich der Revisionsöffnungen noch im Bereich der Anbindung an den Hauptkanal. Hier ist zu vermuten, dass neben der direkten Verklebung des Liners mit der Altrohrwandung auch die Harzaustritte an den undichten Rohrverbindungen zu einer Absperrung des Ringraumes gegen Umläufigkeiten führten.

### 4.1.4.3 Tragfähigkeit der Struktur

Bei Schlauchlinern entstehen die für den Sanierungserfolg benötigten Werkstoff- und Systemeigenschaften erst nach dem Einbau und Aushärten in einem zu sanierenden Altrrohr. Die Auswahl und Verarbeitung (Konfektionieren, Tränken, Transportieren, Einbauen, Aushärten) geeigneter Materialien sowie die Baustellenrandbedingungen üben einen erheblichen Einfluss auf die Linerqualität aus [35].

#### 4.1.4.3.1 Verbunddicke

Der endgültige Wert der Linerwanddicke ergibt sich, bedingt durch das Herstellverfahren erst nach dem Aushärten im Kanal. Die Wanddicke kann durch die Qualität der Imprägnierung und die Ausführung des Inversionsvorganges beeinflusst werden. Schwankungen der Wanddicke scheinen insbesondere dann, wenn im Verlauf der zu sanierenden Leitung Bögen oder Nennweitenwechsel auftreten, möglich oder sogar wahrscheinlich. Als Ergebnis der statischen Berechnung wird für das gewählte Linersystem eine Verbunddicke (Sollwanddicke) ermittelt, die von den Materialeigenschaften und der zu erwartenden Beanspruchung abhängt [35].

Die Wanddicke des eingebauten Rohres muss bei einer Messung nach DIN EN ISO 3126 [36] die Werte der Tabelle 13 erreichen. Die Messung erfolgt bei einer Temperatur von  $(23 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ . Für jeden ausgewählten Querschnitt sind gleichmäßig über den Umfang verteilt mindestens sechs Messungen der Wanddicke durchzuführen. Aus den ermittelten Werten ist der arithmetische Mittelwert zu errechnen und das Ergebnis als mittlere Wanddicke  $e_m$  aufzuzeichnen.

Tabelle 13: Anforderungen an die Wanddicke nach DIN EN 13566-4 [37]

Eigenschaft	Anforderung	Prüfverfahren
mittlere Wanddicke $e_m$ des Verbunds	nicht weniger als die Konstruktionsdicke	Messung mit einem Instrument, das auf 0,1 mm misst, an nicht weniger als acht Punkten entlang dem Umfang des CIPP-Abschnittes
Mindestwanddicke $e_{min}$ des Verbunds	nicht weniger als 80 % der Konstruktionsdicke, oder 3 mm, je nachdem, welcher Wert größer ist <sup>a</sup>	

<sup>a</sup> Die Anforderung an  $e_{min}$  gilt dort nicht, wo die lokale Verringerung der Wanddicke durch Unregelmäßigkeiten im Hauptrohr verursacht wird.

Die Probennahme zeigte für sämtliche Produkte nennenswerte Schwankungen der Wanddicke über Linerlänge und -umfang. Dies betraf insbesondere Bereiche mit Bögen oder Harzaustritten in den Untergrund.

Die in Tabelle 14 und Tabelle 15 zusammengefassten Messergebnisse wurden an geraden Linersegmenten an jeweils zwölf Messpunkten für drei Probekörper gewonnen. In der „Standardsituation“ handelt es sich um einen Rohrabschnitt DN 150, in der „Extremsituation“ um einen Bereich DN 125 vor der Aufweitung auf die Nennweite DN 150. Die Messpunkte waren in den Sechstelpunkten, an beiden Enden des Probestückes über den Umfang verteilt angeordnet. Die Sechstelpunkte wurden

markiert und die Gesamtwandstärken mit einem digitalen Messschieber (DKD-kalibriert) gemessen. Die dargestellten Messwerte umfassen auch die Dicke der Innenfolie (0,15 mm bis 0,2 mm). Dies wurde bei der Ermittlung der mechanischen Kennwerte entsprechend berücksichtigt.

Die dargestellten Messwerte gehen nach Abzug der Innenfolie in die Berechnung der mechanischen Kennwerte ein (Tabelle 16 bis Tabelle 19). Zur Bewertung der Verbunddicke wurden allein diese Probestücke herangezogen, sondern zusätzlich die erreichte Wanddicke über die gesamte Linerlänge betrachtet.

Tabelle 14: Gemessene Gesamtwanddicken, „Standardsituation“

Liner, Anbieter	Messungen vorne am Probestück							Messungen hinten am Probestück						
	Messwerte über den Umfang [mm]						Mittelwert [mm]	Messwerte über den Umfang [mm]						Mittelwert [mm]
	0°	60°	120°	180°	240°	300°		0°	60°	120°	180°	240°	300°	
BRAWOLINER XT Harz: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	4,48	4,53	4,62	4,37	4,57	4,71	4,55	4,57	5,02	5,16	4,52	4,44	4,51	4,70
	4,75	4,83	5,04	4,81	4,41	4,66	4,75	5,21	4,84	5,03	4,41	4,36	4,88	4,79
	4,37	4,31	4,46	4,47	4,39	4,73	4,46	4,10	4,03	4,20	4,04	3,73	4,31	4,07
RS MaxLiner-FLEX S Harz: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	4,35	4,52	4,27	4,42	4,35	4,31	4,37	4,50	4,89	4,41	4,65	4,91	4,09	4,58
	4,80	4,66	4,60	5,02	5,21	4,96	4,88	4,52	4,75	4,56	4,59	4,31	4,55	4,55
	4,04	6,84	3,44	3,67	3,70	3,55	3,71	4,35	3,80	4,10	4,27	4,00	4,15	4,11
DrainLiner Harz: EPRO-POX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	4,02	4,07	4,28	4,65	4,30	4,33	4,28	4,18	4,19	3,96	4,28	4,21	4,05	4,15
	4,31	4,33	4,35	4,42	4,56	4,32	4,38	4,50	4,41	4,37	4,56	4,51	4,47	4,47
	4,10	4,51	4,40	4,37	4,28	4,20	4,31	4,21	4,43	4,24	4,35	4,24	4,12	4,27
epros® Drain GlassLiner (Prototyp) Harz: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	4,15	4,28	4,50	3,96	3,88	3,89	4,11	3,93	3,98	4,21	3,83	3,71	3,82	3,91
	4,10	3,64	3,88	3,78	3,84	4,09	3,89	3,46	3,19	3,61	3,71	3,40	3,65	3,50
	2,86	2,92	2,78	2,94	2,78	3,10	2,90	3,79	3,20	2,99	3,12	3,30	3,53	3,32
lineTEC ProFlex Liner Harz: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	4,33	4,31	4,50	4,56	4,47	4,68	4,48	4,33	4,22	4,25	4,48	4,67	5,06	4,50
	4,20	4,22	3,65	6,97	4,31	4,44	4,13	4,46	4,14	4,27	4,37	4,18	4,57	4,33
	5,17	4,66	4,23	4,43	4,43	4,32	4,54	5,05	4,35	4,42	4,46	4,33	4,50	4,52

Tabelle 15: Gemessene Gesamtwanddicken, „Extremsituation“

Liner, Anbieter	Messungen vorne am Probestück							Messungen hinten am Probestück						
	Messwerte über den Umfang [mm]						Mittelwert [mm]	Messwerte über den Umfang [mm]						Mittelwert [mm]
	0°	60°	120°	180°	240°	300°		0°	60°	120°	180°	240°	300°	
BRAWOLINER XT Harz: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	5,14	4,68	4,82	4,97	5,89	6,06	5,26	5,01	4,74	4,69	4,84	5,23	5,45	4,99
	4,77	4,70	4,94	4,62	4,67	4,91	4,77	1,56	4,95	4,87	5,32	4,60	4,63	4,82
	4,95	4,83	4,77	5,09	4,97	4,28	4,82	4,94	4,74	4,73	5,05	5,01	4,52	4,83
RS MaxLiner- FLEX S Harz: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	4,93	5,05	5,24	5,77	5,73	5,56	5,38	4,91	5,37	5,37	5,55	5,51	5,53	5,37
	4,26	4,54	4,87	4,20	4,76	4,37	4,50	4,34	4,68	4,31	4,47	5,03	4,88	4,62
	3,59	3,19	3,39	3,86	3,72	3,74	3,58	4,29	3,66	3,57	4,40	3,90	3,91	3,96
DrainLiner Harz: EPRO- POX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	3,45	3,48	4,83	3,88	4,32	3,76	3,96	3,35	4,18	4,70	3,93	4,42	3,82	4,07
	3,39	4,32	3,88	3,59	4,83	4,47	4,08	3,47	4,38	3,84	3,77	4,48	4,32	4,04
	3,17	3,14	3,27	3,42	3,65	3,59	3,37	3,77	3,71	3,44	3,27	3,58	3,68	3,58
epros® DrainPlus GlassLiner (Pro- typ) Harz: EPRO- POX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	3,35	3,10	3,17	3,16	3,12	3,36	3,21	3,21	3,15	3,13	3,13	3,06	3,14	3,14
	2,18	2,36	2,33	2,31	2,29	2,14	2,27	2,24	2,39	2,33	2,39	2,31	2,31	2,33
	2,85	2,83	2,84	2,75	2,71	2,87	2,80	2,93	2,97	2,83	2,78	2,71	2,74	2,83
lineTEC ProFlex Liner Harz: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	3,80	3,80	3,87	3,65	3,50	3,48	3,68	3,74	3,75	3,87	3,80	3,57	3,78	3,75
	3,52	3,47	4,00	3,87	3,55	3,67	3,68	3,61	3,54	3,97	4,05	3,62	3,88	3,78
	3,49	2,56	3,50	3,43	3,63	3,51	3,52	3,27	3,60	3,90	3,23	3,43	3,48	3,49

Angestrebt wurde eine einheitliche Linerwanddicke von 3 mm über die gesamte Halblungslänge und den gesamten Querschnitt. Die Prototypen der dampfhärtenden Hausanschlussliner mit dem Harzsystem EPROPOX VIS A4/B4 zeigen insgesamt die geringste Wanddicke. Der nach DIN EN 13566-4 [37] geforderte Wert von 3 mm wird hier deutlich unterschritten.

Um festzustellen, ob die Mindestwanddicke durchgängig erreicht wurde, wurden einzelne Bereiche der Sanierungen aufgeschnitten und die Linerwanddicke detailliert vermessen. Von besonderem Interesse waren sowohl die Bereiche mit einem Nennweitenwechsel als auch die Bogenbereiche. Hier stellen sich die höchsten Anforderungen. Die Abbildung 62 zeigt die Messwerte im Bereich vor und unmittelbar hinter einem Nennweitenwechsel. Abbildung 63 stellt den Bereich eines Materialwechsels mit PVC-KG Bögen 45° dar.

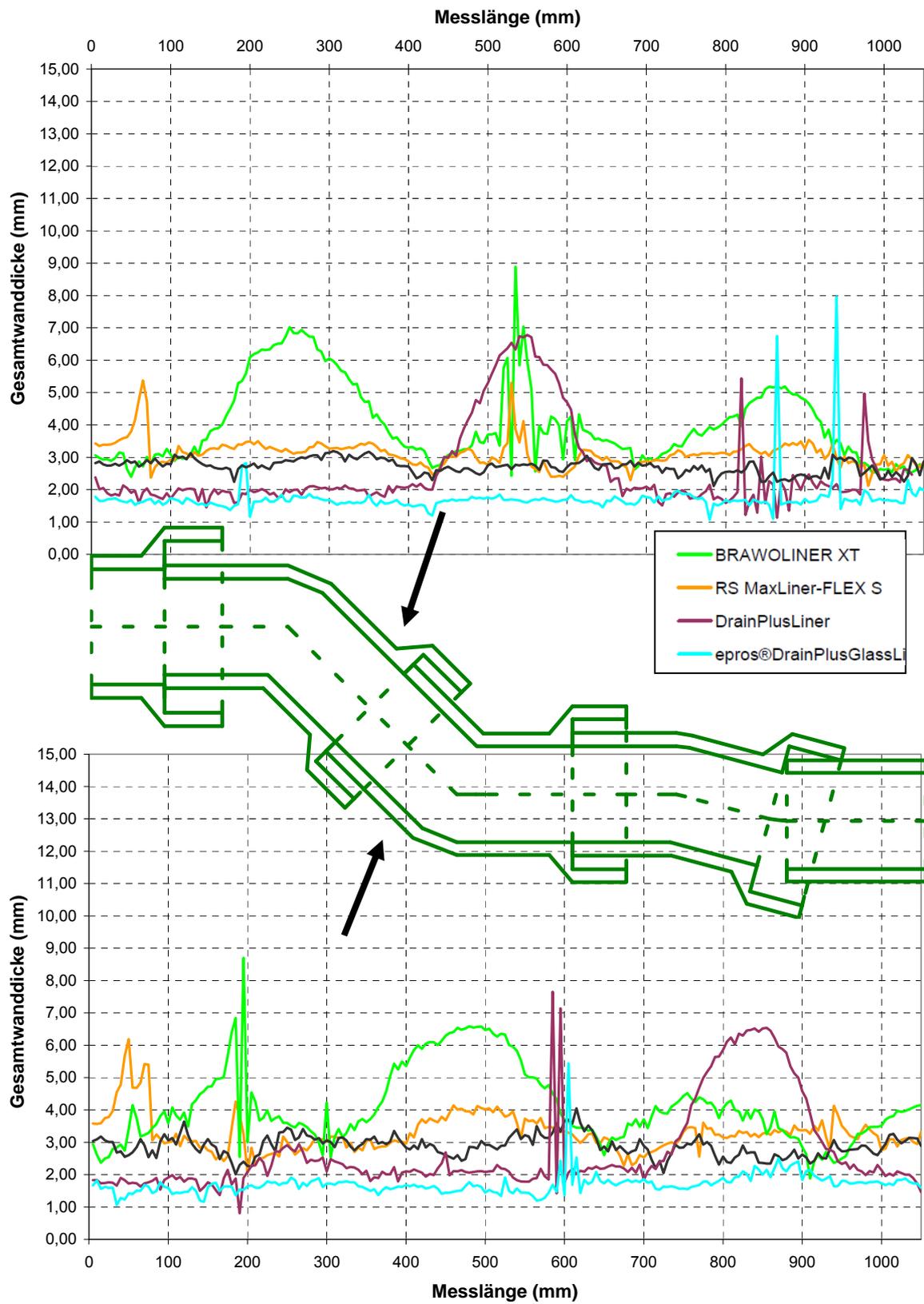


Abbildung 62: Messung der Linergesamtwanddicke im Bereich Steinzeug DN 125 und Nennweitenwechsel auf DN 150 der „Extremsituation“

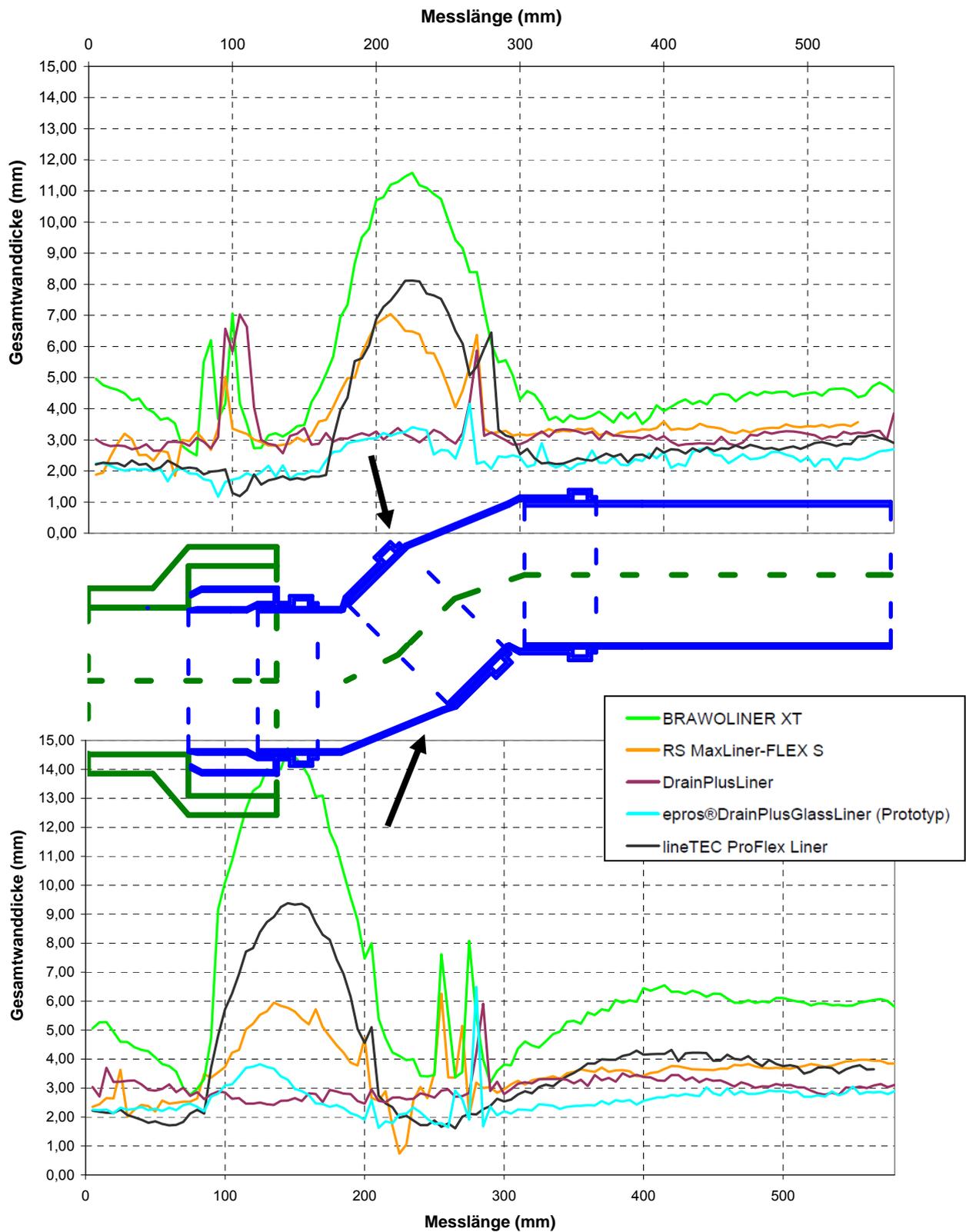


Abbildung 63: Messung der Linergesamtwanddicke im Bereich PVC-KG DN 125 der „Extremsituation“

Die Auswertung der aufgeschnittenen Rohrbereiche zeigt, dass insbesondere im Bereich von Bögen Schwankungen der Wanddicke über den Querschnitt auftreten können. Hier ist häufig eine Wanddickenverringerung an der Bogeninnenseite und eine Wanddickenerhöhung an der Bogenaußenseite zu erkennen. Alle eingesetzten Linerprodukte zeigten – wenn auch z.T. nur in kleinflächigen Ausnahmefällen – bereichsweise Unterschreitungen der Mindestwanddicke von 3 mm.

Nach dem Ausbau der sanierten Leitungen aus dem IKT-Großversuchsstand konnte festgestellt werden, dass sowohl an den Schadensstellen (Risse, Scherbenbildung, Lageabweichungen usw.) als auch durch die undichten Rohrverbindungen Linerharz ausgetreten ist (vgl. Abbildung 64). Der Harzaustritt kann zu einer Verringerung der Verbunddicke bis unter den vorgesehenen Wert führen. Harzaustritte traten bei allen Linertypen auf. Lediglich die Menge des ausgetretenen Harzes variierte zwischen den Linertypen. Durch den Aufstelldruck wird das Linerharz vor dem Aushärten aus dem imprägnierten Schlauch in die vorhandenen Fehlstellen im Altrohr gepresst. Dieser Effekt kann zu einer Verzahnung des Liners mit dem Altrohr führen. Zusätzlich können die Fehlstellen im Altrohr durch das Linerharz abgedichtet werden.

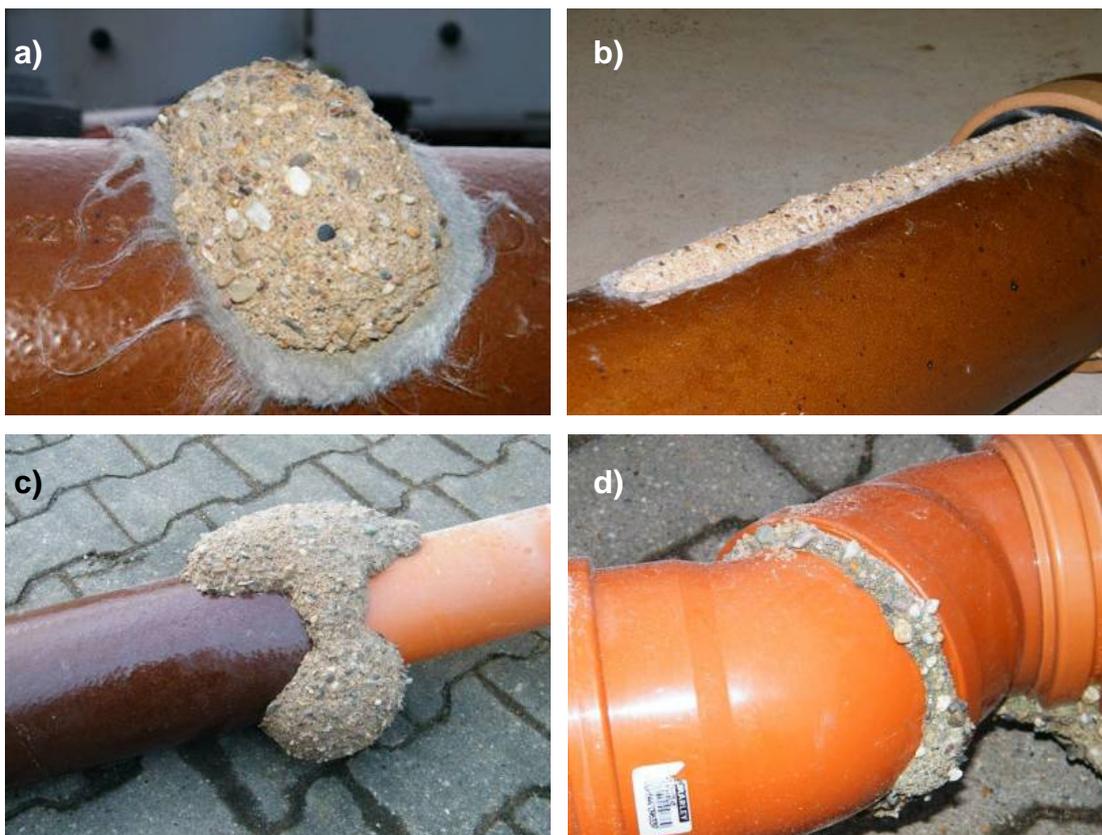


Abbildung 64: Beispielpfeile Darstellung der Harzaustritte  
a) an einem Scheitelriss in Umfangsrichtung  
b) an einem Scheitelriss in Längsrichtung  
c) an einem fehlerhaften Materialwechsel (Steinzeug/PVC-KG)  
d) an einer Verbindung zwischen zwei PVC-KG Formteilen ohne Dichtung

#### 4.1.4.3.2 Kurzzeit-Ringsteifigkeit bzw. -E-Modul

Zur Bewertung der Tragfähigkeit der Struktur eines Schlauchliners nach abgeschlossener Aushärtung werden die Kurzzeitwerte der Ringsteifigkeit bzw. des Elastizitätsmoduls bestimmt. Dies geschieht, indem im Kurzzeit-Scheiteldruckversuch zunächst die spezifische Anfangs-Ringsteifigkeit  $S_0$  ermittelt wird. Die spezifische Ringsteifigkeit  $S$  und deren Anfangswert  $S_0$  stellen ein Maß für die Widerstandsfähigkeit eines Rohres gegen eine Ring-Verformung unter äußerer Last dar. Dazu wird ein vollständiger Abschnitt eines Schlauchliners (Länge = Nenndurchmesser DN) vermessen und gemäß DIN EN 1228 [38] im Scheiteldruckversuch diametral zusammengedrückt. Nach dem Aufbringen der Last, die erforderlich ist, um eine relative Verformung von  $(3 \pm 0,5) \%$  zu erreichen, wird diese Last für eine Zeitspanne von 2 Minuten konstant gehalten und die Endverformung nach dieser Zeit ermittelt. Dabei werden die Kraft-Verformungskurve aufgezeichnet und die Anfangs-Ringsteifigkeit und der Umfangs-Kurzzeit-E-Modul ermittelt.

Die untersuchten Linerproben erreichten überwiegend die in den DIBt-Zulassungen vorgegebenen Werte. Die Ergebnisse der Materialuntersuchungen sind in Tabelle 16 und Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 16: Ermittlung des E-Moduls „Standardsituation“

Liner, Anbieter	Anfangsring- steifigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Umfangs- E-Modul [MPa]	Mittlere Verbunddicke [mm]
BRAWOLINER XT Harz: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	6579	<b>2566*</b>	4,5
	8539	3076	4,6
	6563	3338	4,1
RS MaxLiner-FLEX S Harz: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	5287	2377	4,3
	7658	2759	4,6
	3810	2549	3,8
DrainLiner Harz: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	4157	<b>2149*</b>	4,1
	1471	<b>697*</b>	4,2
	1673	<b>864*</b>	4,1
epros® DrainGlassLiner (Prototyp) Harz: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	5814	3485	3,9
	4890	4078	3,5
	2589	3457	3,0
lineTEC ProFlex Liner Harz: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	7921	3525	4,3
	5834	3211	4,0
	7925	3342	4,4

\* Geforderter Wert der DIBt-Zulassung nicht erreicht

Tabelle 17: Ermittlung des E-Moduls „Extremsituation“

Liner, Anbieter	Anfangsring- steifigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Umfangs- E-Modul [MPa]	Mittlere Verbunddicke [mm]
BRAWOLINER XT Harz: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	22798	3314	5,0
	17799	3215	4,7
	19495	3385	4,7
RS MaxLiner-FLEX S Harz: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	123187	2305	9,5
	12138	2674	4,4
	7159	2814	3,6
DrainPLusLiner Harz: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	3590	<b>1150*</b>	3,9
	7604	2329	3,9
	3255	<b>1639*</b>	3,3
epros® DrainPlusGlassLiner (Prototyp) Harz: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	3604	2470	3,0
	1267	2409	<b>2,2*</b>
	2655	2536	<b>2,7*</b>
lineTEC ProFlex Liner Harz: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	7854	3206	3,6
	8222	3294	3,6
	6334	<b>2924*</b>	3,4

\* Geforderter Wert der DIBt-Zulassung nicht erreicht

#### 4.1.4.3.3 Kriechneigung

Bei den hier betrachteten Rohren aus duroplastischen Kunststoffen dient die Ermittlung der 24h-Kriechneigung der Abschätzung des Langzeit-Verformungsverhaltens des Schlauchliners. Dazu wird ein vollständiger Abschnitt eines Schlauchliners (Länge = Nenndurchmesser DN) vermessen und gemäß DIN 16869-2 [39] über eine Zeitspanne von 24 Stunden im Scheiteldruckversuch unter einer konstanten Zweilinienebelastung gehalten. Die sich einstellende Verformung wird kontinuierlich über einen Zeitraum von 24 Stunden gemessen. Durch Extrapolation dieser Werte kann auf die Verformungsentwicklung bei mehrjähriger Belastung geschlossen werden.

Die untersuchten Linerproben erreichen überwiegend die in den DIBt-Zulassungen vorgegebenen Werte. Die Ergebnisse der Berechnung der 24h-Kriechneigung sind in Tabelle 18 und Tabelle 19 zusammengefasst.

Tabelle 18: Berechnung der 24h-Kriechneigung „Standardsituation“

Liner, Anbieter	Kurzzeit- E-Modul [MPa]	1h-E-Modul [MPa]	24h-E-Modul [MPa]	24h-Kriech- neigung [%]	Mittlere Verbunddicke [mm]
BRAWOLINER XT Harz: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	2494	2376	2171	8,64	4,5
	2797	2645	2340	11,54	4,6
	3273	3112	10,04	10,04	4,1
RS MaxLiner-FLEX S Harz: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	2309	2156	1890	12,36	4,3
	2679	2433	1949	<b>19,91*</b>	4,6
	2480	2303	1956	<b>15,09*</b>	3,8
DrainLiner Harz: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duis- burg GmbH	1829	1446	926	<b>35,95*</b>	4,1
	784	454	279	<b>38,68*</b>	4,2
	1162	635	302	<b>52,46*</b>	4,1
epros® DrainGlassLiner (Prototyp) Harz: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duis- burg GmbH	3341	3159	2809	11,08	3,9
	3979	3791	3387	10,67	3,5
	3223	2999	2519	<b>16,00*</b>	3,0
lineTEC ProFlex Liner Harz: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	3489	3239	2881	11,07	4,3
	3303	2662	2186	<b>17,87*</b>	4,0
	3317	3042	2653	12,78	4,4

\* Geforderter Wert der DIBt-Zulassung nicht erreicht

Tabelle 19: Berechnung der 24h-Kriechneigung „Extremsituation“

Liner, Anbieter	Kurzzeit- E-Modul [MPa]	1h-E-Modul [MPa]	24h-E-Modul [MPa]	24h-Kriech- neigung [%]	Mittlere Verbunddicke [mm]
BRAWOLINER XT Harz: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	3148	2880	2509	10,69	5,0
	2995	2842	2562	9,83	4,7
	3118	2930	2617	10,70	4,7
RS MaxLiner-FLEX S Harz: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>	5,2
	2513	2355	2095	11,05	4,4
	2673	2505	2206	11,91	3,6
DrainPlusLiner Harz: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duis- burg GmbH	1228	593	231	<b>60,96*</b>	3,9
	2012	1719	1186	<b>30,99*</b>	3,9
	1571	905	319	<b>64,74*</b>	3,3
epros <sup>®</sup> DrainPlusGlassLiner (Prototyp) Harz: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duis- burg GmbH	2478	2395	2012	<b>15,97*</b>	3,0
	1954	1832	2095	11,64	2,2
	2403	2267	2005	11,55	2,7
lineTEC ProFlex Liner Harz: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	3148	2880	2509	12,89	3,6
	3187	2925	2532	13,42	3,6
	2991	2746	2396	12,73	3,4

<sup>1)</sup> Prüfung nicht bestanden, Probekörper versagt bei Aufbringen der Verformung

\* Geforderter Wert der DIBt-Zulassung nicht erreicht

#### 4.1.4.3.4 Dichte

Die Dichte ist eine mit geringem gerätetechnischen Aufwand zu bestimmende Eigenschaft, die z.B. als Indiz herangezogen werden kann, um physikalische und/oder chemische Veränderungen bei Kunststoffen und Elastomeren zu erkennen. Schwankungen der Dichte deuten z.B. auf eine ungleichmäßige oder unvollständige Harzverteilung im Trägermaterial hin, so dass der Tränkungserfolg in Frage steht. Als Prüfung bietet sich das Eintauchverfahren in Anlehnung an DIN EN ISO 1183-1 [40] an. Dabei wird ein Probekörper an einem Draht ( $\varnothing$  maximal 0,5 mm) aufgehängt und an der Luft mit einer Genauigkeit von  $\pm 1$  mg gewogen und die Masse  $m$  aufgezeichnet. Anschließend wird der Probekörper in eine Eintauchflüssigkeit (deionisiertes Wasser) getaucht (vgl. Abbildung 65). Die Temperatur der Eintauchflüssigkeit muss  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  betragen. Der eingetauchte Probekörper wird mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,1$  mg gewogen. Aus den gemessenen Massen und der Dichte der Eintauchflüssigkeit wird die Dichte des Probekörpers berechnet.

Die untersuchten Linerproben erreichen die in den DIBt-Zulassungen vorgegebenen Werte. Die Ergebnisse sind in Tabelle 20 zusammengefasst.



Abbildung 65: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Dichte in Anlehnung an [40], eingetauchter Probekörper (rechts)

Tabelle 20: Mittelwert der Dichte „Standardsituation“

Liner, Anbieter	Mittelwerte der Dichte von 3 Proben je Entnahmestelle [g/cm³]		
	Probe 1	Probe 2	Probe 3
BRAWOLINER XT Harz: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	1,160	1,166	1,184
RS MaxLiner-FLEX S Harz: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	1,100	1,130	1,085
DrainPlusLiner Harz: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	1,097	1,151	1,090
epros® DrainPlusGlassLiner (Prototyp) Harz: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	1,211	1,212	1,205
lineTEC ProFlex Liner Harz: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	1,141	1,181	1,173

Tabelle 21: Mittelwert der Dichte „Extremsituation“

Liner, Anbieter	Mittelwerte der Dichte von 3 Proben je Entnahmestelle [g/cm³]		
	Probe 1	Probe 2	Probe 3
BRAWOLINER XT Harz: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	1,182	1,187	1,188
RS MaxLiner-FLEX S Harz: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	1,117	1,131	1,119
DrainPlusLiner Harz: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	1,150	1,144	1,148
epros® DrainPlusGlassLiner (Prototyp) Harz: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	1,111	1,160	1,148
lineTEC ProFlex Liner Harz: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	1,182	1,187	1,188

#### 4.1.4.4 Empfindlichkeit unter Auftrieb

Die Empfindlichkeit unter Auftriebsbeanspruchungen wird separat bewertet. Die Funktionsfähigkeit, Dichtheit und Standsicherheit muss unter den jeweils gegebenen äußeren Lastzuständen und Einbaurandbedingungen sichergestellt sein. Mit Blick auf mögliche Veränderungen der äußeren Belastungszustände ist auch die Systemanfälligkeit des Liner-Altrohr-Systems gegenüber sich verändernden äußeren Belastungszuständen zu bewerten. Der Klebeverbund zwischen Liner und Altrohr kann hier ein längsbiegesteifes Gesamtsystem erzeugen. Steigende Grundwasserstände und damit verbundene Auftriebsbelastungen können Biegebeanspruchungen der Rohrfugenbereiche dieses längsbiegesteifen Gesamtsystems zur Folge haben. Werden die möglichen Dehnungen nicht durch die Elastizität des Liners ausgeglichen, sind Risse im Liner und gegebenenfalls Undichtigkeiten die Folge. Eine differenzierte Bewertung solcher Risse ist nur dann möglich, wenn das Rohr-Boden-System zuverlässig beschreibbar ist und die Häufigkeit des Auftretens von Schadstellen mit dem Material- oder Verbundverhalten korreliert.

In insgesamt neunhaltungen zeigte sich an zehn Stellen während der Wasserfüllung des Versuchsstandes eindringendes Wasser. Die Infiltrationsstellen sind beispielhaft in Abbildung 61 dargestellt. Die Infiltrationsstellen liegen in Rohrverbindungs-bereichen vor Bögen oder Abzweigen. Vor der Außenwasserdruckbeanspruchung waren in diesen Bereichen keine Auffälligkeiten festzustellen. Die Tabelle 22 zeigt die Lei-

tungen bzw. Sanierungssysteme, bei denen bei der Außenwasserdruckprüfung unter Auftriebslasten eintretendes Wasser festgestellt wurde. Abbildung 66 zeigt die Infiltrationsstellen im Leitungsquerschnitt.

Tabelle 22: Leitungen mit eindringendem Wasser während der Außenwasserdruckprüfung

Position	A	B	C	D	E	F
Ebene	A	B	C	D	E	F
1	-	-	-	-	-	 TRELLEBORG DrainPlusLiner
2	-	 TRELLEBORG epros®Drain GlassLiner (Prototyp)	-	-	-	 KOB BRAWOLINER XT
3	 TRELLEBORG epros®DrainPlus GlassLiner Prototyp)	-	-	-	-	-
4	-	 lineTEC lineTEC ProFlex	-	 KOB BRAWOLINER XT	-	 TRELLEBORG epros®Drain GlassLiner (Prototyp)
5	-	-	-	-	 TRELLEBORG epros®Drain GlassLiner (Prototyp)	-
6	-	-	-	 TRELLEBORG epros®DrainPlus GlassLiner Prototyp)	-	-

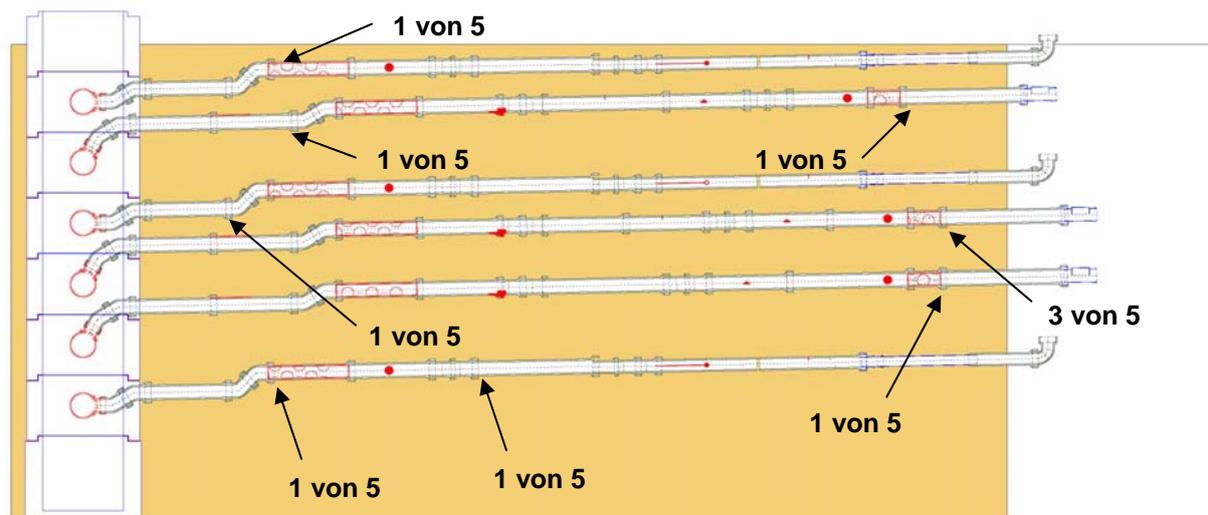


Abbildung 66: Seitenansicht des Versuchsaufbaus mit Darstellung der Infiltrationsstellen (Anzahl je Ebene)

Nach Abschluss der Prüfung wurden die Leitungen ausgebaut und einer detaillierten Untersuchung unterzogen. Die Abbildung 67 zeigt beispielhaft eine Rohrverbindung mit einem durch Auftriebsbeanspruchung hervorgerufenen Schadensbild. Der Rohrabschnitt wurde aus der Ebene 4, Leitungstyp „Standardsituation“ entnommen. Abbildung 67a zeigt die später undichte Rohrverbindung vor der Außenwasserdruckprüfung. Risse in der Linerwand sind nicht zu erkennen. In Abbildung 67b ist eine Beschädigung des Altrohres im Rohrscheitel zu erkennen. Bei Versuchsbeginn war dieses Rohrstück unversehrt. Die Brucherscheinungen sind offensichtlich durch Bewegungen der Rohrverbindung während der Auftriebsbelastung entstanden. Abbildung 67c und Abbildung 67d zeigen das nach dem Ausbau aufgeschnittene Rohr. Es ist deutlich zu erkennen, dass das Linerharz in den Muffenbereich des Rohres eingedrungen ist. Diese Verzahnung, in Kombination mit dem Klebeverbund zwischen Liner und Altrrohr führen dazu, dass die durch eine Bewegung des Altrohres erzeugte Dehnung im Liner auf einer minimalen Dehnlänge abgetragen werden muss. Im vorliegenden Fall wurde die aufnehmbare Rissspannung überschritten. Abbildung 67e zeigt die Rohrverbindung von außen. Es ist zu erkennen, dass nur äußerst geringe Mengen des Linerharzes aus der undichten Rohrverbindung ausgetreten sind. Abbildung 67f zeigt den ungerissenen Bereich des Rohrscheitels. Die Biegebewegung in der Rohrverbindung führt hier zu keiner kritischen Zugspannung im Liner.

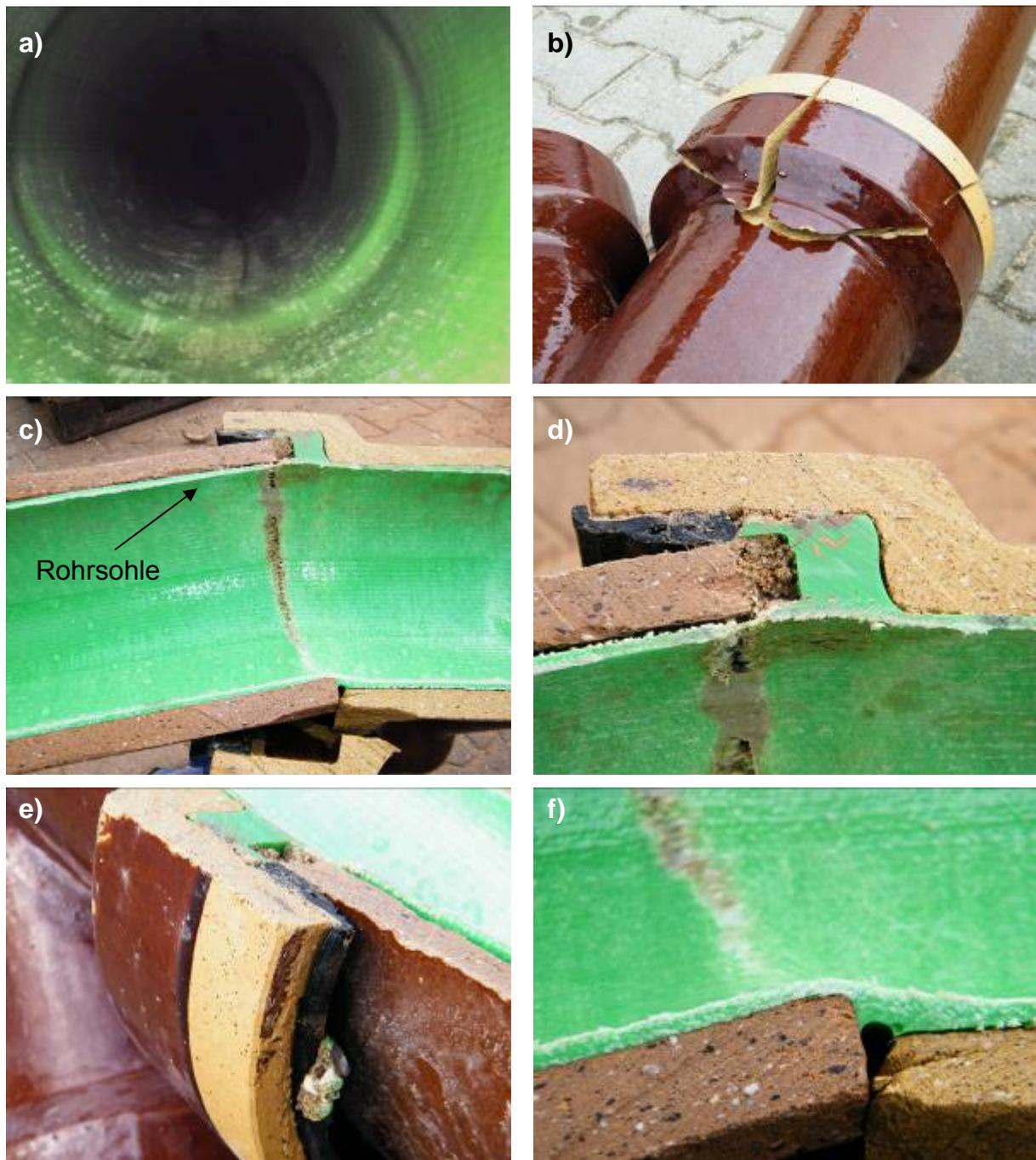


Abbildung 67: Aufgesägter Rohrverbindungsbereich im Bereich **mit** Undichtigkeit  
 a) Inspektionsbild vor der Flutung des Großversuchsstandes  
 b) Risse in der Rohrmuffe, festgestellt beim Aufgraben  
 c) Schnitt durch Rohrsohle und Rohrscheitel  
 d) Detail des Sohlbereichs mit Harzaustritt in die Rohrverbindung  
 e) Rohraußenseite ohne erkennbaren nennenswerten Harzaustritt  
 f) Detail des Rohrscheitels ohne Harzaustritt in die Rohrfuge

Abbildung 68 zeigt den oben beschriebenen Rohrverbindungsbereich während des Ausbaus der Leitungen. Durch z.B. Sandeinspülungen hervorgerufene Hohlräume unterhalb der Rohrverbindungen sind nicht zu erkennen.



Abbildung 68: Rohrverbindungsbereich mit Undichtigkeit während des Ausbaus

Die Abbildung 69 zeigt ebenfalls einen aufgesägten Rohrverbindungsbereich mit gerissenem Liner. Das Rohrstück wurde aus der Ebene 4 entnommen. Auch hier war vor der Außenwasserdruckprüfung keine Auffälligkeit zu erkennen. Abbildung 70a stellt den Bereich der Rohrsohle dar. Hier ist deutlich zu erkennen, dass das Linerharz in die Rohrverbindung eingedrungen ist. Aus der Rohrverbindung ausgetretenes Linerharz hat hier scheinbar zu einer Verringerung der Linerwanddicke geführt. Der Verbund durch die Verzahnung des Liners an der Rohrverbindung hat hier ausgereicht, um im Liner zu einer Überschreitung der Rissspannung zu führen. Ein zusätzlicher Klebeverbund zwischen Altrohr und Liner lag hier nicht vor. Der in Abbildung 70 b dargestellte Scheitelbereich zeigt keinen Riss.

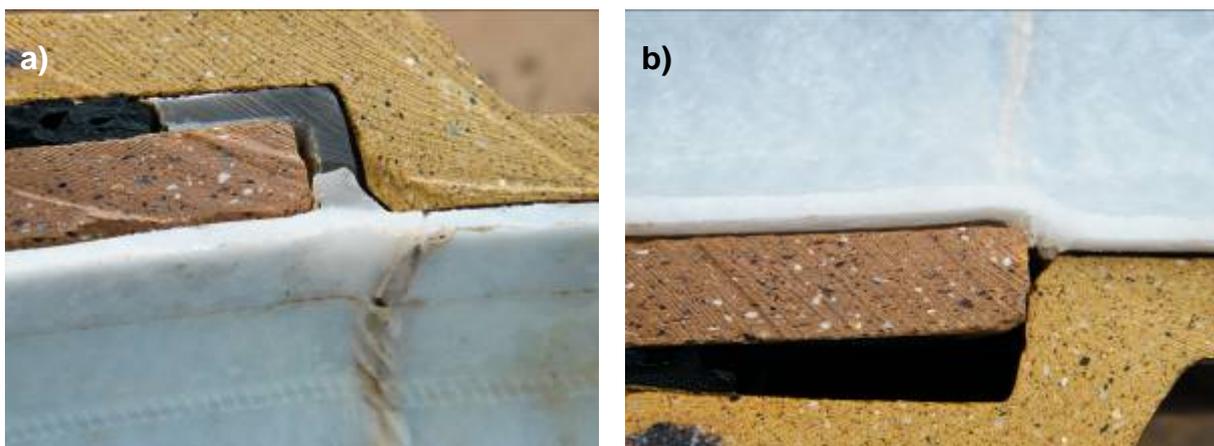


Abbildung 69: Aufgesägter Rohrverbindungsbereich im Bereich **mit** Undichtigkeit  
a) Detail des Sohlbereichs mit Harzaustritt in die Rohrverbindung  
b) Detail des Rohrscheitels ohne Harzaustritt in die Rohrfuge

Der in Abbildung 70 dargestellte Rohrabschnitt wurde ebenfalls aus der Ebene 4, Leitungstyp „Standardsituation“ entnommen. Ein Wassereintritt während der Außenwasserdruckprüfung trat hier nicht auf. Abbildung 70a zeigt die Rohrverbindung im Sohlbereich. In die Rohrverbindung ist Linerharz eingedrungen und an der Rohraußenseite ist deutlich ein Harz-Boden-Körper zu erkennen. Im Bereich der Rohrmuffe ist ein Trennriss zwischen Liner und ausgetretenem Linerharz zu erkennen.

Der Harzaustritt hat hier nicht zu einer wirksamen Verzahnung sondern lediglich zu einer Verringerung der Linerwanddicke geführt. Abbildung 70b zeigt den Scheitelbereich der Rohrverbindung ohne Harzaustritt. Abbildung 70c und Abbildung 70d zeigen die Außenseite des Rohrabschnittes und die Innenseite der Rohrverbindung. Die Fugen zwischen dem Liner und dem Altröhr-Harz-Boden-Körper lassen vermuten, dass auch hier nach dem Aushärten des Harzes Bewegungen des Rohres aufgetreten sind.



Abbildung 70: Aufgesägter Rohrverbindungsbereich im Bereich **ohne** Undichtigkeit  
a) Sohlbereich mit erheblichem Harzaustritt aus der Rohrverbindung  
b) Detail des Rohrscheitels ohne Harzaustritt in die Rohrfuge  
c) Rohraußenseite mit Harz-Bodenkörper  
d) Verteilung des Harzes in der Rohrmuffe

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Auftriebsbelastungen einen Einfluss auf die Dichtheit der mittels Liner sanierten Hausanschlussleitungen haben können. Schadhafte Rohrverbindungen erlauben Bewegungen der Rohre unter Auftrieb. Zusätzlich kann ein Harzaustritt zu einer Verringerung der Linerwanddicke führen. In Verbindung mit einem guten Klebeverbund zwischen Liner und Altrrohr oder sogar einer Verzahnung des Liners im Rohrverbindungsgebiet können im Liner Zugdehnungen entstehen, die durch die Elastizität des Linermaterials nicht ausgeglichen werden.

#### **4.1.4.5 Zusatzuntersuchungen**

##### **4.1.4.5.1 IR-Spektroskopie**

Mit Hilfe der Infrarotspektroskopie (IR-Spektroskopie) werden Reaktionsharzproben hinsichtlich ihres Absorptionsverhaltens unter Infrarot-Bestrahlung charakterisiert. Damit soll überprüft werden, um welchen Harztyp es sich handelt. Im Rahmen des IKT-Warentestes wurden Probestücke aus den sanierten Leitungen entnommen, um die IR-Spektren der unterschiedlichen Linerharze zu ermitteln und zu vergleichen. Die IR-Spektroskopie wurde durch die Fachhochschule Gelsenkirchen, Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen, Organische Chemie und Polymere sowie die Kunststoff-Institut für die mittelständische Wirtschaft NRW GmbH, Lüdenscheid durchgeführt.

Bei der Infrarotspektroskopie handelt es sich um ein Verfahren, bei dem die Absorptionsspektren von Verbindungen im Bereich des Infrarotlichtes zur Identifizierung von Verbindungen wie auch zur Bestimmung der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung von Substanzgemischen herangezogen werden [41]. Außerdem kann diese Methode zur Ermittlung des Molekülaufbaus verwendet werden. IR-Spektren sind Schwingungsspektren, die dadurch zustande kommen, dass innerhalb der Moleküle die an den Bindungen beteiligten Atome Schwingungen ausführen. Je nach Stärke der Bindung und Masse der beteiligten Atome oder Atomgruppen oder deren Stellung wird ein unterschiedlicher Betrag an Energie aus dem IR-Licht absorbiert. Dieser Prozess kann mit der Anregung von zwei, mit einer Feder verbundenen Massen verglichen werden.

Als Aufnahmetechnik für feste Substanzen kann die KBr-Presslingtechnik herangezogen werden. Hierbei wird die zu untersuchende Substanz zusammen mit dem KBr vermörstert und anschließend unter Druck zu einer Tablette gesintert. Es genügen Schichtdicken zwischen 0,01 mm u. 0,1 mm.

Eine andere Möglichkeit stellt die sogenannte ATR-Technik dar (Attenuated Total Reflectance = abgeschwächte Totalreflexion), die heute vorwiegend eingesetzt wird. Hierbei wird die Probe auf einen Kristall mit hohem Brechungsindex aufgebracht (KRS-5, Germanium, AgCl). Die den Kristall unter ein- oder mehrmaliger Totalreflexion passierende IR-Strahlung wird nach Maßgabe der aufgetragenen Substanz wellenlängenabhängig geschwächt, und es entsteht ein der Absorptionskurve sehr ähnliches Spektrum. Diese Technik erfordert daher eine genauere Betrachtung der Er-

gebnisse (Spektren), da sich die relativen Intensitäten im Spektrum gegenüber den normalerweise erhaltenen Absorptionskurven verändern können.

Im Spektrum führt der Prozess der Anregung dazu, dass bestimmte Stellen im Molekül, die gleichartig gebaut sind, sog. funktionelle Gruppen (z.B. C=O, =CH<sub>2</sub>, -C=C-, C-Cl, usw.), immer wieder (auch wenn sie in ganz verschiedenen Verbindungen vorkommen) an der gleichen oder annähernd gleichen Stelle des IR-Spektrums gleiche Absorptionen aufweisen.

Im Prüflabor waren die Proben dahingehend zu präparieren, dass sichergestellt werden konnte, dass Reste der Innenfolie das Untersuchungsergebnis nicht verfälschen.

Abbildung 71 zeigt zum Vergleich die IR-Spektren der eingesetzten Harze. Alle Harze wurden als Epoxidharz identifiziert. Charakteristische Peaks, die das Harz der unterschiedlichen Verfahrensanbieter unzweifelhaft kennzeichnen würden, konnten nicht zugeordnet werden. Eine Identifikation des eingesetzten Harztyps allein über das Referenzspektrum erscheint ohne weitere Informationen noch schwierig.

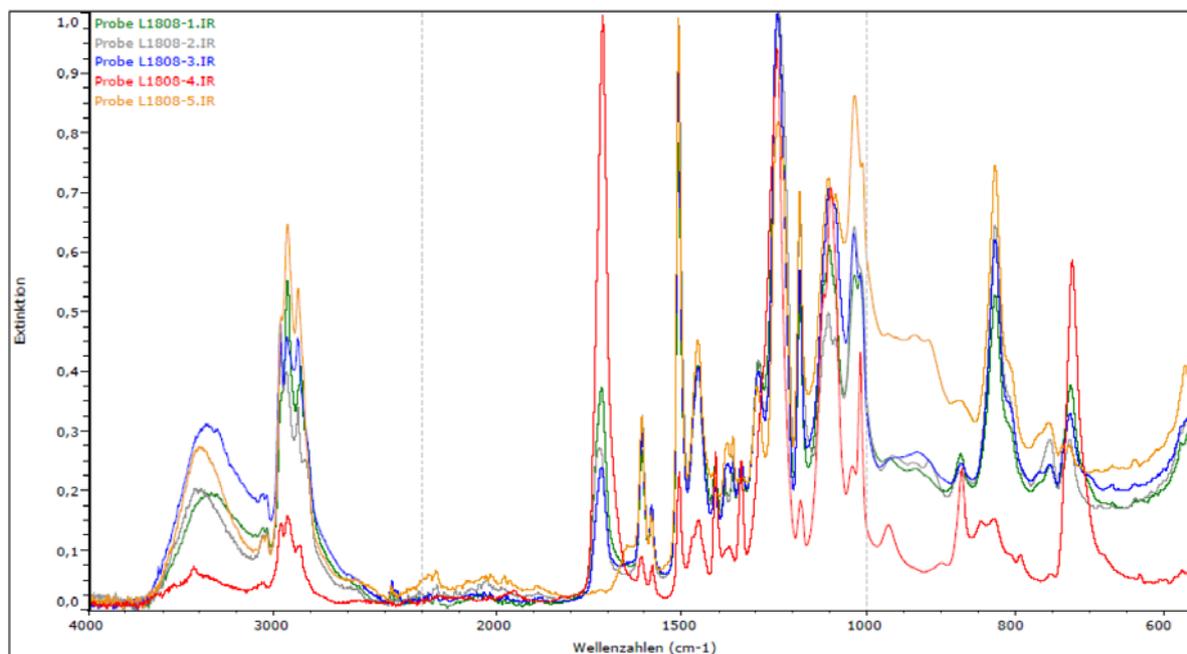


Abbildung 71: Ergebnisse der Infrarot-Spektroskopie, Wellenzahlbereich 500 bis 4000 cm<sup>-1</sup>

#### 4.1.4.5.2 DSC-Analyse (Differential Scanning Calorimetry)

Die DSC-Analyse ist ein Prüfverfahren, welches zur Qualitätsüberwachung beim Einsatz von Reaktionsharzen eingesetzt wird. Es dient dabei zur Überprüfung der Aushärtung des Harzes. Mit Hilfe der DSC-Messung wird die Glasübergangstemperatur TG ermittelt. Die Glasübergangstemperatur ist eine charakteristische Kenngröße des Harzes. Durch einen Vergleich mit einer Referenzprobe kann eine Aussage über den

Aushärtegrad des Schlauchlinerharzes getroffen werden. Dabei ist entscheidend, ob bei der Prüfung eine Wärmeaufnahme oder -abgabe der Proben festgestellt wird. Eine Energieabgabe ergibt sich durch eine Nachvernetzung der Harzprobe. Die Probe war demnach nicht vollständig ausgehärtet. Eine Korrelation zwischen dem Aushärtegrad und einem mechanischen Kennwert wie z.B. dem E-Modul ist nur dann sinnvoll, wenn die Harzmatrix das Traggerüst bildet (vgl. [42]). Bei den hier untersuchten Schlauchlinermaterialien handelt es sich allerdings um Verbundwerkstoffe, bei denen z.B. der Tränkungsgrad, der Laminataufbau und die Wanddicke einen signifikanten Einfluss auf die mechanischen Kennwerte haben.

Die Bestimmung der Glasübergangstemperatur  $T_G$  erfolgt durch eine Ermittlung der Wärmestromdifferenz ( $\Delta T = T_R - T_P$ ) automatisiert in einem speziellen Messgerät (vgl. Abbildung 72). Die erforderliche Probenmenge beträgt gemäß DIN EN ISO 11357-1 [43] und DIN 53765 [44] 10 – 20 mg des Schlauchliners. Das Probenmaterial wird in einem luftdicht verschlossenen Behältnis auf ein Thermoelement gesetzt (vgl. Abbildung 72). Ebenso wird mit der Referenzprobe, hier Luft, verfahren.

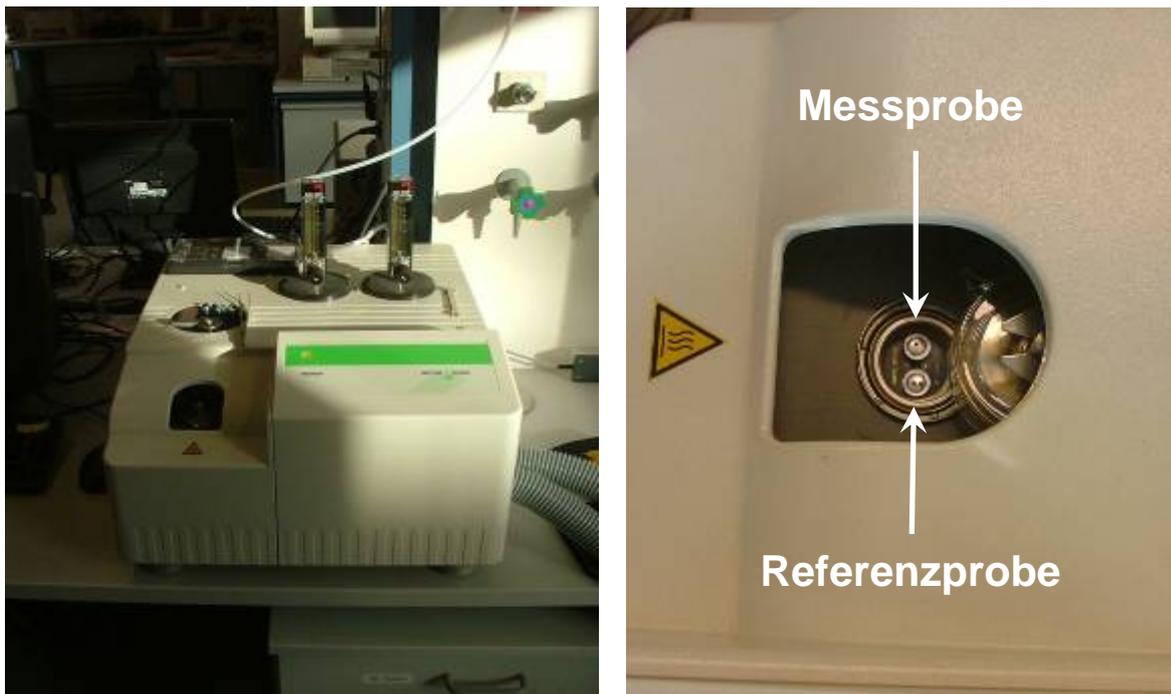


Abbildung 72: Messgerät zur Ermittlung der Glasübergangstemperatur  $T_G$

Nun werden die Proben mit einer Aufheizrate von 20 Kelvin/Minute von 0°C bis auf 220°C aufgeheizt und die Temperatur der Proben mittels Thermosensoren gemessen (vgl. Abbildung 73). Durch den Vergleich von Messprobe und Referenzprobe wird festgestellt, ob es zu einer endothermen oder exothermen Reaktion in der Messprobe kommt. Danach werden die Proben wieder bis auf 0°C abgekühlt. Anschließend wird der Aufheiz- und Abkühlvorgang ein zweites Mal durchgeführt.

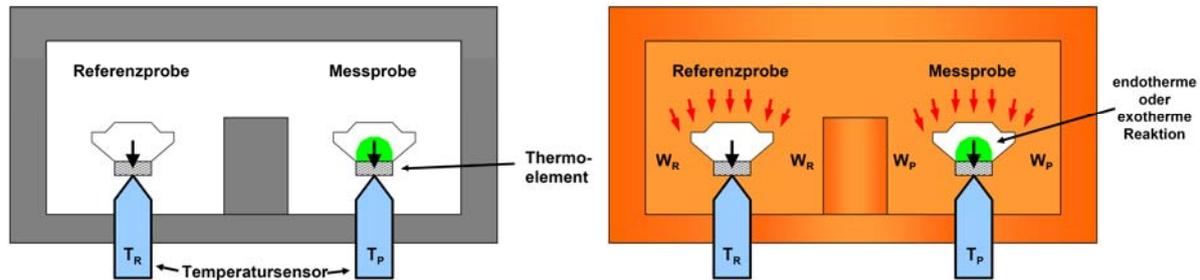


Abbildung 73: Schematische Darstellung der DSC-Analyse (nach [42], verändert)

Im Rahmen des IKT-Warentests wurden die Glasübergangstemperaturen der Linerharze ermittelt und mit den in den DIBt-Zulassungen der Verfahren angegebenen Werten verglichen. Für die Produkte BRAWOLINER und RS MaxLiner finden sich in den DIBt-Zulassungen entsprechende Vergleichswerte. Nennenswerte Abweichungen zu diesen Werten traten nicht auf.

Tabelle 23: Ermittelte Glasübergangstemperaturen „Standardsituation“

Liner, Anbieter	Glasübergangstemperatur					
	Probe 1		Probe 2		Probe 3	
	$T_{GH1}$ [C°]	$T_{GH2}$ [C°]	$T_{GH1}$ [C°]	$T_{GH2}$ [C°]	$T_{GH1}$ [C°]	$T_{GH2}$ [C°]
BRAWOLINER XT Harz: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	66	107	61	115	64	109
RS MaxLiner-FLEX S Harz: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	62	72	62	70	68	74
DrainLiner Harz: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	50	56	42	59	58	59
epros® DrainGlassLiner (Prototyp) Harz: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	67	92	57	88	64	90
lineTEC ProFlex Liner Harz: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	67	92	61	96	66	88

Tabelle 24: Ermittelte Glasübergangstemperaturen „Extremsituation“

Liner, Anbieter	Glasübergangstemperatur					
	Probe 1		Probe 2		Probe 3	
	T <sub>GH1</sub> [C°]	T <sub>GH2</sub> [C°]	T <sub>GH1</sub> [C°]	T <sub>GH2</sub> [C°]	T <sub>GH1</sub> [C°]	T <sub>GH2</sub> [C°]
BRAWOLINER XT Harz: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	n.a.	108	n.a.	109	65	110
RS MaxLiner-FLEX S Harz: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	64	72	n.a.	72	60	72
DrainPLusLiner Harz: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	42	55	50	62	48	56
epros® DrainPlusGlassLiner (Prototyp) Harz: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	n.a.	89	n.a.	89	63	90
lineTEC ProFlex Liner Harz: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	66	88	n.a.	87	72	93

n.a.: Messkurve nicht auswertbar

## 4.2 Qualitätssicherung der Verfahrensanbieter

### 4.2.1 Anforderungen an die Qualitätssicherung

Der Prüfungsschwerpunkt „Qualitätssicherung der Verfahrensanbieter“ befasst sich mit der Frage: Wie unterstützt der Verfahrensanbieter die Sanierung mit seinem Schlauchliner, so dass qualitativ hochwertige Ergebnisse erzielt werden?

Eine zentrale Anforderung ist die **bauaufsichtliche Zulassung** des Hausanschlussliners durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt). Für den Einsatz von Schlauchlinern zur Sanierung von Hausanschlussleitungen wird diese u.a. in der Landesbauordnung NRW [20] gefordert (vgl. Seite 10). Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung wird für den Zeitraum von 5 Jahren erteilt. Für die bauaufsichtliche Zulassung werden zentrale Fragen des Grundwasser- und Bodenschutzes im Bezug auf die Werkstoffkomponenten des Systems untersucht. Daneben sind auch Verwendbarkeitsprüfungen, z.B. zur Wasserdichtheit, Wanddicke, Dichte, ggf. Haftzugfestigkeit zwischen Altrohr und Liner, mechanische Kennwerte sowie die Hochdruckstrahlbeständigkeit und -spülfestigkeit Bestandteil des Prüfprogramms. Die bauaufsichtliche Zulassung stellt somit eine Beurteilung der Verwendbarkeit bzw. Anwendbarkeit des Hausanschlussliners im Hinblick auf die bauaufsichtlichen Anforderungen

dar. Die bauaufsichtliche Zulassung des Hausanschlussliners durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) kann somit qualitätssichernd wirken. Die Zulassung wird i. d. R. für ein Schlauchlinerverfahren mit Bezug zu den bei den Zulassungsprüfungen eingesetzten Materialien (z. B. Trägermaterial, Harzsystem) vergeben.

Der Verfahrensanbieter soll in jedem Fall sicherstellen, dass die eingesetzten Materialien (Trägermaterial und Harzsystem) ausreichend umweltverträglich sind, um diese bei der Kanalsanierung einsetzen zu dürfen. Dies gilt vor allem für die Harze, da diese an Schadstellen in den umgebenden Boden austreten können. Die **Umweltverträglichkeit** der eingesetzten Harze ist durch Prüfzeugnisse zu belegen.

Für den Einsatz bzw. die Anwendung der Hausanschlussliner ist ein Verfahrenshandbuch hilfreich. Das **Verfahrenshandbuch** sollte strukturiert und übersichtlich aufgebaut sein. Es sollte eine ausführliche Beschreibung des Einbauprozesses mit Angaben zur Harzverarbeitung und umfassender Bebilderung sowie Sicherheits- und Warnhinweise zum Umgang mit der Verfahrenstechnik und den eingesetzten Materialien enthalten.

Die Anwendung des Hausanschlussliners und die Einsatzmöglichkeiten sollten dargestellt sein.

Die Erfahrungen des Verfahrensanbieters mit dem Hausanschlussliner sind an das ausführende Personal z. B. durch entsprechende Qualifizierungsmaßnahmen (Schulungen) weiterzugeben. Idealerweise werden in den **Schulungen** sowohl theoretische Grundlagen behandelt als auch die praktische Anwendung der Hausanschlussliner in Kanalstrecken eingeübt. Ein Beleg für das Schulungsangebot sind Zertifikate, die für Anwender nach der Teilnahme ausgestellt werden.

Die häufig in Ausschreibungen geforderte **Fremdüberwachung** der Sanierungsmaßnahmen für den Einsatz der Hausanschlussliner auf Baustellen sowie eine zusätzliche Fremdkontrolle der Firmeneinrichtungen können ebenfalls der Qualitätssicherung dienen. Daher sollten die Hausanschlussliner am Markt nachweislich auch mit einer qualifizierten Fremdüberwachung, z.B. Güteschutz Kanalbau oder vergleichbar, angeboten werden.

Für den Auftraggeber einer Sanierungsmaßnahme ist neben der unmittelbaren Umweltverträglichkeit auch die Frage der Entsorgungsmöglichkeiten von erheblicher Bedeutung. Nach Ablauf der Nutzungsdauer müssen Baustoffe bzw. Bauteile, also auch Hausanschlussliner möglicherweise, entsorgt werden. Für die eingesetzten Materialien kann die **Entsorgbarkeit** durch den Abfallentsorgungsschlüssel nachgewiesen werden. Besteht ein dauerhafter Klebeverbund mit dem Altrohrmaterial wird der Nachweis der Entsorgbarkeit, z.B. durch eine Bestätigung des Entsorgungsweges durch einen berechtigten Dritten, erbracht.

Das IKT hat bei den Anbietern der getesteten Hausanschlussliner die DIBt-Zulassungen der Verfahren, Prüfzeugnisse zur Umweltverträglichkeit der eingesetzten Harzsysteme, Verfahrenshandbücher und Angaben zu Schulungen sowie einen

Nachweis der Entsorgbarkeit der ausgehärteten Liner angefordert. Weiterhin wurde Auskunft darüber eingeholt, inwieweit das jeweilige Verfahren mit Fremdüberwachungsleistungen am Markt angeboten wird.

#### **4.2.2 Auswertung der Unterlagen**

Alle Lineranbieter haben auf die Anfrage des IKT bzgl. der DIBt-Zulassungen, der Prüfzeugnisse zur Umweltverträglichkeit, der Verfahrenshandbücher und des Schulungsangebotes, des Nachweises der Entsorgbarkeit des Schlauchliners und der Fremdüberwachung geantwortet. Die zur Verfügung gestellten umfangreichen Unterlagen wurden ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 25 zusammengestellt.

Tabelle 25: Auswertung der Unterlagen zur Qualitätssicherung (alphabetisch nach Verfahrensanbieter sortiert)

Verfahrensanbieter	DIBt-Zulassung	Umweltverträglichkeit des Harzsystems	Verfahrenshandbuch und Schulungen	Fremdüberwachung	Nachweis der Entsorgbarkeit
BRAWOLINER XT Harzsystem: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	Z-42.3-362 Gültig bis 31.05.2014	Prüfzeugnis für das eingesetzte Harzsystem Brawo I vorgelegt <sup>1)</sup>	Handbuch mit Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte, Schulungszertifikate geliefert	Fremdüberwachungsnachweis erbracht	Nachweis erbracht
RS MaxLiner-FLEX S Harzsystem: Max-Pox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	Z-42.3-389 vom 19.05.2009 Gültig bis 31.04.2011	Prüfzeugnis für das eingesetzte Harzsystem MaxPox 15-40 vorgelegt <sup>1)</sup>	Handbuch mit Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte, Schulungszertifikate geliefert	Fremdüberwachungsnachweis erbracht	Nachweis erbracht
DrainLiner Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	Z 42.3-375 Gültig bis 30.04.2010	Prüfzeugnis für das eingesetzte Harzsystem EPROPOX VIS A2/B2 vorgelegt <sup>1)</sup>	Handbuch mit Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte, Schulungszertifikate geliefert	Fremdüberwachungsnachweis erbracht	Nachweis erbracht
DrainPlusLiner Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	Z 42.3-375 Gültig bis 30.04.2010	Prüfzeugnis für das eingesetzte Harzsystem EPROPOX VIS A2/B2 vorgelegt <sup>1)</sup>	Handbuch mit Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte, Schulungszertifikate geliefert	Fremdüberwachungsnachweis erbracht	Nachweis erbracht
epros® DrainGlass Liner (Prototyp) Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	-	-	-	-	Nachweis erbracht
epros® DrainPlus GlassLiner (Prototyp) Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	-	-	-	-	Nachweis erbracht
lineTEC ProFlex Liner Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	Z 42.3-416 Gültig bis 31.07.2012	Prüfzeugnis für das eingesetzte Harzsystem Biresin lineTEC EP 40 vorgelegt <sup>1)</sup>	Handbuch mit Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte, Schulungszertifikate geliefert	Fremdüberwachungsnachweis erbracht	Nachweis erbracht

1) Laut der DIBt-Zulassung ist bei der Verwendung des Sanierungsverfahrens in grundwassergesättigten Zonen ein Schutzschlauch zwischen harzgetränktem Liner und der zu sanierenden Leitung einzusetzen.

Fünf der eingesetzten Hausanschlussliner (Trägermaterial mit Harz) sind vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) zur Sanierung erdverlegter, schadhafter Abwasserleitungen zugelassen. Prüfzeugnisse zur Umweltverträglichkeit der eingesetzten Harzsysteme wurden für fünf der verwendeten Harzsysteme vorgelegt.

Verfahrenshandbücher mit ausführlicher Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte, Bebilderung und Sicherheits- und Warnhinweisen wurden von allen Verfahrensanbietern geliefert. Schulungsnachweise und eine Bescheinigung über ausgeführte Fremdüberwachungsmaßnahmen erbrachten ebenfalls alle Anbieter.

Zum Nachweis der Entsorgbarkeit wurden von den Verfahrensanbietern die Entsorgungsschlüssel der ausgehärteten Liner vorgelegt. Der Nachweis der Entsorgbarkeit, z. B. durch eine Bestätigung des Entsorgungsweges durch einen berechtigten Dritten wurde durch das IKT selbst eingebracht. Die eingesetzten Hausanschlussliner wurden in Verbindung mit dem Altrohrmaterial Steinzeug bzw. PCV-KG nach heutigem Stand als Bauschutt entsorgt. Weitere Informationen zur Entsorgung von Schlauchlinern finden sich in [45].

### 4.3 Baustellenuntersuchungen

Die Baustellen-Untersuchungen dienten zur Überprüfung der Handhabbarkeit der Verfahren und der eingesetzten Hausanschlussliner in bestehenden Anschlusskanälen unter In-situ-Bedingungen. Durch die Baustellen-Untersuchung wurde darüber hinaus die Plausibilität der Einsätze im Großversuchsstand überprüft. Vor Ort wurde die Durchführung der jeweiligen Sanierungsmaßnahme dokumentiert. Lineranbieter, die mehrere Produkte vertreiben, setzten in allen Fällen für ihre Produkte dasselbe Einbauverfahren ein. Im Rahmen der Baustellenuntersuchungen wurde daher jeweils ein Baustelleneinsatz der Anbieter Karl Otto Braun GmbH & Co. KG (Brawoliner XT), RS Technik AG (RS MaxLiner-FLEX S), Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH (DrainLiner, epros<sup>®</sup>DrainGlassLiners (Prototyp), DrainPlusLiner, epros<sup>®</sup>DrainPlus-GlassLiner (Prototyp) und VFG Vereinigte Filzfabriken AG (lineTEC ProFlex) begleitet.

#### 4.3.1 Karl Otto Braun GmbH & Co. KG

Die Baumaßnahme fand am 09.06.2009 in Odenbach statt. Die Sanierungsarbeiten wurden von der Firma KOB ausgeführt. Die Sanierungsaufgabe bestand darin, die Anschlussleitung DN 125 eines Wohnhauses zu renovieren. Zum Einsatz kam der BRAWOLINER XT mit dem Harzsystem BRAWO I.

Die Anschlussleitung aus Beton mit einer Haltungslänge von ca. 11,50 m verlief gerade und endete mit einem 30°-Bogen zum Hauptkanal. Die Inversion des Liners erfolgte durch einen 80 cm tiefen Revisionsschacht (Abmessungen der Öffnung 62 cm x 49 cm) außerhalb des Gebäudes unmittelbar an einer der gartenseitigen Hausecken.

Zur Sanierungsvorbereitung wurde die Leitung gereinigt und inspiziert. Die Harzkomponenten wurde gebündelt gemischt. Der Liner wurde anschließend im Sanierungsfahrzeug imprägniert. Zum Einsatz kam eine elektrische Imprägnieranlage.

Der Liner wurde mit offenem Ende und Kalibrierschlauch eingebaut und mit Luftdruck invertiert. Der Inversionsdruck betrug 0,2 bis 0,3 bar. Die Einbauvariante mit offenem Ende wurde gewählt, da die Anschlussleitung nur auf einer Länge von 10,70 m bis vor den 30°-Bogen saniert werden sollte. Zur Inversion wurde die Inversionstrommel über dem Revisionsschacht positioniert. Die Aushärtung erfolgte mit warmem Wasser.

In Tabelle 27 sind die Details der In-situ-Untersuchung des BRAWOLINER XT zusammengestellt.

Tabelle 26: In-situ-Untersuchung des BRAWOLINER XT

Einsatzort	Wohnhaus, Grabenstraße, Odenbach
Bauausführung	Karl Otto Braun GmbH & Co. KG
Zugang	Revisionschacht außerhalb des Gebäudes
Randbedingungen	Gerade Leitung, vertikaler 30°-Bogen zum Hauptkanal, Beton, DN 125, Haltungslänge ca. 11,50 m
Aufgetretene Probleme	keine

Die Abbildung 74 zeigt die Bilddokumentation des Einbaus durch die Karl Otto Braun GmbH & Co. KG in Odenbach.



a) Sanierungsfahrzeug



b) verwendetes Linerharz



c) Revisionschacht



d) und e) Harzanmischung



f) Einfüllen des Harzes



g) und h) Imprägnierung



i) Aufrollen des Liners in die Inversionstrommel



j) und k) Inversions des Liners und des Kalibrierschlauches



l) Aushärtung



m) und n) Sanierungsergebnis

o) Aufräumen eines Seitenzulaufs mit Fräsroboter

Abbildung 74: Einbau des BRAWOLINERS XT in-situ

#### 4.3.2 RS MaxLiner-FLEX S, RS Technik AG

Die Baumaßnahme des Anbieters RS Technik AG wurde durch die Lobbe Entsorgung West GmbH & Co. KG am 25.03.2010 in Breckerfeld ausgeführt. Der Dienstleister hielt das gesamte zum Linereinbau erforderliche Equipment vor Ort zur Verfügung. Die Sanierungsaufgabe bestand darin, die Anschlussleitung eines Einfamilienhauses zwischen Hauptkanal und Revisionsschacht zu sanieren.

Mit den Sanierungsvorarbeiten wurde begonnen, allerdings musste bereits bei der Leitungsinspektion vor Ort festgestellt werden, dass bedingt durch drei Dimensionssprünge in der Leitung der ausgeschriebene Hausanschlussliner für diesen Einsatz nicht geeignet war. Da der Einbauablauf beim RS MaxLiner-FLEX S bereits im Rahmen der Systemprüfungen keine Besonderheiten gegenüber den übrigen Verfahren gezeigt hatte und der Dienstleister die Baumaßnahme mit seiner Ausrüstung in ansprechender Weise vorbereitet hatte, bestätigten auch hier die Beobachtungen vor Ort einen ausreichend praxisgerechten Einbau während der Systemprüfungen im IKT-Großversuchsstand.

#### 4.3.3 DrainLiner, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH

Die Baumaßnahme fand am 16.06.2009 in München statt. Die Sanierungsarbeiten wurden von der Fa. Stingl ausgeführt. Die Sanierungsaufgabe bestand darin, die Anschlussleitung DN 150 eines Wohnhauses zu renovieren. Zum Einsatz kam der DrainLiner mit dem Harzsystem EPROPOX VIS A2/B2. Die Anschlussleitung aus Steinzeug mit einer Haltungslänge von 27,50 m verlief gerade mit zahlreichen Lageabweichungen.

Die Inversion des Liners erfolgte durch einen 1,2 m tiefen Revisionsschacht (Abmessungen der Öffnung 100 cm x 65 cm) mit einem integrierten Reinigungsrohr mit rechteckigem Deckel aus Guss im Keller des Gebäudes. Von dieser Revisionsöffnung aus wurde die Sanierung in Fließrichtung bis zum Anschluss an den Hauptkanal durchgeführt.

Zur Sanierungsvorbereitung wurde die Leitung gereinigt und inspiziert. Das Harzanmischen erfolgte mit einer Harzmischanlage im Automatikbetrieb im Sanierungsfahr-

zeug der Fa. Stingl. Der Liner wurde anschließend im Sanierungsfahrzeug imprägniert. Zum Einsatz kam eine elektrische Imprägnieranlage.

Der Liner wurde mit offenem Ende und Kalibrierschlauch eingebaut und mit Luftdruck invertiert. Der Inversionsdruck betrug 0,4 bar. Die Einbauvariante mit offenem Ende wurde nach Angaben der Fa. Stingl gewählt, da zum Auffräsen eines geschlossenen Endes im öffentlichen Kanal seitens des städtischen Netzbetreibers weitere Sicherungsmaßnahmen eingefordert worden wären. Dies war zum Zeitpunkt der Sanierung nach Angaben der ausführenden Firma aus Kapazitätsgründen nicht möglich. Zur Inversion wurde die Inversionstrommel vor einem Kellerfenster auf dem Gehweg positioniert. Die Distanz bis zur Revisionsöffnung wurde mit einem Inversionschlauch überbrückt. Die Aushärtung erfolgte mit warmem Wasser.

In Tabelle 27 sind die Details der In-situ-Untersuchung des DrainLiners zusammengestellt.

Tabelle 27: In-situ-Untersuchung des DrainLiners

Einsatzort	Wohnhaus mit 10 Wohneinheiten, Landsberger Straße, München
Bauausführung	Stingl GmbH
Zugang	Revisionschacht im Keller des Gebäudes
Randbedingungen	Gerade Leitung, kein Nennweitenwechsel, Steinzeug, DN 150, Haltungslänge 27,50 m
Aufgetretene Probleme	keine

Abbildung 75 fasst die Bilddokumentation zum Einbau des DrainLiners durch die Fa. Stingl in München zusammen.



a) Baustelleneinrichtung



b) Imprägnieranlage



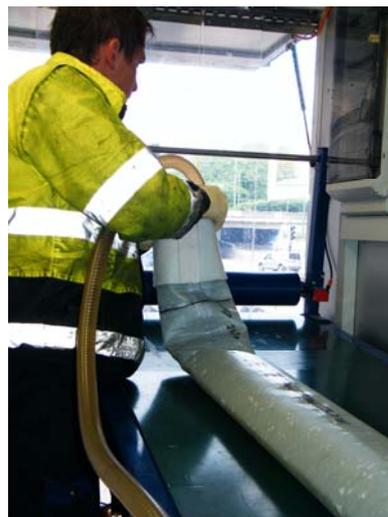
c) Revisionschacht mit Reinigungsöffnung



d) Vorbereitung des Invertierens



e) Zuschchnitt des Kalibrier-schlauches



f) Einfüllen des Harzes



g) Imprägnierung



h) Inversionstrummel mit aufgewickeltem Liner



i) Vorbereitung des Inversi-  
onsbogens



j) und k) Inversionsvorgang des Liners



l) Kalibrierschlauch



m) Aufrollen des Kalibrier-schlauches

n) Aushärtung

o) Sanierungsergebnis

Abbildung 75: Einbau des DrainLiners in-situ

#### 4.3.4 lineTEC ProFlex Liner, VFG Vereinigte Filzfabriken AG

Die Baumaßnahme fand am 15.12.2009 in Köln statt. Die Sanierungsarbeiten wurden von der Fa. Kuchem ausgeführt. Die Sanierungsaufgabe bestand darin, eine Grundleitung DN 100 in einem gewerblich genutzten Gebäude mit Büro- und Laborräumen im Gewerbegebiet BioCampus Cologne zu renovieren. Zum Einsatz kam der lineTEC ProFlex mit dem Harzsystem Biresin lineTEC EP 40. Die Grundleitung aus PVC-KG mit einer Länge von 4,50 m enthielt je einen vertikalen und einen horizontalen 90°-Bögen am Leitungsanfang und einen horizontal angeordneten 45°-Abzweig am Leitungsende. Die Inversion des Liners erfolgte durch einen aufgestemmtten Bodeneinlauf im Untergeschoss des Gebäudes. Von diesem aufgestemmtten Bodeneinlauf wurde die Sanierung in Fließrichtung bis zum Anschluss an eine Grundleitung DN 200 durchgeführt.

Zur Sanierungsvorbereitung wurde die Leitung gereinigt und inspiziert. Die Harzkomponenten wurden abgewogen und gemischt. Der Liner wurde anschließend im Sanierungsfahrzeug imprägniert. Zum Einsatz kam eine elektrische Imprägnieranlage.

Der Liner wurde mit offenem Ende und Kalibrierschlauch eingebaut und mit Luftdruck invertiert. Der Inversionsdruck betrug 0,5 bar. Die Einbauvariante mit offenem Ende wurde gewählt, um aufgrund der 90°-Bögen ein besseres Anliegen des Liners an das Altrohr zu erreichen. Zur Inversion wurde die Inversionstrommel über dem aufgestemmtten Bodeneinlauf positioniert. Die Aushärtung erfolgte mit warmem Wasser.

In Tabelle 28 sind die Details der In-situ-Untersuchung des lineTEC ProFlex Liners zusammengestellt.

Tabelle 28: In-situ-Untersuchung des lineTEC ProFlex Liners

Einsatzort	Büro- und Laborgebäude, Gewerbegebiet BioCampus Cologne, Nattermannallee, Köln
Bauausführung	Kuchem GmbH
Zugang	Aufgestemmter Bodeneinlauf im Untergeschoss des Gebäudes
Randbedingungen	90°-Bogen vertikal, 90°-Bogen horizontal, 45°-Bogen horizontal, PVC-KG, DN 100, Haltungslänge 4,50 m
Aufgetretene Probleme	Vor dem Aufstellen des Kalibrierschlauches wurde der Liner händisch wenige cm in Richtung der Einbaustelle gezogen. Dabei wurde der Kalibrierschlauch mit Linerharz benetzt. Dies führte zu Problemen beim späteren Ausbau des Kalibrierschlauches.

Die Abbildung 76 zeigt die Bilddokumentation zum Einbau des lineTEC ProFlex Liners durch die Fa. Kuchem in Köln.



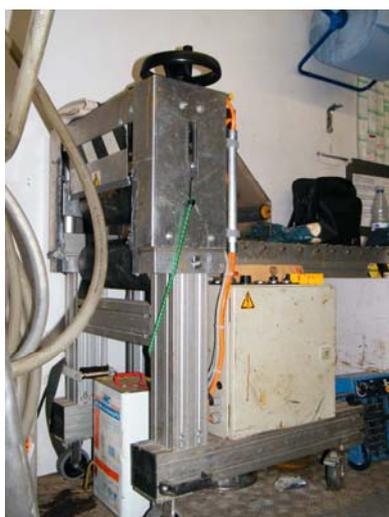
a) Baustelleneinrichtung



b) Harzkomponenten



c) Aufstemmen des Bodeneinlaufs



d) Imprägnieranlage



e) Vorbereitung des Einbaus des Kalibrierschlauches



f) Invertierter Kalibrierschlauch am Leitungszugang

g) Überwachung des Einbau-  
vorgangs

h) Aushärtung



i) Sanierungsergebnis

Abbildung 76: Einbau des lineTEC ProFlex Liners in-situ

#### 4.3.5 Zusammenfassung

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass der Einbau der Hausanschlussliner auf den Baustellen entsprechend den Vorgaben der Einbauanleitungen oder DIBt-Zulassungen erfolgte. Die Einbauleitungen im Rahmen der Systemprüfungen im IKT-Warentest "Hausanschluss-Liner" können somit als praxisgerecht bezeichnet werden. Die in der Praxis angetroffenen Leitungsstrukturen enthielten Elemente der im IKT-Großversuchstand eingebauten Leitungen. Die vereinzelt aufgetretenen technischen Probleme konnten unmittelbar auf der Baustelle mit vertretbarem Zeitaufwand und ohne erkennbare Auswirkungen auf das Sanierungsergebnis gelöst werden. Die erforderliche Maschinenteknik konnte an den jeweiligen Startpunkten der Sanierung positioniert werden. Die vorgefundenen Revisionsschächte oder -öffnungen gestatteten den Einbau der Hausanschlussliner. Das Einbringen der Hausanschlussliner war auch auf begrenztem Raum oder durch kleine Revisionsschächte möglich.

## 5 Bewertung der Hausanschlussliner

Die Bewertung der getesteten Hausanschlussliner setzt sich aus Sytemprüfungen, die zu 80 % in das Gesamtergebnis einfließen und der Qualitätssicherung der Verfahrensanbieter die zu 20 % in das Gesamtergebnis eingeht zusammen.

### 5.1 Bewertungsschwerpunkt „Systemprüfungen“

#### 5.1.1 Überblick

Der Bewertungsschwerpunkt Systemprüfung geht mit 80% in das jeweilige Prüfurteil für die „Standardsituation“ und die „Extremsituation“ ein. Für beide Bewertungsschwerpunkte werden Noten von „sehr gut (1,0)“ bis „ungenügend (6,0)“ vergeben.

In den Bewertungsschwerpunkt Systemprüfung fließen die Bewertungsfälle „Funktionsfähigkeit“ mit 20 %, „Dichtheit“ mit 60 % und „Tragfähigkeit der Struktur“ mit 20 % ein. Die Tabelle 32 stellt die einzelnen Bewertungsfälle und Kriterien detailliert dar.

Tabelle 29: Bewertungsschema für den Prüfungsschwerpunkt „Systemprüfungen“

Bewertungsfälle		Kriterium
Funktionsfähigkeit / Hydraulik (20%)		Falten, Kanten u.a. (20%)
Dichtheit (60%)	Strangprüfung (40%)	Sanierungsergebnis (30%) nach HD-Reinigung (10%)
	Laminatprüfung (10%)	Durchlässigkeit / APS-Prüfung (10%)
	Außenwasserdruck (10%)	Umläufigkeit (2%) Lösen der Folie (4%) Beulen (4%)
Tragfähigkeit der Struktur (20%)		Verbunddicke (6%) E-Modul (6%) 24h-Kriechneigung (6%) Dichte (2%)
Empfindlichkeit unter Auftrieb		

Die Auswertung der Prüfergebnisse nach dem Bewertungsschema der Tabelle 29 führt zu den in den nachfolgenden Tabellen dargestellten Einzelnoten für die Systemprüfungen der Liner. Details zur Notenbildung werden nachfolgend dargestellt.

Tabelle 30: Noten für die Systemprüfung „Standardsituation“

Liner Anbieter	Bewertungsfall						Gesamt
	Funktionfähigkeit (20%)	Dichtheit (60%)				Empfindlichkeit unter Auftrieb	
		Strangprüfung (40%)	Laminatprüfung (10%)	Außenwasserdruck (10%)	Tragfähigkeit der Struktur (20%)		
BRAWOLINER XT Harzsystem: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	1,6	1,0	4,4	1,0	2,6	-	1,8
RS MaxLiner-FLEX S Harzsystem: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	1,9	1,0	6,0	1,0	3,1	-	2,1
DrainLiner Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	1,9	1,0	6,0	1,0	4,6	-	2,4
epros®DrainGlassLiner (Prototyp) Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	2,3	1,0	6,0	1,0	3,5	Abwertung	3,3
lineTEC ProFlex Liner Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	2,1	1,0	6,0	1,0	2,6	-	2,1

Bewertungsschlüssel der Prüfergebnisse: Sehr gut = 1,0 - 1,5. Gut = 1,6 - 2,5. Befriedigend = 2,6 - 3,5. Ausreichend = 3,6 - 4,5. Mangelhaft = 4,6 - 5,5. Ungenügend = 5,6 - 6,0.

Tabelle 31: Noten für die Systemprüfung „Extremsituation“

Liner Anbieter	Bewertungsfall						Gesamt
	Funktionfähigkeit (20%)	Dichtheit (60%)				Empfindlichkeit unter Auftrieb	
		Strangprüfung (40%)	Laminatprüfung (10%)	Außenwasserdruck (10%)	Tragfähigkeit der Struktur (20%)		
BRAWOLINER XT Harzsystem: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	2,1	1,0	1,0	1,0	1,6	-	1,3
RS MaxLiner-FLEX S Harzsystem: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	2,5	1,0	6,0	1,0	2,6	-	2,1
DrainPlusLiner Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	2,6	1,0	1,0	1,0	4,6	-	2,0
epros® DrainPlusGlassLiner (Prototyp) Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	2,4	1,0	6,0	1,0	3,5	-	2,3
lineTEC ProFlex Liner Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	2,2	1,0	6,0	1,0	2,6	-	2,1

Bewertungsschlüssel der Prüfergebnisse: Sehr gut = 1,0 - 1,5. Gut = 1,6 - 2,5. Befriedigend = 2,6 - 3,5. Ausreichend = 3,6 - 4,5. Mangelhaft = 4,6 - 5,5. Ungenügend = 5,6 - 6,0.

### 5.1.2 Funktionsfähigkeit

Die Funktionsfähigkeit der sanierten Hausanschlussleitung wird über ihre hydraulische Leistungsfähigkeit beschrieben. Ein maßgebendes Kriterium ist dabei die Ebenheit der Innenkontur des Hausanschlussliners. Übermäßige Faltenbildung kann den Abflussquerschnitt einschränken, die Bildung von Ablagerungen begünstigen oder zur Entstehung von Abflusshindernissen führen. Geringfügige Faltenbildung außerhalb der Rohrsohle darf als unkritisch angesehen werden. Bei der Bewertung der Rohrrinnenkontur ist zusätzlich zu berücksichtigen, ob Unebenheiten z.B. durch die Struktur des Altrohres hervorgerufen werden. Ziel der Untersuchungen im IKT-Warentest war es, die möglichen Einsatzbereiche unterschiedlicher Linerprodukte abzugrenzen. Der dazu gewählte Versuchsaufbau mit einer Vielzahl hintereinander liegender Bögen oder Nennweitenveränderungen zielte hier insbesondere auf die Flexibilität und Bogengängigkeit der Linersysteme bis zur Maximalanforderung eines 90°-Bogens.

Zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit sollten erkennbare Faltenbildungen im Liner bewertet werden. Eine Abwertung sollte z.B. dann vorgenommen werden, wenn durch die Faltenbildung der Abfluss gestört werden könnte. Als Hilfe für die Bewertung wurden gegebenenfalls die vorhandenen prozentualen Verringerungen des Abflussquerschnittes angegeben.

Zur Bewertung der Funktionsfähigkeit wurden durch die am Lenkungskreis beteiligten Netzbetreiber aufgrund des optischen Eindrucks für jede Bewertungssituation bis zu 100 Punkte vergeben. Aus den prozentualen Anteilen der erreichten Gesamtpunktzahl wurde anschließend eine Benotung entsprechend dem „Schulnotensystem“ durchgeführt. Die Notenvergabe von „sehr gut“ (1,0) bis „ungenügend“ (6,0) erfolgt entsprechend den vergebenen Punkte nach dem in Abbildung 77 dargestellten Notenschlüssel, getrennt nach „Standardsituation“ und „Extremsituation“.

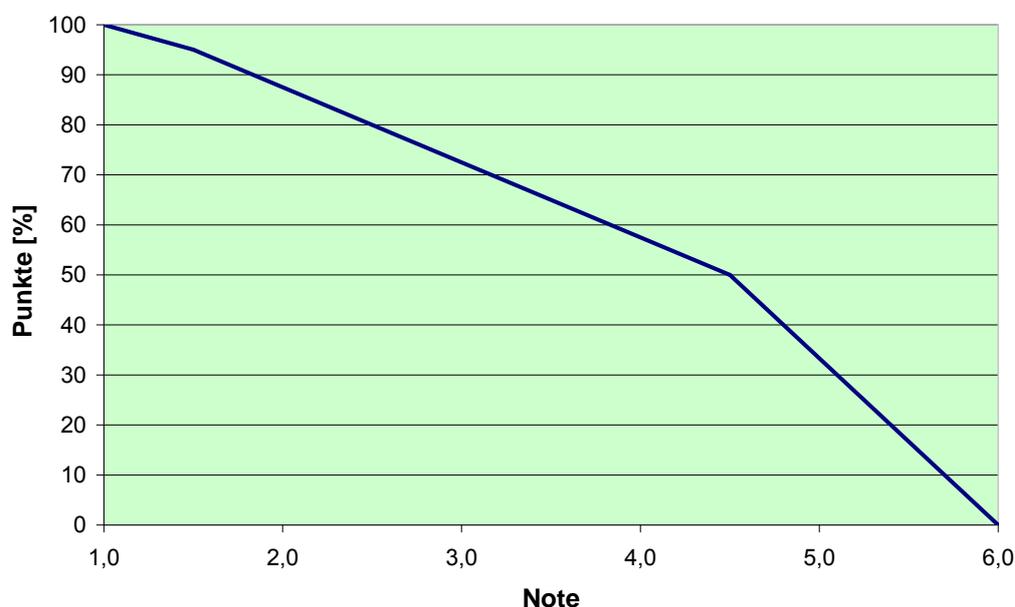


Abbildung 77: Notenschlüssel zur Bewertung der Funktionsfähigkeit

### 5.1.3 Dichtheit

Die Dichtheit einer sanierten Hausanschlussleitung wird auf Grundlage der Ergebnisse aus der Strangprüfung, der Laminat-Prüfung und der Betrachtung unter Außenwasserdruck hinsichtlich Infiltrationen, Umläufigkeiten oder Beulen bewertet.

#### 5.1.3.1 Strangprüfung

Bei der Strangprüfung wurde jede Haltung nacheinander nach Verfahren LA, LB, LC und LD der DIN EN 1610 [11] geprüft. Bei Bestehen aller Luftdruckprüfungen gilt die Leitung als dicht. Bei Nichtbestehen einer Luftdruckprüfung erfolgt eine Wasserdruckprüfung, die über das Prüfergebn entscheidet.

Die Bewertung erfolgt getrennt nach „Standardsituation“ und „Extremsituation“. Die Dichtheit wird in Abhängigkeit der Anzahl der dichten Haltungen bewertet. Die Notenvergabe von „sehr gut“ bis „ungenügend“ erfolgt nach folgendem Notenschlüssel:

Note 1,0: bei drei von drei bestandenen Dichtheitsprüfungen

Note 2,7: bei zwei von drei bestandenen Dichtheitsprüfungen

Note 4,3: bei einer von drei bestandenen Dichtheitsprüfungen:

Note 6,0: bei keiner bestandenen Dichtheitsprüfungen

### 5.1.3.2 Laminatprüfung

Zur Prüfung der Dichtwirkung des Laminats wird die Dichtheitsprüfung nach APS-Richtlinie [9] eingesetzt. Da sämtliche getesteten Hausanschlussliner Innenfolien besitzen, die in der DIBt-Zulassung noch nicht als integraler Bestandteil des Liners erfasst werden, wurde die Innenfolie zur Vorbereitung der Prüfung in allen Fällen mit Gitternetzschritten durchtrennt.

Es wurden für den Untersuchungsfall Standard- und Extremsituation je Verfahren 6 Probekörper untersucht, die an vergleichbaren Stellen der Leitungsstränge entnommen worden waren. An jedem Probekörper wurde eine Prüfserie à drei Dichtheitsprüfungen, d.h. mit drei Prüfstellen, ausgeführt. Eine Prüfserie wird als undicht bewertet, wenn bei mindestens einer von drei Prüfstellen des selben Probekörpers Feuchtigkeit austritt. Die Notenvergabe folgt dann folgender Regel:

Note 1,0: bei sechs von sechs dichten Prüfserien

Note 4,4: bei fünf von sechs dichten Prüfserien

Note 6,0: bei weniger als fünf von sechs dichten Prüfserien

Die Note 4,4 wird demnach auch bei einfacher Undichtigkeit zugestanden, da in der Praxis die Wiederholungsprüfung an einer beliebigen weiteren der fünf verbliebenen Proben mit Sicherheit zu einer bestandenen Prüfung geführt hätte.

### 5.1.3.3 Außenwasserdruck

Ein weiteres Untersuchungskriterium bezüglich der Dichtheit ist das Verhalten unter Außenwasserdruck. Bewertet wird hier, ob es zu Umläufigkeiten – insbesondere an den Anbindestellen zum Hauptkanal –, zum Ablösen der Innenfolie oder zum Auftreten von Beulen innerhalb des Liners kommt.

Umläufigkeiten an der Einbindungsstelle werden entsprechend der Notenverteilung der Strangprüfung nach Häufigkeit bewertet. Ein Lösen der Innenfolie oder Beulen unter Außenwasserdruck wird nach optischem Eindruck durch Punktevergabe der beteiligten Netzbetreiber bewertet. Die Notenvergabe erfolgt durch lineare Interpolation zwischen 100 Punkten (1,0) und 0 Punkten (6,0).

Da in der vorliegenden Untersuchung in keiner der sanierten Leitungen Umläufigkeiten, das Lösen der Innenfolie oder ein Einbeulen unter Außenwasserdruck beobachtet wurden, ergab sich für sämtliche Verfahren und Bewertungsfälle die Note 1,0.

#### 5.1.4 Tragfähigkeit der Struktur

Die Tragfähigkeit der Struktur der untersuchten Linersysteme wird im Praxisfall durch die tatsächlich auftretenden Beanspruchungen bestimmt. Zur Bewertung können mechanische Kennwerte (z.B. Elastizitätsmodul, Kriechneigung) herangezogen werden. Ebenfalls von Interesse sind die Geometrie des Liners und die Wanddicke, wobei hier insbesondere Schwankungen in Längs- und Umfangsrichtung zu berücksichtigen sind. Der Hausanschlussliner, ein als Duroplast zu beschreibendes Kunststoffrohr, weist darüber hinaus ein kunststofftypisches zeitabhängiges Materialverhalten auf.

Voraussetzung für die Tragfähigkeit ist, dass die in den Zulassungen dokumentierten und entsprechend auch in statischen Betrachtungen vorausgesetzten Materialeigenschaften zuverlässig erreicht werden. Der Vergleich der Ergebnisse aus der Messung der Verbunddicke und aus der Prüfung der mechanischen Kennwerte (E-Modul, 24h-Kriechneigung und Dichte) mit den Angaben in der DIBt-Zulassung bildet die Grundlage für die Bewertung.

Die Wanddicke wurde entsprechend dem folgenden Notenschlüssel bewertet:

Note 1,0: Die geforderte Dicke ist immer eingehalten.

Note 3,0: Die geforderte Dicke ist an einzelnen Stellen unterschritten, erreicht im Mittel aber den geforderten Wert.

Note 6,0: Die geforderte Dicke ist überwiegend unterschritten.

Der E-Modul, die 24h-Kriechneigung und die Dichte wurden pro Verfahren an drei Probekörpern für die „Standardsituation“ und drei Probekörpern für die „Extremsituation“ bestimmt. Die Notenvergabe erfolgt durch den Vergleich der erreichten Werte mit den Vorgaben der DIBt-Zulassung. In einem Fall wurde die Selbstverpflichtung des Verfahrensanbieters (Grundlage für das laufende Verfahren zur DIBt-Zulassung) zum Vergleich herangezogen. Die mechanischen Kennwerte wurden entsprechend dem nachfolgendem Notenschlüssel bewertet:

Note 1,0: Der geforderte Wert wird bei drei von drei Probekörpern eingehalten.

Note 4,4: Der geforderte Wert wird bei zwei von drei Probekörpern eingehalten.

Note 6,0: Der geforderte Wert wird bei keinem oder einem von drei Probekörpern eingehalten.

Der Unterpunkt „Dichte“ wird lediglich als Anhaltspunkt für den zugesicherten Tränkungsgrad gewertet. Mögliche Auswirkungen auf mechanische Kennwerte werden bereits in der direkten Prüfung dieser Kennwerte berücksichtigt.

### 5.1.5 Empfindlichkeit unter Auftrieb

Die Empfindlichkeit unter Auftrieb nimmt bei der Fremdwassersanierung eine wichtige Rolle ein. Bei einer zunehmenden Erhöhung des Abdichtungsgrades der öffentlichen und der privaten Kanalisation sowie dem möglicherweise damit verbundenen Ansteigen des Grundwasserspiegels gewinnt auch das Verhalten der sanierten Hausanschlussleitung unter Auftriebsbelastungen an Bedeutung. Im IKT-Warentest konnte ein Zielkonflikt zwischen dem Verkleben des Liners und der Abwinkelbarkeit unter Auftrieb festgestellt werden. Die Empfindlichkeit des Liner-Altrohr-Systems unter Auftrieb wird wie folgt bewertet:

„**Risiko denkbar**“, wenn ein erkennbarer, die Rissbildung begünstigender Verbund zwischen Liner und Altrohr im Rohrverbindungsbereich besteht, aber unter den Versuchsbedingungen keine Auftriebsschäden beobachtet wurden,

„**Risiko beobachtet**“, wenn ein erkennbarer, die Rissbildung begünstigender Verbund zwischen Liner und Altrohr im Rohrverbindungsbereich besteht und unter den Versuchsbedingungen einzelne Auftriebsschäden tatsächlich beobachtet wurden,

„**Risiko zu erwarten**“, wenn ein erkennbarer, die Rissbildung begünstigender Verbund zwischen Liner und Altrohr im Rohrverbindungsbereich besteht und in allen Testhaltungen wenigstens ein Auftriebsschaden beobachtet wurde.

In den ersten beiden Fällen dienen die Bewertungen allein der Information und haben keinen Einfluss auf die Gesamtnote. Nur wenn gilt „**Risiko zu erwarten**“, wird die Gesamtnote der „Systemprüfung“ um eine volle Note (1,0) abgewertet.

## 5.2 Bewertungsschwerpunkt „Qualitätssicherung der Verfahrensanbieter“

Der Bewertungsschwerpunkt „Qualitätssicherung der Lineranbieter“ geht mit 20% in das jeweilige Prüfurteil ein.

In den Bewertungsschwerpunkt fließen die fünf Bewertungsfälle „DIBt-Zulassung“, „Prüfzeugnis zur Umweltverträglichkeit“, „Verfahrenshandbuch und Schulungen“, „Fremdüberwachung“ und „Nachweis der Entsorgbarkeit“ ein. Die Bewertungsfälle werden nach dem Kriterium „ja/nein“ bewertet. „Ja“ bedeutet, die entsprechende Qualitätssicherung konnte vollständig nachgewiesen werden. „Nein“ steht für das Fehlen eines entsprechenden Nachweises.

Die Bewertungsfälle fließen zu den in Tabelle 32 dargestellten Anteilen in die Note für den Bewertungsschwerpunkt „Qualitätssicherung der Verfahrensanbieter“ ein.

Tabelle 32: Bewertungsschema für den Prüfungsschwerpunkt „Qualitätssicherung der Verfahrensanbieter“

Bewertungsfälle	Kriterien	Gewichtung
DIBt-Zulassung	ja/nein	50 %
Prüfzeugnis zur Umweltverträglichkeit	ja/nein	10 %
Verfahrenshandbuch und Schulungen	ja/nein	20 %
Fremdüberwachungsmaßnahmen	ja/nein	10 %
Nachweis der Entsorgbarkeit	ja/nein	10 %

Die Ergebnisse werden durch eine lineare Funktion auf Noten abgebildet (vgl. Abbildung 78). Hierbei stehen 100 % für die Note „sehr gut (1,0)“ und 0 % für die Note „ungenügend (6,0)“.

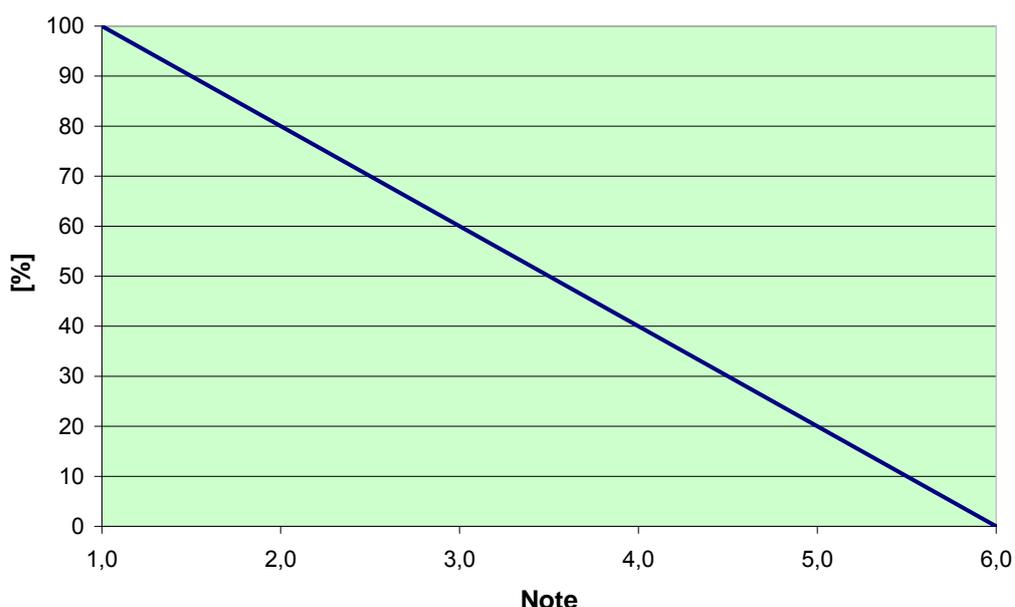


Abbildung 78: Notenverteilung, lineare Funktion zur Bewertung der „Qualitätssicherung der Verfahrensanbieter“

In Tabelle 33 sind die sich vor diesem Hintergrund ergebenden Noten für den Bewertungsschwerpunkt „Qualitätssicherung der Verfahrensbieter“ für die eingesetzten Hausanschlussliner zusammengestellt.

Tabelle 33: Noten für die „Qualitätssicherung der Verfahrensanbieter“

Liner, Anbieter	DIBT-Zulassung [ja/nein]	Prüfzeugnis zur Umweltverträglichkeit [ja/nein]	Verfahrenshandbuch und Schulungen [ja/nein]	Fremdüberwachung [ja/nein]	Nachweis der Entsorgbarkeit [ja/nein]	Note
BRAWOLINER XT Harzsystem: BRAWO I Karl Otto Braun GmbH & Co. KG	ja	ja	ja	ja	ja	sehr gut (1,0)
RS MaxLiner-FLEX S Harzsystem: MaxPox 15-40 RS-Technik AG, Esslingen	ja	ja	ja	ja	ja	sehr gut (1,0)
DrainLiner Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	ja	ja	ja	ja	ja	sehr gut (1,0)
DrainPlusLiner Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	ja	ja	ja	ja	ja	sehr gut (1,0)
epros® DrainGlassLiner (Prototyp) Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	nein	nein	nein	nein	ja	ungenügend (5,5)
epros® DrainPlus GlassLiner (Prototyp) Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4 Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH	nein	nein	nein	nein	ja	ungenügend (5,5)
lineTEC ProFlex Liner Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40 VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen	ja	ja	ja	ja	ja	sehr gut (1,0)

## 6 Prüfurteile und Gesamtergebnis

Die Prüfurteile für die Schlauchliner werden für den jeweiligen Anwendungsfall „Standardsituation“ und „Extremsituation“ aus den Bewertungsschwerpunkten „Systemprüfung (80 %)“ und „Qualitätssicherung der Verfahrensanbieter (20 %)“ gebildet.

Aus den Bewertungsschwerpunkten „Systemprüfung Standardsituation“ und „Qualitätssicherung der Verfahrensanbieter“ bzw. „Systemprüfung Extremsituation“ und „Qualitätssicherung der Verfahrensanbieter“ ergeben sich somit grundsätzlich zwei Prüfurteile.

Schlauchliner, die lediglich bei einem der beiden Anwendungsfälle – Standard- oder Extremsituation – eingesetzt wurden, erhalten nur dieses eine Prüfurteil.

In Tabelle 34 und Tabelle 35 sind die Prüfurteile für die untersuchten Schlauchliner dargestellt. Zusätzlich sind die bei den jeweiligen Anwendungsfällen nicht eingesetzten Liner mit entsprechender Erläuterung aufgeführt. In den Tabellen werden ergänzend die Ergebnisse der Baustellen-Untersuchungen, Zusatzinformationen und die erkannten Verbesserungspotentiale für die einzelnen Schlauchliner zusammengefasst.

Tabelle 34: Ergebnisse des IKT - Warentests „Hausanschluss-Liner“ bei der „Standardsituation“



Sanierung von drei Anschlusskanälen aus Steinzeug DN 150; fachgerechter Anschluss mit einem Anschlussstutzen oberhalb des Kämpfers des Hauptrohres; Inversion durch PVC-KG Revisionsöffnungen am Anfang des Steinzeugkanals; Bögen: 45° und 30°; eingebrachte Schäden: Längsrisse, Querrisse, Scherenbildungen, fehlende Rohrstücke, unsachgemäß hergestellter Zulauf, undichte Rohrverbindungen, Fettablagerungen.



IKT - Warentest „Hausanschluss-Liner“ Standardsituation<sup>1)</sup>

Lineranbieter	Karl Otto Braun GmbH & CO. KG	VFG Vereinigte Filzfabriken AG	RS Technik AG	Trelleborg Pipe Seals Dulsburg GmbH	Trelleborg Pipe Seals Dulsburg GmbH
Schlauchliner	BRAWOLINER XT	lineTEC ProFlex Liner	RS MaxLiner-FLEX S	DrainLiner	epros@DrainGlassLiner (Prototyp)
Eingessenes Trägermaterial	Polyesterfaserschlauch mit Polyesterurethan-Folie	Polyesterfaserschlauch mit Polyesterurethan-Folie	Polyesterfaserschlauch mit Polyesterurethan-Folie	Polyester-Nadelstitchschlauch mit Polyesterurethan-Folie	Polyester-Nadelstitchschlauch/ECR Glas mit Polyesterurethan-Folie
Eingessenes Harzsystem	BRAWO 1	Bresin lineTEC EP 40	MaxPox 15-40	EPRPOX VIS A2 / B2	EPRPOX VIS A4 / B4
<b>IKT - Prüferleit: Standardsituation*</b>	gut (1,6)	gut (1,8)	gut (1,9)	gut (2,1)	ausreichend (3,7)
<b>Systemprüfung (Gewichtung 80%)</b>	gut (1,8)	gut (2,1)	gut (2,1)	gut (2,4)	befriedigend (3,3)
Funktionsfähigkeit <sup>2)</sup> (20%)	1,6	2,1	1,9	1,9	2,3
Dichtheit (60%)	1,6	1,8	1,8	1,8	1,8
Strangprüfung (40%)	nach Sanierung (30%)	1,0	1,0	1,0	1,0
nach HD-Reinigung (10%)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Lammaprüfung (10%)	4,4	6,0	6,0	6,0	6,0
Dichtheit (60%)	1,0	1,0	1,0	1,0 <sup>3)</sup>	1,0 <sup>3)</sup>
Unfalltaugl. (2%)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Außenwasserdruck (10%)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Leeren der Innentüte (4%)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Beulen (4%)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tragfähigkeit der Struktur (20%)	2,6	2,6	3,1	4,6	3,5
Verbunddicke (6%)	3,0	3,0	3,0	3,0	6,0
E-Modul <sup>4)</sup> (6%)	4,4	4,4	1,0	6,0	1,0
24h-Kriechdehnung <sup>5)</sup> (6%)	1,0	4,4	6,0	6,0	4,4
Dichte <sup>6)</sup> (2%)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Empfindlichkeit unter Auflieβ <sup>7)</sup>	Risiko beobachtet	Risiko beobachtet	Risiko denkbar	Risiko denkbar	Risiko zu erwarten (Abwertung <sup>8)</sup> )
<b>Qualitätsicherung (Gewichtung 20%)</b>	sehr gut (1,0)	sehr gut (1,0)	sehr gut (1,0)	sehr gut (1,0)	mangelhaft (5,5)
DBI-Zulassung <sup>1)</sup> (50%)	ja	ja	ja	ja	nein
Umweltverträglichkeitsprüfungs des Harzes vorgelegt <sup>1)</sup> (10%)	ja	ja	ja	ja	nein
Verfahrensanbuch und Schulungen <sup>1)</sup> (20%)	ja	ja	ja	ja	nein
Fremdüberwachung <sup>1)</sup> (10%)	ja	ja	ja	ja	nein
Nachweis der Entsorgung <sup>1)</sup> (10%)	ja	ja	ja	ja	nein
Bauzeiten-Unterbrechung	ja	ja	ja	ja	ja
Zusatzinformation: Lieferbar für	DN 100 bis DN 200	DN 100 bis DN 200	DN 100 bis DN 200	DN 100 bis DN 300	DN 100 bis DN 400
Strangprüfung nach mechanischer Reinigung	dicht	dicht	dicht	dicht	dicht
<b>Empfohlene Verbesserungen</b>	Zielkonflikt lösen zwischen Verklebung und Abwinkelbarkeit unter Auflieβ. Starke Verklebung führte in zwei Testhaltungen zu Auftragschäden.	Zielkonflikt lösen zwischen Verklebung und Abwinkelbarkeit unter Auflieβ. Starke Verklebung führte in zwei Testhaltungen zu Auftragschäden.	Zielkonflikt lösen zwischen Verklebung und Abwinkelbarkeit unter Auflieβ. Starke Verklebung führte in zwei Testhaltungen zu Auftragschäden.	Zielkonflikt lösen zwischen Verklebung und Abwinkelbarkeit unter Auflieβ. Starke Verklebung führte in zwei Testhaltungen zu Auftragschäden.	Zielkonflikt lösen zwischen Verklebung und Abwinkelbarkeit unter Auflieβ. Starke Verklebung führte in zwei Testhaltungen zu Auftragschäden.

1) Die Bezeichnung „Standardsituation“ bezieht sich auf die Geometrie des Anschlusskanals.  
 2) Bewertung der Funktionsfähigkeit durch optische Beurteilung der gesamten Standardsituation durch die Netzbetreiber: 100 Punkte = 1,0 bis 0 Punkte = 6,0; Abbildung der Noten durch eine nichtlineare Funktion.  
 3) Bewertung: 100% bestmögliche Dichtehaltenprüfung nach APS-Richtlinie = 1,0; eine Prüfsere nach APS-Richtlinie undicht = 4,4; ab 2 Prüfserien nach APS-Richtlinie undicht = 6,0.  
 4) Bewertung: gebrochene Verbunddicke eingehalten = 1,0; gebrochene Verbunddicke bis an einzelnen Stellen unterschritten, erreicht im Mittel aber den geforderten Wert = 3,0; gefallene Verbunddicke überwiegend nicht erreicht = 6,0.  
 5) Bewertung: gebrochene 24h-Kriechdehnung in [%] gemäß DBI-Zulassung bei 3 Prüfungen eingehalten = 1,0; bei 2 Prüfungen eingehalten = 4,4; bei nur einer oder keiner Prüfungen eingehalten = 6,0.  
 6) Bewertung: zulässige 24h-Kriechdehnung in [%] gemäß DBI-Zulassung bei 3 Prüfungen eingehalten = 1,0; bei 2 Prüfungen eingehalten = 4,4; bei nur einer oder keiner Prüfungen eingehalten = 6,0.  
 7) Bewertung: gebrochene Dichte gemäß DBI-Zulassung bei 3 Prüfungen eingehalten = 1,0; bei 2 Prüfungen eingehalten = 4,4; bei nur einer oder keiner Prüfungen eingehalten = 6,0.  
 8) Bewertung: Auftragschaden im Test nicht aufgetreten = Risiko denkbar, Auftragschaden im Test vereinzelt aufgetreten = Risiko zu erwarten.  
 9) Anschluss der Hausanschlüsse „Systemprüfung“ um eine Note (von 2,3 auf 3), da in jeder Testhaltung wenigstens ein Mal Schäden unter Auflieβ (Wintertar) unter Einsatz eines Romsanierungsgerätes (LOR-Packer).  
 10) Abwertung des Hausanschlusses „Systemprüfung“ um eine Note (von 2,3 auf 3), da in jeder Testhaltung wenigstens ein Mal Schäden unter Auflieβ (Wintertar) unter Einsatz eines Romsanierungsgerätes (LOR-Packer).  
 11) Bewertung: vorhanden = ja; nicht vorhanden = nein; Zulassungen/Zugnisse/Nachweise müssen für die im Test eingesetzten Materialien gelten.  
 \* Notenberechnung auf Basis ungerundeter Werte  
 Bewertungsschlüssel der Prüfergebnisse: Sehr gut = 1,0 - 1,5; Gut = 1,6 - 2,5; Befriedigend = 2,6 - 3,5; Ausreichend = 3,6 - 4,5; Mangelhaft = 4,6 - 5,5; Ungenügend = 5,6 - 6,0.

Tabelle 35: Ergebnisse des IKT - Warentests „Hausanschluss-Liner“ bei der „Extremersituation“

**IKT - Warentest „Hausanschluss-Liner“**  
Extremersituation:

Sanierung von drei Anschlusskanälen aus Steinzeug und PVC-KG der Nennweite DN 125 und DN 150; fachgerechter Anschluss mit einem Anschlussstutzen im Kämpfer des Hauptrohres; Inversion durch einen Steinzeug-Bogen 90° DN 125 am Anfang des Steinzeugkanals; Bögen: 45°, 30° und 15°; eingebrachte Schäden: Längsrisse, Scherbenbildungen, fehlende Rohrstücke, unsachgemäß hergestellter Materialwechsel von Steinzeug auf PVC-KG, unsachgemäß hergestellter Nennweitenwechsel DN 125 auf DN 150, unrichtige Rohrverbindungen, Faltblagerungen.

Lineranbieter	Karl Otto Braun GmbH & CO. KG	Trelborg Pipe Seals Duisburg GmbH	VFG Vereinigte Filzfabriken AG	RS Technik AG	Trelborg Pipe Seals Duisburg GmbH
Schlauchliner	BRAWOLINER XT	DrainPlusLiner	lineTEC ProfFlex-Liner	RS MaxLiner-FLEX S	epresso@DrainPlusGlassLiner (Prototyp)
Engesetztes Trägermaterial	Polyesterfaserschlauch mit Polyesterretham-Folie	Polyester-Nadelstitchschlauch mit Polyurethan-Folie	Polyesterfaserschlauch mit Polyurethan-Folie	Polyesterfaserschlauch mit Polyurethan-Folie	Polyester-Nadelstitchschlauch mit Polyurethan-Folie
Engesetztes Harzsystem	BRAWO 1	EPROPOX VIS A2 / B2	Biresin lineTEC EP 40	MaxPox 15-40	EPROPOX VIS A4 / B4
IKT - Prüferurteil: Extremsituation*	sehr gut (1,3)	gut (1,8)	gut (1,9)	gut (1,9)	beeindruckend (2,9)
Systemprüfung (Gewichtung 80%)	sehr gut (1,3)	gut (2,0)	gut (2,1)	gut (2,1)	gut (2,2)
Funktionsfähigkeit <sup>2</sup> (20%)	2,1	2,6	2,2	2,5	2,4
Dichtheit (60%)	1,0	1,0	1,8	1,8	1,8
Strangprüfung (40%)	nach Sanierung (30%)	1,0	1,0	1,0	1,0
nach HD-Reinigung (10%)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Lammatprüfung (10%)	1,0	1,0	6,0	6,0	6,0
APS-Prüfung <sup>3</sup> (10%)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0 <sup>4</sup>
Umlaufzeit (2%)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Außenwasserdruck (10%)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Lösen der Innentüte (4%)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Beulen (4%)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tragfähigkeit der Struktur (20%)	1,6	4,6	2,6	2,6	3,5
Verbunddicke (6%)	3,0	3,0	3,0	3,0	6,0
E-Modul <sup>5</sup> (6%)	1,0	6,0	4,4	1,0	1,0
Zeh-Kriechneigung <sup>6</sup> (6%)	1,0	1,0	6,0	4,4	4,4
Dichte (2%)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Risiko denkbar	Risiko denkbar	Risiko beachtet	Risiko denkbar	Risiko denkbar	Risiko beobachtet
Qualitätssicherung (Gewichtung 20%)	sehr gut (1,0)	sehr gut (1,0)	sehr gut (1,0)	sehr gut (1,0)	mangelhaft (5,5)
DIB-Zulassung <sup>10</sup> (60%)	ja	ja	ja	ja	nein
Umweltverträglichkeitsprüfungsbescheinigung des Harzes vorgelegt <sup>10</sup> (10%)	ja	ja	ja	ja	nein
Verfahrensanbuch und Schulungen <sup>10</sup> (20%)	ja	ja	ja	ja	nein
Fremdüberwachung <sup>10</sup> (10%)	ja	ja	ja	ja	nein
Nachweis der Einbaubarkeit <sup>10</sup> (10%)	ja	ja	ja	ja	ja
Baubestell-Untersuchung	praxisgerechter Einbau				
Zusatzinformationen: Lieferbar für	DN 100 bis DN 200	DN 100 bis DN 300	DN 100 bis DN 200	DN 100 bis DN 200	DN 100 bis DN 400
Strangprüfung nach mechanischer Reinigung	dicht	dicht	dicht	dicht	dicht
Empfohlene Verbesserungen	Zielkonflikt lösen zwischen Verklebung und Verklebungsfähigkeit unter Auftrieb. Starke Verklebung führt zu Auftriebschäden führen.	Zielkonflikt lösen zwischen Verklebung und Verklebungsfähigkeit unter Auftrieb. Starke Verklebung führt zu Auftriebschäden führen.	Zielkonflikt lösen zwischen Verklebung und Verklebungsfähigkeit unter Auftrieb. Starke Verklebung führt zu Auftriebschäden führen.	Zielkonflikt lösen zwischen Verklebung und Verklebungsfähigkeit unter Auftrieb. Starke Verklebung führt zu Auftriebschäden führen.	Zielkonflikt lösen zwischen Verklebung und Verklebungsfähigkeit unter Auftrieb. Starke Verklebung führt zu Auftriebschäden führen.

1 Die Bezeichnung „Extremsituation“ bezieht sich auf die Geometrie des Anschlusskanals.  
 2 Bewertung der Funktionsfähigkeit durch optische Beurteilung der sanierten Standardsituation durch die Netzbehalter: 100 Punkte = 1,0 bis 0 Punkte = 6,0; Abbildung der Noten durch eine nichtlineare Funktion.  
 3 Bewertung: 100% beständige Dichtheitsprüfungen nach APS-Richtlinie = 1,0; eine Prüfserie nach APS-Richtlinie undicht = 4,4; ab 2 Prüfserien nach APS-Richtlinie undicht = 6,0.  
 4 Bewertung: geförderter Verbunddicke eingehalten = 1,0; geförderter Verbunddicke ist in einzelnen Stellen unterschritten, erreicht im Mittel aber den geforderten Wert = 3,0; geförderter Verbunddicke ist in zwei Stellen unterschritten, erreicht im Mittel aber den geforderten Wert = 4,4; bei nur einer oder keiner Prüfung eingehalten = 6,0.  
 5 Bewertung: geförderter E-Modul gemäß DIB-Zulassung bei 3 Prüfungen eingehalten = 1,0; bei 2 Prüfungen eingehalten = 4,4; bei nur einer oder keiner Prüfung eingehalten = 6,0.  
 6 Bewertung: zulässige Zeh-Kriechneigung in [%] gemäß DIB-Zulassung bei 3 Prüfungen eingehalten = 1,0; bei 2 Prüfungen eingehalten = 4,4; bei nur einer oder keiner Prüfung eingehalten = 6,0.  
 7 Bewertung: geförderter Dichte gemäß DIB-Zulassung bei 3 Prüfungen eingehalten = 1,0; bei 2 Prüfungen eingehalten = 4,4; bei nur einer oder keiner Prüfung eingehalten = 6,0.  
 8 Bewertung: Auftriebschäden im Test nicht aufgetreten = Risiko denkbar, Auftriebschäden im Test vereinzelt aufgetreten = Risiko beachtet, Auftriebschäden im Test stets aufgetreten = Risiko zu erwarten.  
 9 Anschluss der Hausanschlüsse an den Hauptkanal mit einer LCR-Hukempe aus glasfaserverstärktem Polypropylen mit einem Silikat-Harzsystem Typ-3W (Winterharz) unter Einsatz eines Rohrsanierungsgerätes (LCR-Packer).  
 10 Nebenrechnung auf Basis ungenauer Werte  
 Bewertungsschlüssel der Prüfergebnisse: Sehr gut = 1,0 - 1,5; Gut = 1,6 - 2,5; Befriedigend = 2,6 - 3,5; Ausreichend = 3,6 - 4,5; Mangelhaft = 4,6 - 5,5; Ungenügend = 5,6 - 6,0.

## 7 Infiltrationsmessungen

### 7.1 Veranlassung und Hintergrund

Schadhafte Kanäle können bei Lage unterhalb des Grundwasserspiegels auch als Drainage wirken, die unbeabsichtigt Bauwerke und Grundstücke vor Vernässung schützen. Darüber hinaus ergaben Untersuchungen im Rahmen eines Forschungsprojektes [46], dass Grundwasser auch gezielt über private Drainageanschlüsse als Fremdwasser dem Mischwassernetz zugeführt wird. Die Folge waren im Fallbeispiel des Forschungsprojektes Fremdwassereinträge, die teilweise der zwei- bis dreifachen Menge des Schmutzwasseranfalls entsprechen [46].

Bedingt durch derartige, teils immense Fremdwassereinträge kommt es mitunter zu hydraulischen Überbelastungen in den Kanalnetzen, so dass Entlastungsbauwerke häufiger in Betrieb genommen und somit zusätzliche Schmutzfrachten in die Vorfluter abgeschlagen werden. Mit erhöhten Fremdwassereinträgen geht zudem eine Verdünnung und somit auch Abkühlung des Abwassers einher, die auf den Kläranlagen zu einer verminderten Reinigungsleistung (unzureichende Frachtelimination) führt.

Werden die privaten Entwässerungsnetze zukünftig zunehmend abgedichtet (u. a. Forderung gemäß § 61a LWG) [5] und damit folgenreiche Fremdwassereinträge in die Kanalisation unterbunden, muss im Ergebnis mit einem Anstieg des Grundwasserpegels und je nach Ausmaß außerdem mit Risiken für die örtliche Bebauung gerechnet werden. Die Hausbesitzer stehen in diesem Fall vor der Aufgabe, das Grundwasser in anderer Weise unterhalb der Kellersohle zu halten. Ggf. sind dafür weitere Investitionen, z. B. für den Bau einer Drainage oder eine nachträgliche Abdichtung, zu tätigen.

Vor diesem Hintergrund erscheint es dringend erforderlich, für die flächendeckende Sanierung der Grundstücksentwässerungsanlagen zunächst die hydrogeologische Situation des betroffenen Gebietes näher zu beleuchten und dabei eine Abschätzung über das Ausmaß des zu erwartenden Grundwasseranstiegs zu treffen. Anhand der daraus gewonnenen Erkenntnisse können dann alternative Maßnahmen zur Absenkung des Grundwasserspiegels direkt mit in die Sanierungsplanung einbezogen werden.

Die vorgenannte Zielstellung setzt zunächst das Vorhandensein geeigneter Gerätetechnik für die Erfassung der jeweiligen Fremdwassereinträge voraus. Eine Möglichkeit besteht darin, den Fremdwassereintrag grundstücksweise am Anschlussstutzen an die öffentliche Kanalisation zu erfassen. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde hierzu eine neuartige Messeinrichtung der Kanal-Control Rohrsanierung GmbH, Wentorf eingesetzt und hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Eignung und Einsatzfähigkeit zur Erfassung von Fremdwassereinträgen überprüft und bewertet.

## 7.2 Untersuchungsprogramm

### 7.2.1 Aufbau und Übersicht

Im Rahmen des Untersuchungsprogramms sollten Erkenntnisse über das Infiltrationsvermögen sowohl beschädigter als auch sanierter Hausanschlussleitungen gewonnen werden.

Für den Großteil der Versuche wurde zu diesem Zweck die Versuchsanlage des IKT-Warentests „Hausanschluss-Liner“ mit teils sanierten und teils beschädigten Hausanschlussleitungen in der IKT-Versuchshalle genutzt. In den Versuchsstand waren jeweils sechs beschädigte Hausanschlussleitungen (Länge je ca. 12 m) in sechs verschiedenen Tiefenlagen eingebaut worden. In Abbildung 79 ist exemplarisch die Anordnung der Versuchsleitungen einer Tiefenlage in der Draufsicht dargestellt.

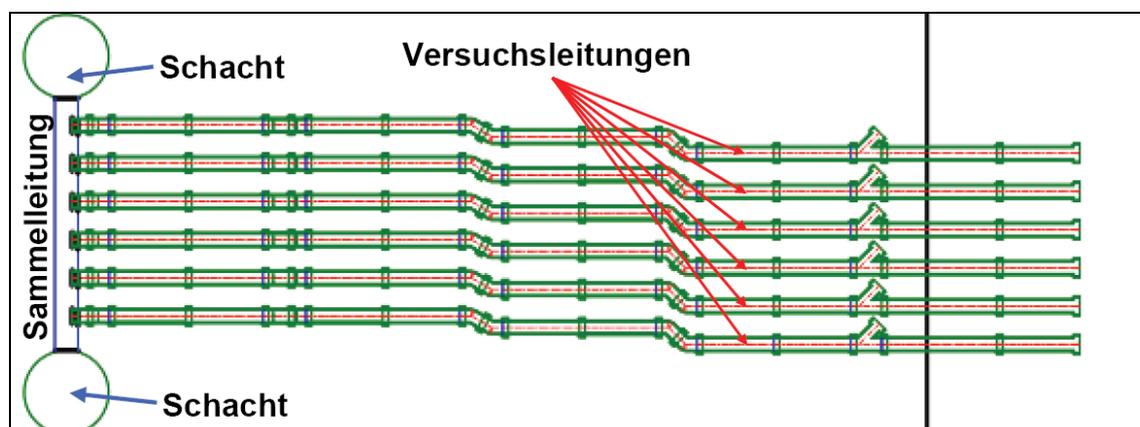


Abbildung 79: Schematische Darstellung der Draufsicht auf die Leitungen einer Tiefenlage

Die Leitungsenden im Hochpunkt ragten frei zugänglich aus dem Versuchsstand heraus, wohingegen die Enden im Tiefpunkt lagenweise an Sammelleitungen angeschlossen waren (vgl. Abbildung 80). Die Zugänglichkeit zu den Sammelleitungen wurde durch Schächte gewährleistet.



Abbildung 80: Leitungsende im Hochpunkt der Leitung (links)  
Sammelleitung mit Hausanschlüssen (rechts)

In jeder Tiefenlage waren für den Warentest insgesamt fünf Versuchsleitungen mit unterschiedlichen Hausanschlusslinern saniert worden. Somit verblieb eine Versuchsleitung in jeder Tiefenlage unsaniert.

Nach Durchlaufen eines umfangreichen Prüfprogramms wurden die Hausanschlussliner abschließend auf ihre Beständigkeit und insbesondere Dichtheit gegenüber anstehendem Grundwasser untersucht. Dafür wurde der Versuchsstand stufenweise bis fast zur Geländeoberkante mit Wasser gefüllt. Der entstehende Außenwasserdruck führte in den beschädigten und teilweise auch in den sanierten Versuchsleitungen zu Wasserinfiltration, so dass an diesem Punkt mit den Messungen begonnen werden konnte. Die hierfür eingesetzte Messtechnik bestand aus einem Muffenprüfgerät, in das ein magnetisch induktives Durchflussmessgerät (MID) eingebaut worden war. Detaillierte Informationen zu dem Durchflussmessgerät können Abschnitt 7.2.1 entnommen werden. In Abschnitt 7.2.2 sind die Infiltrationsmessungen an den Versuchsleitungen inklusive der Ergebnisse dargestellt.

Vorab gibt Tabelle 36 einen Überblick über die einzelnen Versuche des Untersuchungsprogramms.

Tabelle 36 Übersicht zum Untersuchungsprogramm

<b>Untersuchungsprogramm</b>
<b>Kalibrierung der Durchflussmesseinrichtung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überprüfung der Messgenauigkeit (Testeinbau in PVC-Rohr DN 300 mit Stutzen)</li> <li>• Untersuchungen zur Oberflächenbenetzung (Nullversuche an sanierten Hausanschlussleitungen im GVS)</li> </ul>
<b>Infiltrationsmessungen an Versuchsleitungen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infiltrationsmessungen an beschädigten, nicht sanierten HAL:               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. gesamte Haltung (Standardsituation)</li> <li>2. gesamte Haltung (Extremsituation)</li> <li>3. bereichsweise abgesperrte Haltung (Extremsituation)</li> </ol> </li> <li>• Infiltrationsmessungen an sanierten HAL (undichte Schlauchlinersysteme)</li> </ul>

## 7.2.2 Kalibrierung der Durchflussmesseinrichtung

In einem ersten Schritt war es erforderlich, nähere Erkenntnisse über die Zuverlässigkeit der eingesetzten Messtechnik zu gewinnen. Von besonderem Interesse war in diesem Zusammenhang die Messgenauigkeit. Darüber hinaus sollten vorab mögliche Fehlerquellen bei der Messung sowie ggf. Einsatzgrenzen für das Gerät herausgestellt werden.

In den folgenden Unterabschnitt wird unter 7.2.2.1 zunächst das Funktionsprinzip der Messeinrichtung erläutert. Darauf werden in Abschnitt 7.2.2.2 die für die Überprüfung der Messgenauigkeit gewählte Versuchsanordnung sowie die erzielten Ergebnisse dargestellt.

In Abschnitt 7.2.2.3 werden die messtechnischen Grenzen zusammengefasst, die aus den Ergebnissen des Untersuchungsprogramms abgeleitet werden konnten.

### 7.2.2.1 Funktionsprinzip

Das für die Messarbeiten eingesetzte Messgerät wurde von der Firma Kanalcontrol GmbH zur Verfügung gestellt. In Abbildung 81 werden zunächst Bilder des Messgeräts gezeigt.



Abbildung 81: Durchflussmessgerät (links); Detailansicht des eingebauten MID (mitig); Auslass aus der Prüfkammer (rechts)

Konstruktionsbedingt können mit der mobilen Durchflussmeseinrichtung Sammelleitungen der Nennweite DN 300 bereichsweise abgesperrt und die dort anfallenden Infiltrationsmengen nach Möglichkeit erfasst werden. Mögliche Einschränkungen, die für den Einsatz bestehen, sind Abschnitt 7.2.2.3 zu entnehmen.

Als wesentliche Einsatzbereiche sind neben der Prüfung einzelner Rohrverbindungen außerdem Messungen im Bereich von Stutzen zu nennen (Abbildung 82). Auf diese Weise kann u. a. die Fremdwassermenge bestimmt werden, die in das zugehörige Grundstücksentwässerungsnetz infiltrierte. Während der Messungen ist dabei die Außerbetriebnahme des zugehörigen Netzes zu prüfen. Neben Infiltrationsmengen können, sofern vorhanden, ebenfalls Informationen über Exfiltrationsmengen gewonnen werden.

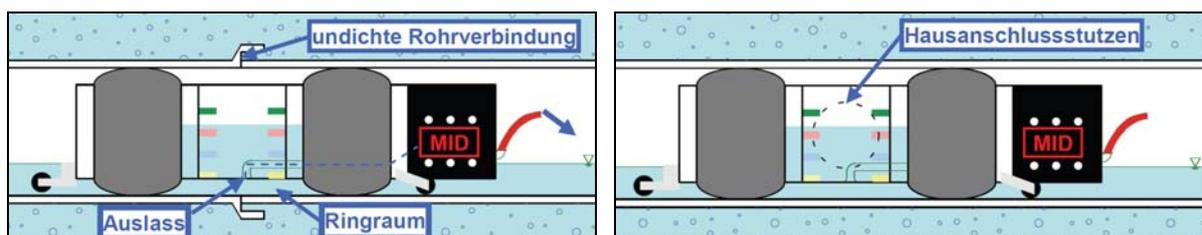


Abbildung 82: Skizze zur Positionierung des Messgerätes im Bereich einer Muffe (links) und eines Stutzens (rechts)

Zu Beginn wird das Messgerät unter Kamerabeobachtung so an der Messstelle positioniert, dass der zu prüfende Kanalabschnitt (Rohrverbindung, Stutzen, Undichtigkeit) sich innerhalb der Prüfkammer zwischen den Absperrelementen befindet. Das Messgerät sollte dabei möglichst gerade ausgerichtet sein (Auslass aus der Prüfkammer in der Sohle), um Messungenauigkeiten zu vermeiden. Zudem muss sichergestellt werden, dass sich keine Fremdkörper oder Unebenheiten in dem Leitungsabschnitt befinden, die das Gummi der Absperrelemente beschädigen oder die vollständige Abdichtung des Prüfbereiches verhindern können.

Befindet sich das Messgerät in der korrekten Position, werden die beiden Absperr-elemente durch Umlegen des entsprechenden Drehknopfes auf dem Bedienpult (Abbildung 83) expandiert und danach das Messventil geöffnet.



Abbildung 83: Bedienpult Messtechnik (links); Benutzeroberfläche der Software (rechts)

Die Prüfkammer wird daraufhin kontinuierlich mit infiltrierendem Wasser gefüllt. Sobald sich innerhalb der Prüfkammer ein definierter Wasserstand eingestellt hat, beginnt Wasser über den Auslass aus der Prüfkammer herauszuströmen. Bei dieser Passage wird auch das MID durchflossen und die Messung somit gestartet. Durch Kopplung des Messgerätes an einen PC besteht über eine entsprechende Software die Möglichkeit, Messdaten aufzuzeichnen und zu speichern (Abbildung 83).

Geringe Durchflussmengen (so genannte Schleichmengen), die sich in einem engen Rahmen um Null herum ergeben können und unterhalb der Messgenauigkeit des Gerätes liegen, würden durch die Messtechnik grundsätzlich mit aufgezeichnet werden und im Ergebnis zu weiteren Messungenauigkeiten führen. Aus diesem Grund wurde die Schleichmengenerkennung am Messgerät ausgeschaltet und im Messprogramm eine Schleichmengenunterdrückung realisiert, die die Aufzeichnung derart geringer Durchflusswerte verhinderte. Es wurden definierte Grenzen eingegeben, unterhalb derer die Werte nicht erfasst wurden.

Bei geringen Infiltrationsmengen besteht die Möglichkeit, dass die Befüllung der Prüfkammer bis zum Start der Messung verhältnismäßig langsam verläuft. In diesem Fall bietet es sich beispielsweise bei der Positionierung an einem Stutzen an, über die zugehörige Revisionsöffnung zusätzliches Wasser zuzuführen und den Vorgang somit zu beschleunigen.

### 7.2.2.2 Messgenauigkeit

Zur Überprüfung der Messgenauigkeit wurde die mobile Durchflussmesseinrichtung zunächst in ein kurzes PVC-Rohr DN 300 mit seitlichem Zulauf im Scheitel eingebaut (Abbildung 84). Das Gerät wurde so positioniert, dass sich der seitliche Zulauf unmittelbar im Bereich der Prüfkammer befand.



Abbildung 84: Versuchsaufbau zur Überprüfung der Messgenauigkeit

Über den seitlichen Zulauf wurde anschließend die Prüfkammer des Messgerätes so weit mit Wasser befüllt, bis der für eine Messung erforderliche Wasserstand erreicht war. Dabei wurde sichergestellt, dass die Absperrblasen des Muffenprüfgerätes den Prüfbereich vollständig abdichten. Daraufhin wurden mehrfach definierte Wassermengen über den seitlichen Zulauf in die Messeinrichtung eingefüllt, die beim Herausströmen aus der Prüfkammer durch das MID erfasst und in einem Behälter aufgefangen wurden. Die im Behälter befindliche Wassermenge wurde nach jeder Messung gewogen, so dass im Ergebnis auch das dazugehörige Wasservolumen vorlag ( $\rho_{\text{Wasser}} = 1 \text{ g/cm}^3$ ). In Abbildung 85 ist der Messablauf schematisch dargestellt.



Abbildung 85: Messschema zur Überprüfung der Messgenauigkeit

Der Vergleich zwischen den Messwerten und den in den Behälter abgeleiteten Wassermengen sollte Aufschluss über die Messgenauigkeit des MID geben. Unter der Voraussetzung, dass sämtliches Wasser ausschließlich über den Auslass aus der Prüfkammer herausgelangen kann, war im Ergebnis zu erwarten, dass bei hoher Messgenauigkeit keine bzw. geringe Differenzen zwischen gemessenem Durchfluss und in den Behälter abgeleitetem Durchfluss auftreten. Das Auffangen der Durch-

flussmengen war konstruktionsbedingt am ursprünglichen Auslass des Gerätes mit Schwierigkeiten verbunden, so dass dort im Verlauf der Versuche zur einfacheren Handhabung ein Stück Gummischlauch montiert wurde.

Neben dem geschilderten Versuch wurde das Durchflussmessgerät außerdem in sanierten Versuchsleitungen des Großversuchsstandes eingesetzt. Dabei konnten weitere Werte für die Bestimmung der Messgenauigkeit gewonnen werden. In Tabelle 37 sind die Messergebnisse aus allen drei beschriebenen Versuchsanordnungen zusammengestellt.

Tabelle 37: Messwerte zur Bestimmung der Messgenauigkeit

Durchfluss gemessen [l]	Durchfluss abgeleitet [l]	Differenz	
		[l]	[%]
<b>Messungen in PVC-Rohr (ursprünglicher Auslass)</b>			
2,609	2,616	-0,007	-0,27
2,641	2,649	-0,008	-0,30
2,833	2,739	0,094	3,32
<b>Messungen in PVC-Rohr (modifizierter Auslass mit Gummischlauch)</b>			
1,284	1,285	-0,001	-0,08
2,477	2,473	0,004	0,16
2,517	2,506	0,011	0,44
2,521	2,517	0,004	0,16
2,690	2,685	0,005	0,19
2,685	2,679	0,006	0,22
2,841	2,832	0,009	0,32
<b>Messungen in Versuchsleitungen des Warentests</b>			
7,351	7,422	-0,071	-0,96
7,402	7,425	-0,023	-0,31
7,722	7,795	-0,073	-0,94
7,739	7,759	-0,020	-0,26
7,780	7,865	-0,085	-1,08
7,809	7,881	-0,072	-0,91
7,999	8,011	-0,012	-0,15
8,060	8,144	-0,084	-1,03
8,137	8,196	-0,059	-0,72
8,204	8,279	-0,075	-0,91

Zunächst muss festgehalten werden, dass die Durchflussmesswerte bei den Messungen im PVC-Rohr mit Werten bis maximal ca. 2,8 l sichtbar geringer waren als die Werte aus den Messungen an den Versuchsleitungen (bis ca. 8,2 l). Die Begründung für diesen Sachverhalt liegt darin, dass die Wasserzugabemengen für die Messungen im PVC-Rohr ebenfalls geringer gewählt wurden.

Betrachtet man zunächst die Messergebnisse aus den Versuchen im PVC-Rohr und hier insbesondere die prozentualen Abweichungen zwischen Messwert und aufgefangenem Durchfluss, wird deutlich, dass die Messgenauigkeit offensichtlich durchaus akzeptabel ist. Abgesehen von einer Ausnahme<sup>1</sup> wurden Abweichungen bis maximal ca. 0,4 % festgestellt. Weiterhin ist kein Unterschied zwischen der Messgenauigkeit mit ursprünglichem und modifiziertem Auslass erkennbar. Daraus kann geschlossen werden, dass durch die Modifikation des Auslasses kein nennenswerter Einfluss auf die Messgenauigkeit entsteht.

Die Abweichungen bei den Messungen an den Versuchsleitungen waren im Vergleich mit Werten bis ca. 1,08 % zwar etwas größer, weisen aber dennoch auf eine ausreichend hohe Genauigkeit hin.

Zusammenfassend kann auf Basis der Ergebnisse festgehalten werden, dass die Messgenauigkeit der gewählten Messeinrichtung mit Abweichungen bis max. 1,08 % für den vorliegenden Anwendungsfall als geeignet bewertet werden kann und keinen erkennbaren Schwankungen unterliegt. Die nachträgliche Montage des Gummischlauches führte überdies zu keinen sichtbaren Einschränkungen bei der Messgenauigkeit, so dass auch für das weitere Messprogramm die Messeinrichtung in dieser Form verwendet werden konnte.

### 7.2.2.3 Messtechnische Grenzen

Im Verlauf des dargestellten Messprogramms konnten bereits wichtige Erkenntnisse über die Handhabung der eingesetzten Messeinrichtung gewonnen werden. Dabei wurde deutlich, in welchen Situationen der Einsatz der Messeinrichtung problematisch bzw. nicht sinnvoll ist. Nachfolgend sind die unterschiedlichen Grenzfälle detailliert dargestellt.

#### Fall 1: In- und Exfiltration unterhalb des Wasserstands in der Prüfkammer I

In Abbildung 86 ist schematisch die Infiltrationsmessung an einer einzelnen Rohrverbindung dargestellt. Wie der Abbildung entnommen werden kann, hat sich innerhalb der Prüfkammer ein Wasserstand  $h$  eingestellt. Befinden sich Leckagen unterhalb dieses Wasserstandes  $h$ , hat dies zur Folge, dass die Infiltrationsmenge an diesen Leckagen gegenüber der üblichen Abflusssituation mit niedrigerer Freispiegelhöhe vermindert ist. Dieser Sachverhalt ist darauf begründet, dass sich neben dem Au-

<sup>1</sup> Durchfluss konnte möglicherweise nicht vollständig in den Behälter abgeleitet werden.



Aus dem dargestellten Sachverhalt kann somit abgeleitet werden, dass Messsituationen wie in Abbildung 87 in einigen Fällen nicht zu richtigen Messergebnissen führen. Tatsächlich zuverlässig können die Ergebnisse nur sein, wenn sich im Bereich des aufgestauten Wassers keine Undichtigkeiten befinden.

Auch bei Exfiltrationsmessungen (ohne anstehendes Grundwasser) werden bei einem Anschluss der Leitung im Kämpferbereich und flacher Leitungsverlegung die Muffen und der Hausanschluss-Stutzen durch einen geringen Wasserdruck beansprucht. Hierdurch kann sich ein verstärktes Exfiltrationsverhalten durch Undichtigkeiten einstellen. Solche Exfiltrationen hingegen können mit der eingesetzten Messtechnik auch optisch erkannt werden. Deswegen wird geraten, den Prüfraum mit Wasser zu füllen und das Druckluftventil vorerst zu schließen, damit die Exfiltrationen aufgrund eines sichtbaren Absinkens des Wasserspiegels erkannt werden können. Gleiches gilt bei der Prüfung einer einzelnen Muffe (vgl. Abbildung 86).

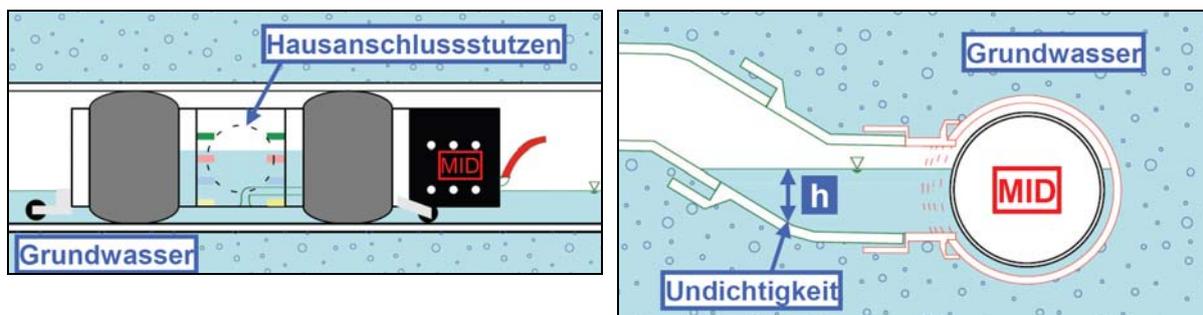


Abbildung 87: Grenzfallsituation bei Messung an einem Stutzen  
(links: Seitenansicht; rechts: Schnitt)

### Fall 3: Kritische Wassertiefe in der Sammelleitung (Auslass unter Wasser)

Eine weitere kritische Situation, die bei Messungen auftreten kann, ist Abbildung 88 zu entnehmen. Wie aus der Abbildung hervorgeht, befindet sich die Sammelleitung während der Messung in Betrieb. Dieser Sachverhalt stellt aufgrund des durchgehenden Hohlraums im Messgerät nicht grundsätzlich ein Problem dar, solange der Wasserauslass des Messgerätes sich oberhalb der Wasseroberfläche befindet.

Problematisch ist jedoch, dass sich der Wasserauslass der Messeinrichtung im vorliegenden Fall in einem Abstand  $h$  unterhalb der Wasseroberfläche befindet. Somit wirkt an diesem Auslass ein Wasserdruck von  $\rho \cdot g \cdot h$ , der zur Folge hat, dass das Wasser in der Prüfkammer nur noch mit verringertem Druck aus dem Messgerät herausströmen kann. Im Ergebnis werden somit ebenfalls geringere Durchflussmengen durch das MID erfasst, die nicht mehr den tatsächlichen Infiltrationsmengen entsprechen.

Auch wenn in den meisten Fällen nicht mit derartigen Wassertiefen in der Sammelleitung zu rechnen ist, empfiehlt es sich deshalb, während der Messungen den Abwas-

serabfluss in der Sammelleitung nicht völlig außer Acht zu lassen. Für den Fall, dass in der Sammelleitung eine kritische Wassertiefe vorliegt, ist die Außerbetriebnahme während der Messarbeiten erforderlich.

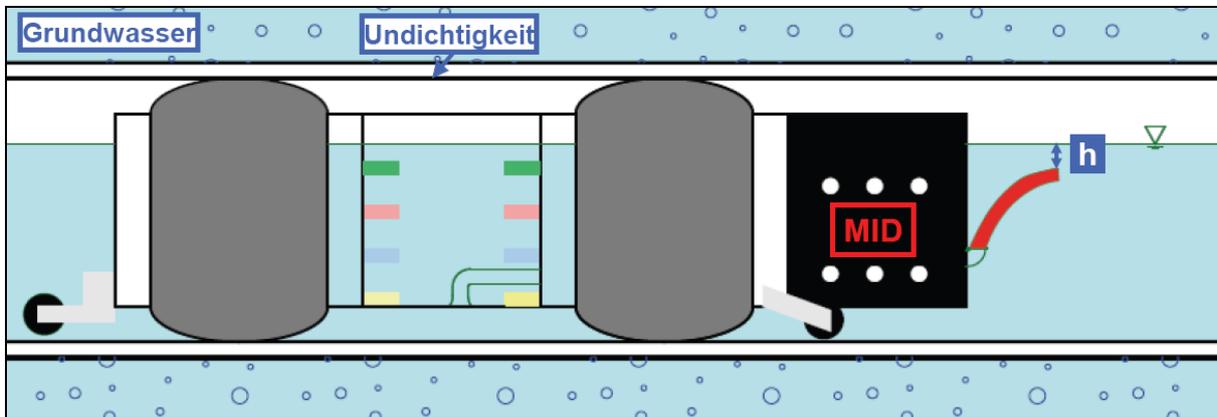


Abbildung 88: Kritische Wassertiefe in der Sammelleitung

#### Fall 4: Abdichten der Prüfkammer auf unebener Rohroberfläche

In Einzelfällen können die Rohrbereiche, in denen das Messgerät positioniert werden muss, durch sehr unebene Rohroberflächen gekennzeichnet sein. Dabei können Schwierigkeiten auftreten, die Prüfkammer anhand der beiden Absperrblasen erfolgreich abzudichten. Die Abdichtung ist aber erforderlich, da andernfalls Wassermengen aus der Prüfkammer entweichen können, ohne durch das MID gemessen zu werden. Dies hätte falsche Messwerte zur Folge.

In einem solchen Fall muss die Position des Messgerätes korrigiert werden, bis eine hinreichende Abdichtung vorhanden ist. Zur Überprüfung kann eine Sichtkontrolle auf austretendes Wasser zwischen Absperrblasen und Rohrwand durchgeführt werden. In Einzelfällen besteht die Möglichkeit, dass an der Messstelle keine Position gefunden wird, in der die Absperrblasen abdichten und somit eine Messung nicht realisiert werden kann.

Zu empfehlen wäre an dieser Stelle, zukünftig für die Abdichtelemente möglicherweise ein elastischeres Gummi zu verwenden, das sich besser an Unebenheiten anpasst.

### **7.2.3 Infiltrationsmessungen an Versuchsleitungen**

Grundsätzlich muss zunächst gemäß Versuchsaufbau unterschieden werden zwischen Versuchsleitungen in der so genannten „Standard- und Extremsituation“. Die Einbausituationen variierten, so dass die Versuchsleitungen jeweils in drei Tiefenlagen in der Standard- und der Extremsituation vorlagen.

Die beiden Testsituationen unterschieden sich im Wesentlichen in den eingebrachten Schadensbildern. Darüber hinaus wurden in Teilbereichen der Rohrwerkstoff und

damit ebenfalls die Rohrdimension sowie Dimensionswechsel variiert. Zudem wurden die Anschlüsse an die Sammelleitung unterschiedlich hergestellt:

„Standardsituation“: Anschlussstutzen im Rohrscheitel des Hauptkanals,

„Extremsituation“: Anschlussstutzen im Rohrkämpfer des Hauptkanals.

Alle Versuchsleitungen wurden vor der Sanierung in Teilbereichen außerdem mit Fett eingestrichen, um Ablagerungen nachzubilden.

Die Simulation von Grundwasser bewirkte, dass zum einen an den Schadensbildern innerhalb der unsanierten Versuchsleitungen und zum anderen an undichten Bereichen der eingebauten Schlauchliner unterschiedliche Wassermengen in die Leitungen infiltrierten.

Im Folgenden werden die Infiltrationsversuche geschildert, die sowohl an den sanierten als auch an den unsanierten Versuchsleitungen vorgenommen wurden. Bei den Versuchen an den unsanierten Leitungen wurden zum einen die Infiltrationsmengen auf gesamter Länge der Leitung erfasst, zum anderen wurde in einem Fall die Leitung mittels Dichtblase abschnittsweise für die Messung abgesperrt.

### 7.2.3.1 Infiltration in unsanierte Versuchsleitungen

Die Infiltrationsmessungen konnten an insgesamt zwei verschiedenen Versuchsleitungen (je einmal Standard- und Extremsituation) vorgenommen werden. Das Messgerät wurde für die Messungen gemäß Abschnitt 7.2.2.1 in der Sammelleitung vor dem zugehörigen Stutzen platziert. In Abbildung 89 ist der Messablauf schematisch dargestellt.

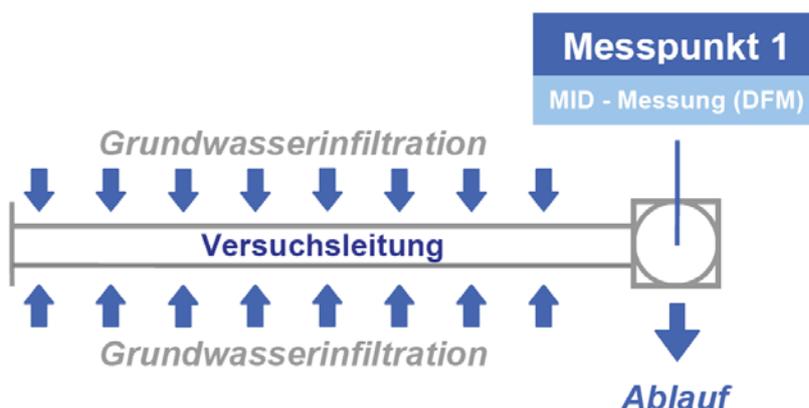


Abbildung 89: Messschema zur Infiltrationsmessung an Versuchsleitungen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Infiltrationsmessungen an den beiden Versuchsleitungen im Detail dargestellt.

### Versuchsleitung Standardsituation (Ebene 2, Leitung A):

Die Infiltrationmessungen an dieser Versuchsleitung wurden zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt. Der Grundwasserstand und somit Außenwasserdruck zu beiden Zeitpunkten wichen voneinander ab.

Während des ersten Messtermins (16. Oktober 2009) befand sich die Versuchsleitung noch nicht vollständig unterhalb des Grundwasserspiegels. Somit infiltrierte nicht über die gesamte Leitungslänge Wasser durch die Schadensbilder.

In Abbildung 90 ist dargestellt, welche Bereiche der Versuchsleitung während der Messungen mit dem Grundwasser in Kontakt traten. Wie der Zeichnung entnommen werden kann, war der Grundwasserspiegel so hoch, dass durch eine undichte Rohrverbindung Grundwasser in die Versuchsleitung infiltrieren konnte.

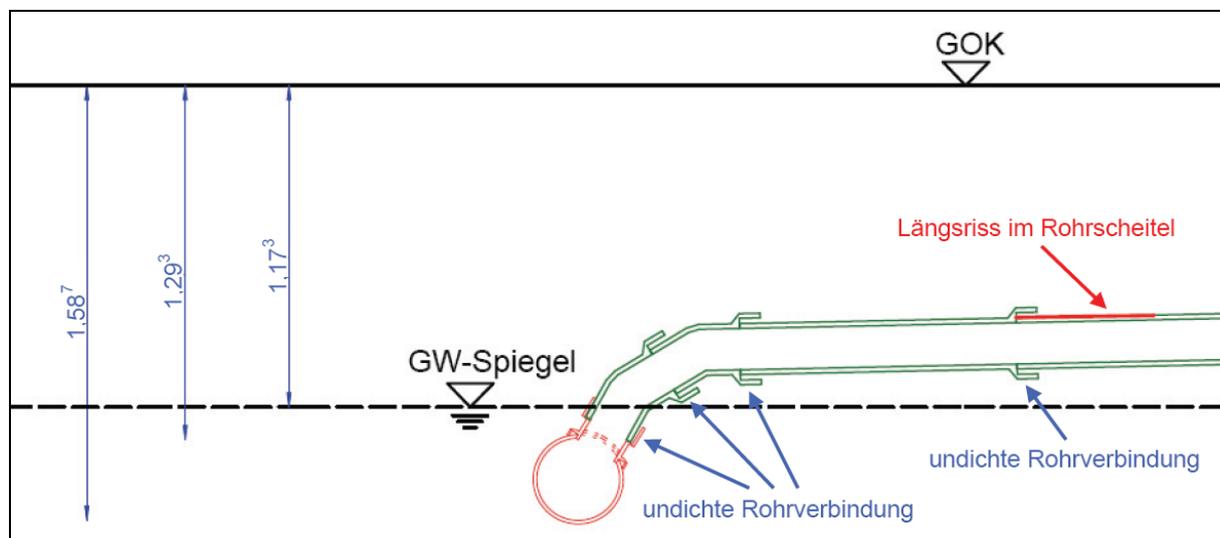


Abbildung 90: Lage des GW-Spiegels in Versuchsleitung F, Ebene 2 am ersten Messtermin (Skizze)

Zum Zeitpunkt der zweiten Messungen (19. Oktober 2009) war der Grundwasserstand im Vergleich bereits deutlich angestiegen. Die Versuchsleitung war nahezu vollständig vom Grundwasser überdeckt, so dass an fast allen Schadensbildern Wasser infiltrieren konnte. Wie in Abbildung 91 dargestellt ist, befand sich die Versuchsleitung lediglich im Bereich der beiden am Hochpunkt der Leitung gelegenen, undichten Rohrverbindungen noch nicht komplett unterhalb des Grundwasserspiegels.

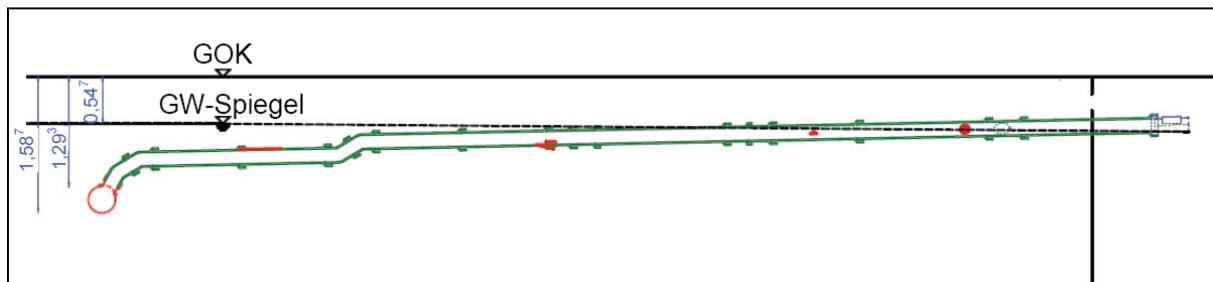


Abbildung 91: Lage des GW-Spiegels in Versuchsleitung F, Ebene 2 am zweiten Messtermin (Skizze)

Das Grundwasser konnte über folgende Schadensbilder infiltrieren:

- 17 undichte Rohrverbindungen
- Längsriss im Rohrscheitel (Länge ca. 50 cm, Breite ca. 2 mm oder cm)
- Scherbenbildung im Sohlbereich (Lage: über Rohrverbindung, dreieckförmig 20 x 20 cm)
- Querriss im Scheitel (Länge ca. 10 cm, Breite ca. 2 cm)
- unsachgemäß hergestellter 2 cm einragender Stutzen
- Scherbenbildung im Kämpfer (Fläche ca. 10 cm<sup>2</sup>)

An den beiden Messterminen wurden jeweils drei bzw. vier Einzelmessungen über einen Zeitraum von jeweils zehn Minuten durchgeführt. In Tabelle 38 sind die Messergebnisse dargestellt.

Tabelle 38: Messdaten von unsanierter Leitung (Standardsituation)

	1. Messung	2. Messung	3. Messung	
Messungen am 16.10.2009				
Außenwasserdruck im Tiefpunkt der Leitung [bar]	0,0120	0,0139	0,0150	
mittlerer Durchfluss [l/s]	0,0041	0,0078	0,0131	
Menge/10 min [l]	2,4446	4,6558	7,8786	
Messungen am 19.10.2009				
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
Außenwasserdruck im Tiefpunkt der Leitung [bar]	0,0746	0,0746	0,0749	0,0749
mittlerer Durchfluss [l/s]	0,2240	0,2266	0,2220	0,2232
Menge/10 min [l]	134,4557	136,0078	133,2410	133,9620

Wie der Tabelle entnommen werden kann, hatte bei den Messungen am 16. Oktober der Anstieg des Grundwasserspiegels um lediglich 3 cm eine Verdreifachung der Infiltrationsmenge pro 10 Minuten von fast 2,5 l auf 7,9 l zur Folge. Daraus ergeben sich bei Hochrechnung auf einen Tag Werte zwischen ca. 360 und 1138 l (ausgehend von 135 l Wasserverbrauch pro Einwohner und Tag entsprechen die Werte etwa 2,7 bis 8,5 Einwohnern).

Bei den Messungen am 19. Oktober waren die Infiltrationsmengen mit Werten zwischen ca. 134,5 und 133,24 l (19,2 bis 19,4 m<sup>3</sup> täglich, 142,2 bis 143,5 Einwohnerwerte) entsprechend höher, denn der Grundwasserstand war im Vergleich zu den Messungen am 16. Oktober sichtbar angestiegen.

#### Versuchsleitung Extremsituation (Ebene 6, Leitung C):

Die Versuchsleitung war zum Zeitpunkt der Messungen komplett mit Grundwasser überdeckt (Abbildung 92). Eine TV-Inspektion vor Beginn der Messungen zeigte, dass die Versuchsleitung darüber hinaus aufgrund der großen Infiltrationsmengen und möglichen Rückstaus am Messgerät komplett mit Wasser gefüllt war.

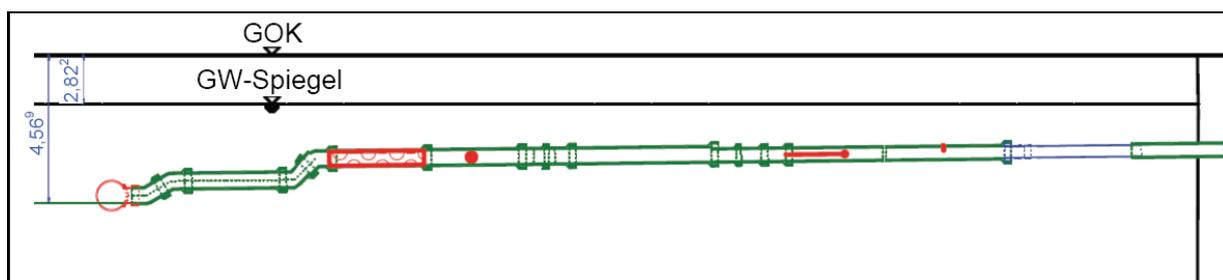


Abbildung 92: Lage des GW-Spiegels in Versuchsleitung C, Ebene 6 (Skizze)

Das Grundwasser konnte über folgende Schadensbilder infiltrieren:

- 17 undichte Rohrverbindungen
- Querriss im Scheitel (Länge ca. 10 cm, Breite ca. 2 cm)
- Längsriss im Rohrkämpfer (Länge ca. 50 cm, Breite ca. 2 cm)
- Fehlstelle im Kämpfer (Durchmesser ca. 10 cm)
- Fehlstelle im Kämpfer (Durchmesser ca. 10 cm)

Insgesamt wurden an der Versuchsleitung drei Einzelmessungen über einen Zeitraum von jeweils zehn Minuten durchgeführt. In Tabelle 39 sind die Messergebnisse dargestellt.

Tabelle 39: Messdaten von unsanierter Leitung (Extremsituation)

	1. Messung	2. Messung	3. Messung
Außenwasserdruck im Tiefpunkt der Leitung [bar]	0,1747	0,1721	0,1697
mittlerer Durchfluss [l/s]	0,3863	0,3822	0,3787
Menge/10 min [l]	231,8979	229,3860	227,3133

Im Verlauf der Messungen ist der Grundwasserspiegel und somit der Außenwasserdruck auf die Versuchsleitung um ca. 5 cm gesunken. Dieser Sachverhalt spiegelt sich auch in den Einzelwerten für den mittleren Durchfluss wider, denn hier ist ebenfalls eine Abminderung zwischen erster und dritter Messung von 0,386 auf 0,379 l/s zu erkennen. Die verringerten Durchflusswerte führten im Ergebnis auch zu einer Verringerung der Wassermengen von ca. 232 l auf 227 l, hier wurden bei der dritten Messung in der Konsequenz mehr als 4 l weniger gemessen. Die Hochrechnung auf 24 Stunden ergibt Wassermengen zwischen ca. 32,7 und 33,4 m<sup>3</sup> (242,5 bzw. 247,4 EW).

In Abbildung 93 ist das Verhältnis zwischen Außenwasserdruck und Durchfluss graphisch dargestellt. Der Graph erscheint nahezu linear, daraus kann entnommen werden, dass sich in diesem Fall der Durchfluss im Messbereich nahezu erwartungsgemäß proportional zum Außenwasserdruck verhielt.

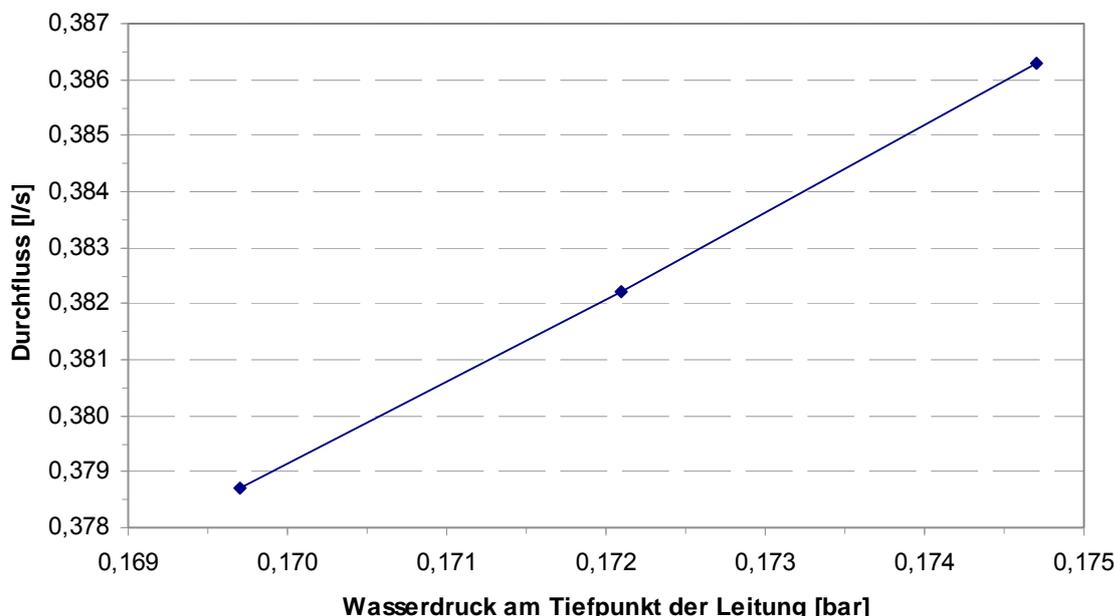


Abbildung 93: Verhältnis zwischen Außenwasserdruck und Durchfluss (Versuchsleitung in der Extremsituation)

Abschnittsweise Messung an Versuchsleitung C, Ebene 6 (Extremsituation):

Für die abschnittweisen Infiltrationsmessungen wurde eine Absperrblase in die Versuchsleitung eingebracht und dort vor den letzten drei undichten Rohrverbindungen im Tiefpunkt der Leitung positioniert. Dies hatte zur Folge, dass nur noch Wasser, das durch diese drei Rohrverbindungen in die Leitung infiltrierte, Richtung Sammelleitung und somit auch Durchflussmesseinrichtung floss. Die Situation bei den Infiltrationsmessungen ist in Abbildung 94 näher dargestellt.

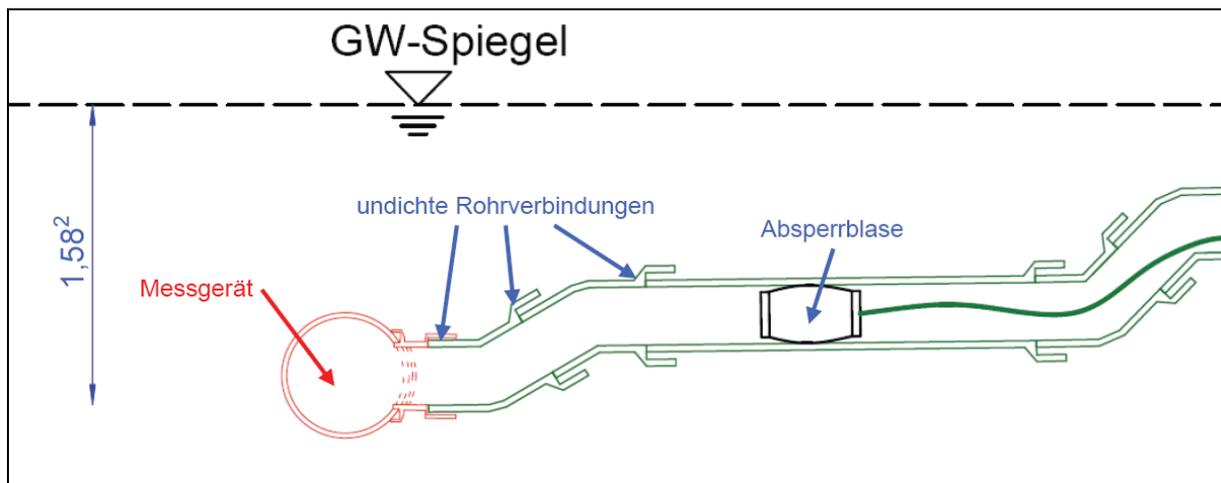


Abbildung 94: Abschnittsweise Infiltrationsmessung (Skizze)

Bei dieser Versuchsanordnung wurden an zwei Messterminen insgesamt neun Einzelmessungen über je zehn Minuten durchgeführt. Der Grundwasserstand variierte dabei um ca. 50 cm. Die Messergebnisse sind in Tabelle 40 zusammengefasst.

Tabelle 40: Messdaten zu abschnittsweise abgesperrter Versuchsleitung

Messungen am 22. Oktober 2009			
	1. Messung	2. Messung	3. Messung
Außenwasserdruck im Tiefpunkt der Leitung [bar]	0,1582	unbekannt	unbekannt
mittlerer Durchfluss [l/s]	0,1018	0,0994	0,0985
Menge/10 min [l]	61,0857	59,6882	59,0964
Messungen am 23. Oktober 2009			
	4. Messung	5. Messung	6. Messung
Außenwasserdruck im Tiefpunkt der Leitung [bar]	0,1552	0,1514	0,1427
mittlerer Durchfluss [l/s]	0,0723	0,0700	0,0645
Menge/10 min [l]	43,3971	41,9881	38,7346
Messungen am 23. Oktober 2009			
	7. Messung	8. Messung	9. Messung
Außenwasserdruck im Tiefpunkt der Leitung [bar]	0,1219	0,1154	0,1069
mittlerer Durchfluss [l/s]	0,0471	0,0437	0,0363
Menge/10 min [l]	28,2428	26,2289	21,8146

Wie der Tabelle entnommen werden kann, variierte die Gesamtwassermenge innerhalb des Messintervalls von zehn Minuten zwischen ca. 61 und 21,8 l. Der Grundwasserstand nahm dabei um ca. 51 cm ab. Bei der Hochrechnung auf 24 Stunden ergeben sich für den vorliegenden Fall Infiltrationsmengen zwischen ca. 8,78 und 3,14 m<sup>3</sup>. Ausgehend von einem täglichen Wasserverbrauch von 135 l pro Einwohner entsprechen die Infiltrationsmengen etwa 65 bzw. 23 Einwohnerwerten.

In der nachfolgend dargestellten Abbildung 95 ist das Verhältnis zwischen bestehendem Außenwasserdruck und jeweiligem mittlerem Durchfluss bei den einzelnen Infiltrationsmessungen dargestellt. Da die Untersuchungen an zwei unterschiedlichen Tagen durchgeführt wurden, sind in dem Diagramm zwei Reihen dargestellt.

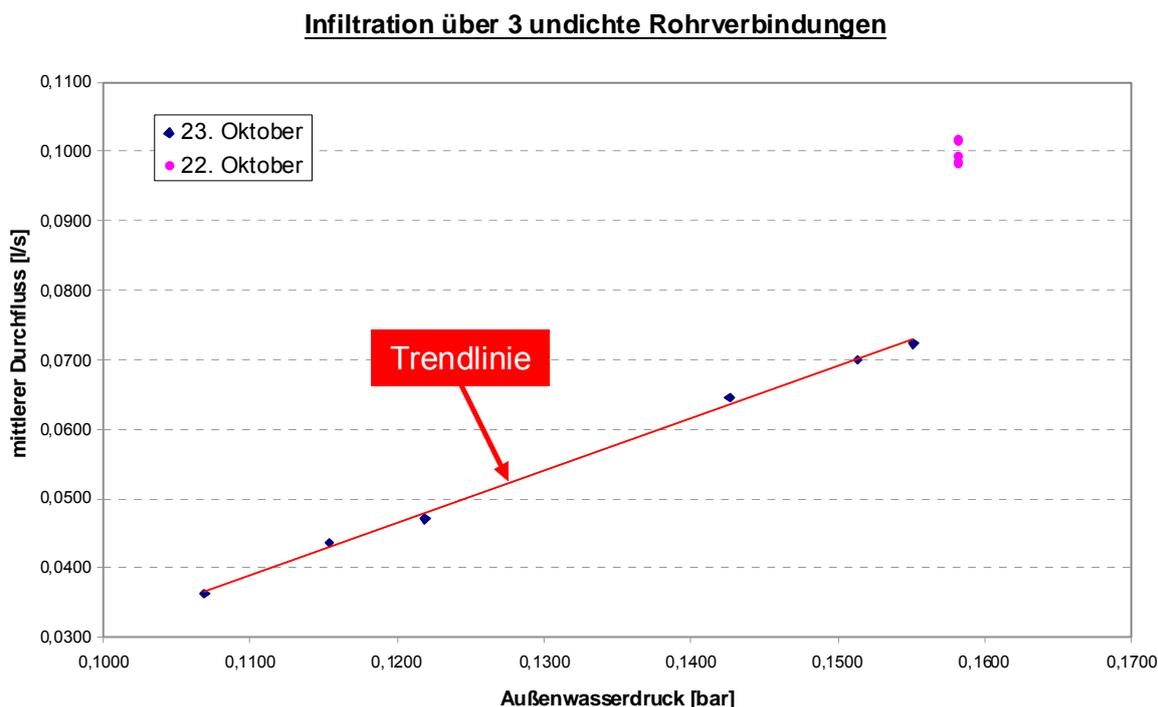


Abbildung 95: Verhältnis zwischen Außenwasserdruck und Durchfluss (abschnittsweise abgesperrte Versuchsleitung)

Bei den Untersuchungen vom 22. Oktober 2009 wurde der Grundwasserstand nur einmalig zu Beginn der ersten Messung erfasst, da davon ausgegangen worden war, dass er sich während der Messungen nicht verändert (es wurde währenddessen kein weiteres Wasser in den Großversuchsstand eingelassen). Die anschließende Auswertung der Messdaten zeigte jedoch, dass der über 10 Minuten ermittelte, mittlere Durchfluss zwischen Messung 1 und 3 leicht abnahm. Hier liegt die Vermutung nahe, dass der Grundwasserspiegel während der Messungen leicht abgefallen ist und dadurch geringere Wassermengen infiltrierten. Aus diesem Grund stellt das Diagramm für denselben Außenwasserdruck drei Durchflusswerte dar, die leicht voneinander abweichen.

Bei den Infiltrationsmessungen am 23. Oktober 2009 wurde eine andere Vorgehensweise gewählt, erfasst wurde hier zu Beginn jeder neuen Infiltrationsmessung auch jedesmal der aktuelle Grundwasserstand. Das Verhältnis zwischen Außenwasserdruck und Durchfluss verhielt sich bei den insgesamt sechs Messungen annähernd linear, denn alle Messpunkte befinden sich dicht an der eingezeichneten Trendlinie.

Der Vergleich der beiden Messreihen miteinander zeigt, dass das Verhältnis zwischen Wasserdruck und Durchfluss sich insgesamt deutlich unterscheidet. Die Messwerte vom 22. Oktober 2009 sind damit als unplausibel zu verwerfen. Inwieweit z.B. Umläufigkeiten an der Absperrblase diese scheinbaren zusätzlichen Infiltrationen begründen, konnte im Rahmen der Messung nicht geklärt werden.

### Vergleich zwischen gesamter u. abschnittweise, abgesperrter Versuchsleitung

Bei den abschnittweisen Infiltrationsmessungen wurden die Wassermengen erfasst, die durch drei undichte Rohrverbindungen infiltrierten. Im Vergleich mit der gesamten Versuchsleitung, die neben anderen Schadensbildern alleine 17 undichte Rohrverbindungen hatte, war zu erwarten, dass entsprechend weniger Wasser infiltriert.

Die Betrachtung der Messwerte ohne Berücksichtigung der zusätzlichen Schadensbilder zeigt, dass zwischen der Anzahl der undichten Rohrverbindungen und der entsprechenden Wasserinfiltrationsmenge nicht unbedingt ein linearer Zusammenhang besteht. Beispielsweise für den vorliegenden Fall würde dies nämlich bedeuten, dass im Fall von drei Rohrverbindungen weniger als 3/17 der vorher an der gesamten Leitung erfassten Werte in die Leitung infiltrieren. Wenn über die gesamte Leitung in 10 Minuten in etwa 230 l erfasst wurden, hätten gemäß der Annahme im Anschluss bei der abschnittweisen Messung weniger als ca. 40,6 l Wasser infiltrieren dürfen, tatsächlich gemessen wurden aber über 61 l bei einem zudem um 0,01 bar reduzierten Außenwasserdruck.

Eine mögliche Begründung kann im vorliegenden Fall in der Tatsache angenommen werden, dass die Versuchsleitung bei den Infiltrationsmessungen am gesamten Strang vollständig mit Wasser gefüllt war. Dadurch bestand in der Versuchsleitung ein Wasserinnendruck, der die Infiltrationsmenge an den einzelnen Schadensbildern abminderte.

#### **7.2.3.2 Infiltration über undichte Schlauchlinersysteme**

Die schlauchlinersanierten Versuchsleitungen wurden während des Außenwasserdruckversuchs in regelmäßigen Zeitabständen optisch auf Undichtigkeiten überprüft. Zur Inspektion wurde eine Schiebekamera in die Versuchsleitungen eingelassen und die Schlauchlinersysteme wurden auf Stellen, an denen Wasser durch das Material in die Versuchsleitung infiltriert, untersucht.

Insgesamt wurden im Verlauf der Außenwasserdruckprüfung an neun eingebauten Hausanschlusslinern Undichtigkeiten festgestellt (vgl. Abschnitt 4.1.4.4). Auffallend war in diesem Zusammenhang, dass die Undichtigkeiten bei sämtlichen Hausanschlusslinern bereits durch geringen Außenwasserdruck hervorgerufen wurden. Darüber hinaus traten sie grundsätzlich an Rohrverbindungen auf. Der überwiegende Teil der undichten Systeme war an jeweils einer Stelle undicht, in einem Ausnahmefall waren zwei Stellen betroffen. Im Vorfeld der Außenwasserdruckprüfung waren alle eingebauten Systeme bei Prüfungen mit einem Luftinnendruck von 0,5 bar für dicht befunden worden.

In einem nächsten Schritt war von Interesse, welche Grundwassermengen durch derartige Fehlstellen in die Hausanschlussleitungen gelangen können. Aus diesem Grund wurde die Durchflussmessenrichtung ebenfalls an einigen der betroffenen,

sanierten Versuchsleitungen eingesetzt. Die Höhe des Außenwasserdrucks variierte dabei.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Messungen für jede der untersuchten Versuchsleitungen einzeln dargestellt. Es werden zum einen Angaben über Durchflussmengen und Außenwasserdruck bei der Messung gemacht, zum anderen aber teilweise auch Fotos von den undichten Stellen gezeigt.

#### Ebene 2 (Standardsituation), Versuchsleitung F (20.10.2009):

An dieser Versuchsleitung wurden Undichtigkeiten vermutet, da aus dem zugehörigen Stutzen sichtbar Wasser in die Sammelleitung abfloss. Daraufhin wurde eine TV-Inspektion durchgeführt, bei der zunächst allerdings keine offensichtlich undichte Stelle identifiziert werden konnte. Es fiel jedoch auf, dass sich im unteren Bereich der Versuchsleitung unmittelbar hinter einer dort befindlichen Rohrverbindung Wasser angesammelt hatte. Daraus wurde geschlossen, dass durch die entsprechende Rohrverbindung im Sohlbereich Wasser in die Versuchsleitung infiltrierte.

Im Vorfeld der Infiltrationsmessungen wurde die aktuelle Tiefenlage des Grundwasserspiegels ermittelt. Aus den aufgenommenen Werten konnte bei der späteren Auswertung anhand einer maßstäblichen Zeichnung des Versuchsaufbaus der ungefähre Außenwasserdruck an der undichten Stelle abgeschätzt werden. In Abbildung 96 ist die Lage der undichten Stelle in der Versuchsleitung skizziert.

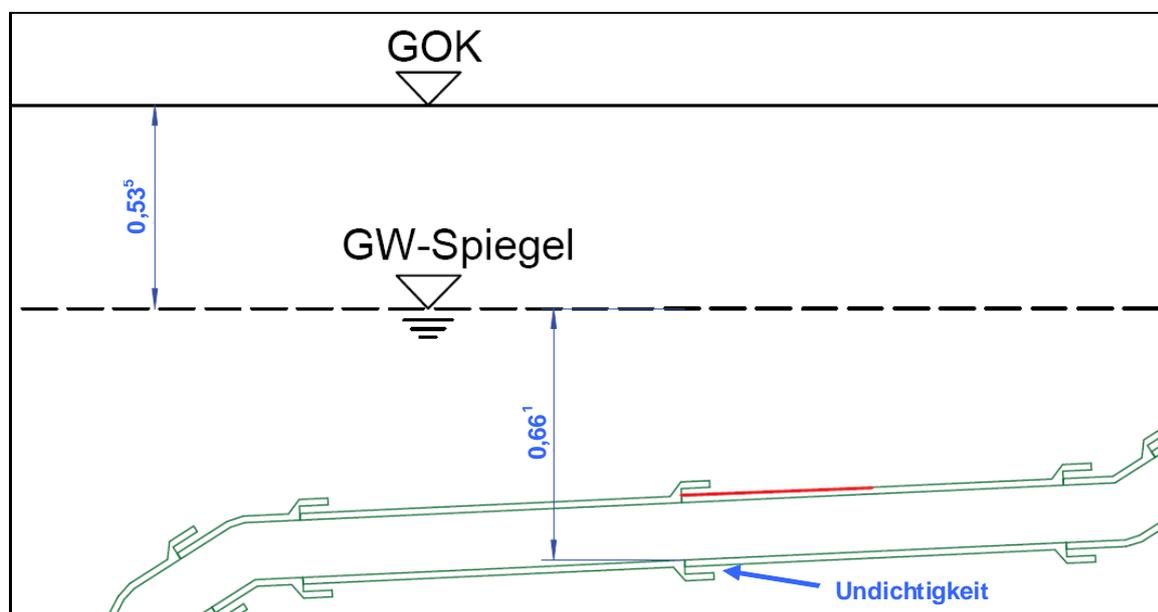


Abbildung 96: Lage der Undichtigkeit in Versuchsleitung F, Ebene 2 (Skizze)

Wie der Abbildung entnommen werden kann, befand sich der Grundwasserspiegel zum Zeitpunkt der Messungen ca. 66 cm über der undichten Stelle. Daraus ergibt sich ein Außenwasserdruck von 0,066 bar.

Im Rahmen der Infiltrationsmessungen wurden an der Versuchsleitung insgesamt drei Messungen über Zeitintervalle von jeweils zehn Minuten durchgeführt. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle 41 zusammengestellt.

Tabelle 41: Messdaten zu Leitung F, Ebene 2 (undichter Hausanschlussliner)

	1. Messung	2. Messung	3. Messung
Außenwasserdruck an der Undichtigkeit [bar]	0,0661	0,0661	0,0661
mittlerer Durchfluss [l/s]	0,0068	0,0072	0,0070
Menge/10 min [l]	4,0811	4,3015	4,2293

Aus der Tabelle geht hervor, dass im Rahmen der drei Einzelmessungen Wassermengen zwischen ca. 4,1 und 4,2 l aufgezeichnet wurden. Bei einer Hochrechnung der Messwerte auf die Dauer eines ganzen Tages ergeben sich annähernd 0,6 m<sup>3</sup>. Dies entspricht in etwa der Abwassermenge, die täglich von vier bis fünf Einwohnern erzeugt wird.

Ebene 3 (Extremsituation), Versuchsleitung A (15.10.2009):

Eine TV-Inspektion in dieser Versuchsleitung zeigte, dass sich die vermutete Undichtigkeit unmittelbar unterhalb der beiden vertikal angeordneten 45° Bögen in der unteren Rohrhälfte der angrenzenden Rohrverbindung befand. Wie Abbildung 97 zeigt, strömte das Wasser an insgesamt zwei Stellen in der Rohrverbindung herein. Zusammen mit dem Wasser wurden auch Bestandteile des umgebenden Erdreichs in die Versuchsleitung eingetragen, denn im Sohlbereich des betreffenden Leitungsabschnitts wurden sichtbare Sandablagerungen vorgefunden. Bei näherer Betrachtung des undichten Schlauchlinerabschnitts wurde vermutet, dass sich an der entsprechenden Stelle ein Riss im Material gebildet hatte (vgl. Abbildung 97).

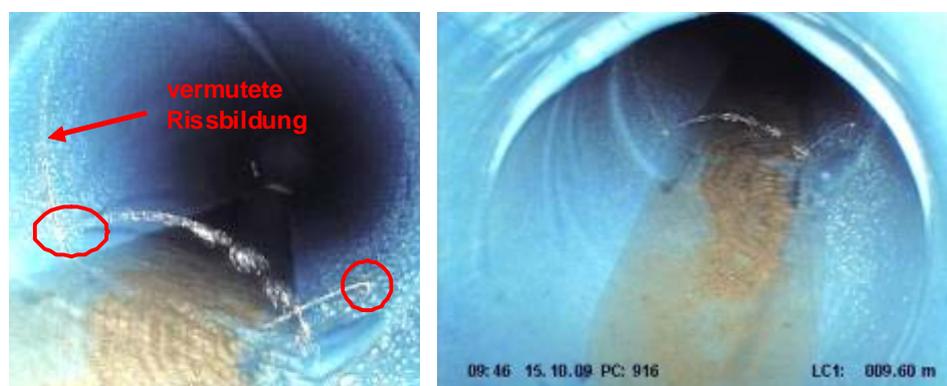


Abbildung 97: Undichtigkeit in Hausanschlussliner (Leitung A, Ebene 3)

Vor Beginn der Infiltrationsmessungen wurde der derzeitige Grundwasserstand ermittelt und mithilfe einer maßstäblichen Zeichnung der ungefähre Außenwasserdruck an der undichten Stelle des Hausanschlussliners abgeschätzt (Abbildung 98).

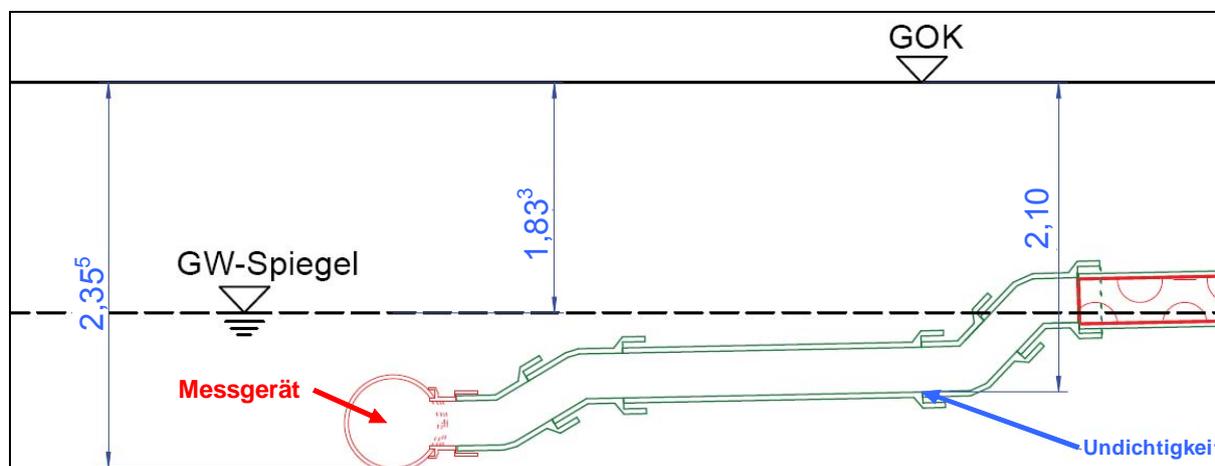


Abbildung 98: Lage der Undichtigkeit in Versuchsleitung A, Ebene 3 (Skizze)

Insgesamt wurden drei Infiltrationsmessungen über einen Zeitraum von je zehn Minuten aufgezeichnet. Da nach der ersten Messung durch das Messgerät geringfügige Unterschiede im Durchfluss angezeigt wurden, wurde der Grundwasserstand jeweils zu Beginn der beiden folgenden Messungen erneut aufgenommen. Tabelle 42 fasst die Ergebnisse der Messarbeiten zusammen.

Tabelle 42: Messdaten zu Leitung A, Ebene 3 (undichter Hausanschlussliner)

	1. Messung	2. Messung	3. Messung
Außenwasserdruck an der Undichtigkeit [bar]	0,0267	0,0305	0,0335
mittlerer Durchfluss [l/s]	0,0196	0,0190	0,0205
Menge/10 min [l]	11,7626	11,4190	12,3120

Aus der Tabelle kann entnommen werden, dass durch die Undichtigkeit innerhalb eines Messzeitraums von jeweils zehn Minuten zwischen knapp 11,5 und etwa 12,3 l Wasser in die sanierte Leitung infiltrierten. Hochgerechnet auf einen gesamten Tag ergeben sich aus diesen Werten Infiltrationsmengen von ca. 1,66 und 1,77 m<sup>3</sup>, dies wiederum entspricht den Abwassermengen, die ca. 12 bis 13 Einwohner täglich verursachen und in die Kanalisation einleiten.

Nach dem späteren Ausbau der Versuchsleitung zeigte sich im Bereich der Undichtigkeit wie vermutet ein deutlicher Riss in Umfangsrichtung, der vor Erzeugen des Grundwasserspiegels noch nicht vorhanden war.

Ebene 4 (Standardsituation), Versuchsleitung B (15.10.2009):

Die Undichtigkeit in dieser Versuchsleitung befand sich in der Sohle einer Rohrverbindung. Beim Einbau in den Versuchsstand war das an diese Rohrverbindung angrenzende Rohr zur Simulation von Fettablagerungen mit Fett eingestrichen worden. Im Vorfeld der Sanierung wurde die gesamte Leitung durch die Ausführenden mittels Hochdruck-Spülung gereinigt.

In Abbildung 99 sind Fotos der undichten Stelle dargestellt, die bei der TV-Inspektion gemacht wurden. Das linke Bild zeigt die Undichtigkeit am Tag der Infiltrationsmessungen, das rechte Bild hingegen wurde vier Tage später erstellt, als der Grundwasserstand fast 1,20 m höher war. Auch an der undichten Stelle dieses Hausanschlussliners wurde eine Rissbildung festgestellt, die sich vermutlich im Zuge der Infiltration noch weiter vergrößerte.

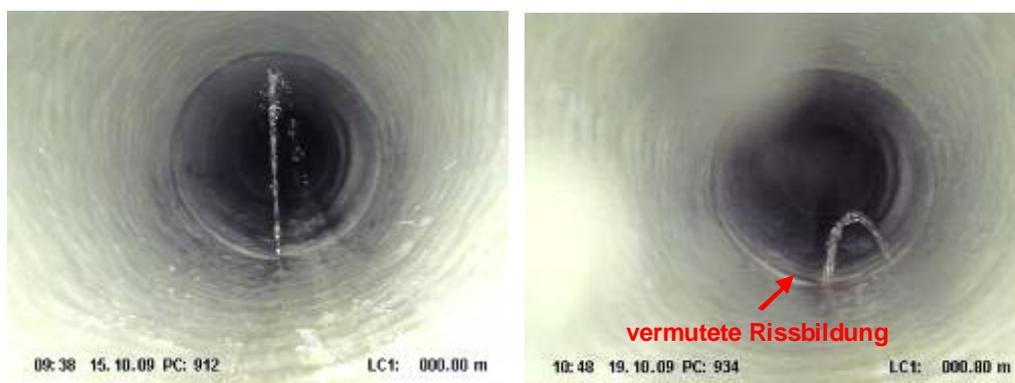


Abbildung 99: Undichtigkeit in Hausanschlussliner (Leitung B, Ebene 4)

Vor Beginn der Infiltrationsmessungen wurde der derzeitige Grundwasserstand ermittelt und mithilfe einer maßstäblichen Zeichnung der ungefähre Außenwasserdruck an der undichten Stelle des Hausanschlussliners abgeschätzt (Abbildung 100).

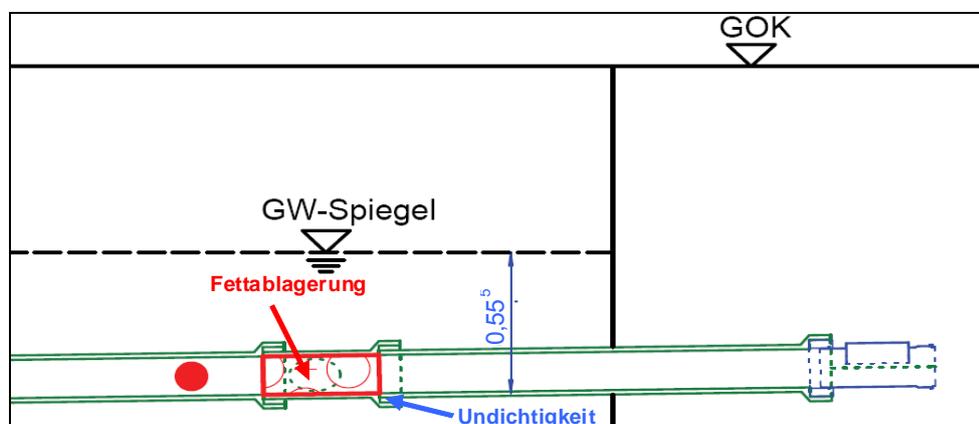


Abbildung 100: Lage der Undichtigkeit in Versuchsleitung B, Ebene 4 (Skizze)

Insgesamt wurden an dieser Versuchsleitung drei Einzelmessungen von je zehn Minuten vorgenommen. In Tabelle 43 sind die Messergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 43: Messdaten zu Leitung B, Ebene 4 (undichter Hausanschlussliner)

	1. Messung	2. Messung	3. Messung
Außenwasserdruck an der Undichtigkeit [bar]	0,0555	0,0555	0,0555
mittlerer Durchfluss [l/s]	0,0058	0,0057	0,0057
Menge/10 min [l]	3,4450	3,4469	3,4420

Die Infiltrationsmengen lagen innerhalb des Messintervalls jeweils bei annähernd 3,5 l (entspricht ca. 0,5 m<sup>3</sup>/d bzw. dem täglichen Wasserverbrauch von vier Einwohnern). Nach Torricelli [47] ergibt sich unter den gegebenen Umständen eine idealisierte kreisförmige Leckagegröße von ca. 1,75 mm<sup>2</sup> Fläche bzw. 1,5 mm Durchmesser nach folgendem Zusammenhang für den Ausfluss aus Öffnungen:

$$Q = A \cdot \alpha \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

mit:  $Q = 0,0058 \text{ l/s}$   
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$   
 $h = 0,55 \text{ m}$   
 $\alpha = 1,00 \text{ (Annahme)}$

$$A \approx 1,75 \text{ mm}^2$$

$$d \approx 1,5 \text{ mm}$$

Nach dem Ausbau der Versuchsleitung und genauerer Inaugenscheinnahme des undichten Schlauchlinerbereiches wurde eine Rissbildung festgestellt, durch die unter Grundwassereinfluss auch die Infiltrationen verursacht wurden. Die Rissbildung war vor Erzeugen des Grundwasserspiegels noch nicht vorhanden und kann mit Auftriebswirkungen in Verbindung gebracht werden (vgl. Abschnitt 4.1.4.4).

Insgesamt waren die Infiltrationsmengen innerhalb des Messintervalls vergleichsweise gering. Die nähere Betrachtung der zugehörigen Durchflüsse (knapp 6 ml/s) und der Fotos in Abbildung 99 lässt Fehler bei der Messung vermuten, denn besonders im Vergleich mit den Daten der übrigen geprüften Hausanschlussliner erscheint der gemessene Durchfluss für den in Abbildung 99 sichtbaren Wasserstrahl äußerst gering. Möglicherweise wurde in diesem Fall der Prüfraum nicht vollständig abgedichtet, so dass das zulaufende Wasser teilweise zwischen Absperelement und Rohrwand aus dem Prüfraum entwichen ist.

Ebene 6 (Extremsituation), Versuchsleitung D (15. und 21.10.2009):

An dieser Versuchsleitung wurden an zwei unterschiedlichen Tagen Infiltrationsmessungen vorgenommen. Zwar war der Außenwasserdruck zu beiden Zeiten annähernd identisch, es hatte sich aber in der Zwischenzeit neben zuvor einer Undichtigkeit noch eine zweite undichte Stelle gebildet. Diese wurde möglicherweise hervorgerufen, als der Wasserspiegel im dazwischenliegenden Zeitraum vorübergehend um ca. 1,20 m angehoben worden war und somit eine höhere Auftriebsbelastung auf den Hausanschlussliner einwirkte.

Die erste Undichtigkeit befand sich unmittelbar vor den beiden vertikal angeordneten 45° Bögen in der unteren Rohrhälfte der anliegenden Rohrverbindung im Nahtbereich des Hausanschlussliners. Im Vorfeld war das an diese Rohrverbindung angrenzende Rohr mit Fett eingestrichen worden, um eine Ablagerungssituation zu simulieren. Vor der Sanierung wurde die gesamte Leitung jedoch von der ausführenden Firma mittels HD-Spülung gereinigt. Bei der TV-Untersuchung wurde vermutet, dass sich an der undichten Stelle ein Riss gebildet hat. Diese Vermutung konnte jedoch anhand des vorliegenden Bildmaterials zunächst nicht mit Sicherheit bestätigt werden. In Abbildung 101 sind Aufnahmen der undichten Stelle dargestellt, die bei der TV-Inspektion gemacht wurden.

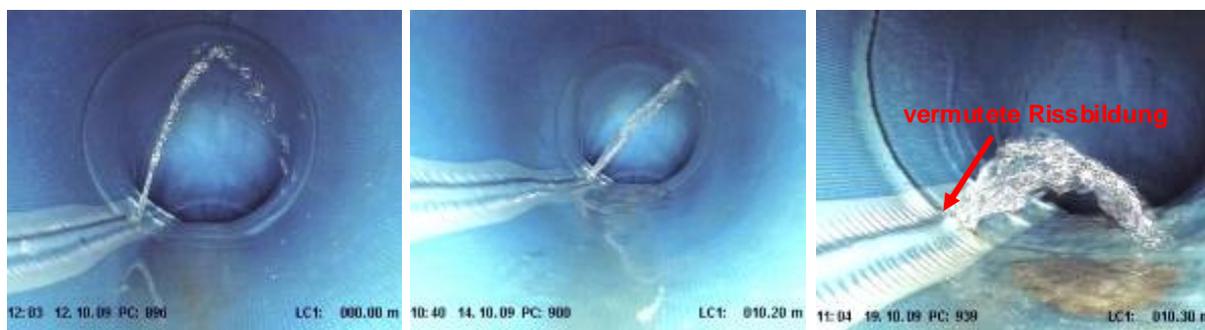


Abbildung 101: Undichtigkeit 1 in Hausanschlussliner (Leitung D, Ebene 6)

Das linke und mittlere Bild zeigen die Undichtigkeit bei niedrigem Außenwasserdruck ( $< 0,15$  bar), das Bild rechts zeigt die undichte Stelle, als der Außenwasserdruck bei ca. 0,35 bar lag. Deutlich erkennbar ist, dass unter höherem Außenwasserdruck neben der Grundwasserinfiltration außerdem ein Sandeintrag aus dem umgebenden Boden stattgefunden hat (Abbildung 101, rechts). Dieser Sachverhalt muss als kritisch angesehen werden, da sich in einer derartigen Situation in der Praxis Hohlräume im Erdreich bilden können, die die Standsicherheit der Hausanschlussleitung trotz Sanierung gefährden.

Die zweite Undichtigkeit befand sich unmittelbar vor zwei horizontal angeordneten 45° Bögen ebenfalls an einer Rohrverbindung im Nahtbereich des Hausanschlussliners.

Im Vorfeld der Messungen wurde der aktuelle Grundwasserstand ermittelt und mittels maßstäblicher Zeichnung der ungefähre Außenwasserdruck an den undichten Stellen des Hausanschlussliners abgeschätzt. In Abbildung 102 ist die Tiefenlage beider Undichtigkeiten am zweiten Messtermin dargestellt.

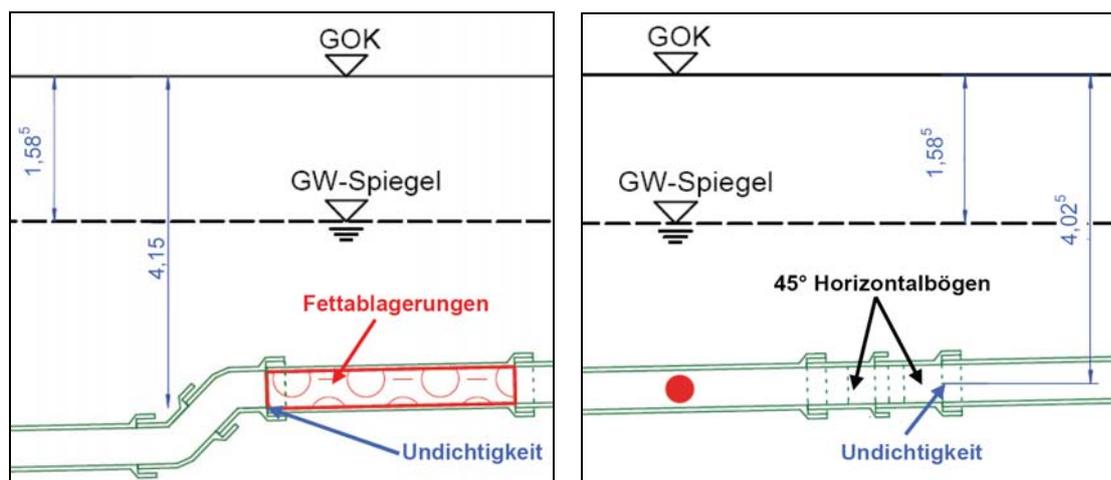


Abbildung 102: Lage Undichtigkeit 1 (links) und Undichtigkeit 2 (rechts) in Versuchsleitung D, Ebene 6 (Skizze)

An beiden Messterminen wurden insgesamt unmittelbar aufeinanderfolgend jeweils drei Messungen über zehn Minuten durchgeführt. Die Ergebnisse aus den Infiltrationsmessungen sind in Tabelle 44 zusammengefasst.

Tabelle 44: Messdaten zu Leitung D, Ebene 6 (undichter Hausanschlussliner)

	1. Messung	2. Messung	3. Messung
Messungen am 15.10.2009			
Außenwasserdruck an der Undichtigkeit [bar]	0,2528	0,2528	0,2528
mittlerer Durchfluss [l/s]	0,0278	0,0280	0,0285
Menge/10 min [l]	17,2411	16,8154	17,1115
Messungen am 21.10.2009			
Außenwasserdruck an Undichtigkeit 1 [bar]	0,2565	0,2565	0,2565
Außenwasserdruck an Undichtigkeit 2 [bar]	0,2440	0,2440	0,2440
mittlerer Durchfluss [l/s]	0,1254	0,1175	0,1118
Menge/10 min [l]	71,3622	70,5015	67,1314

Wie der Tabelle entnommen werden kann, betrug der Außenwasserdruck an beiden Messtagen etwas mehr als 0,25 bar. Bei den Messungen am 15. Oktober infiltrierten über die zu diesem Zeitpunkt vorhandene Undichtigkeit innerhalb des Messintervalls ca. 17 l in die sanierte Leitung. Dieser Wert entspricht hochgerechnet annähernd 2,5 m<sup>3</sup> pro Tag.

Im Vergleich wurden am zweiten Messtermin bei in etwa gleichem Außenwasserdruck mit Infiltrationswerten von bis zu 71,4 l innerhalb von zehn Minuten deutlich größere Mengen, die in etwa dem Vierfachen entsprechen, gemessen. Diese Steigerung kann unter anderem auf die zusätzlich entstandene Undichtigkeit zurückgeführt werden. Der später vorgefundene Bodeneintrag an der anderen Undichtigkeit deutet außerdem daraufhin, dass es an dieser Stelle zu einer Vergrößerung der Undichtigkeit gekommen ist. Diese Vermutung wird unterstützt durch den Umstand, dass zwischenzeitlich der Grundwasserstand für kurze Zeit um ca. 1,20 m angehoben worden war.

Nach Ausbau der Versuchsleitung wurden im Bereich der Undichtigkeiten Rissbildungen festgestellt.

### 7.2.3.3 Gegenüberstellung der Messergebnisse

In Tabelle 45 sind die Infiltrationsmengen einander gegenübergestellt, die bei den Messungen an den unsanierten und an den mit beschädigten Hausanschlusslinern ausgekleideten Versuchsleitungen erfasst wurden. Die Infiltrationsmengen wurden für die Darstellung auf Tageswerte umgerechnet. Zusätzlich zu den jeweiligen Infiltrationsmengen sind außerdem die Wasserstände angegeben.

Tabelle 45: Gegenüberstellung der Infiltrationsmengen

Versuchsleitung	Wasserstand [m]	Infiltration [l/d]
unsanierte Versuchsleitungen		
Ebene 2, Versuchsleitung A	0,749 <sup>1</sup>	19.290,53
Ebene 6, Versuchsleitung C	1,747 <sup>1</sup>	33.393,30
undichte Hausanschlussliner		
Ebene 2, Versuchsleitung F	0,660 <sup>2</sup>	587,66
Ebene 3, Versuchsleitung A	0,305 <sup>2</sup>	1644,34
Ebene 4, Versuchsleitung B	0,555 <sup>2</sup>	496,35
Ebene 6 Versuchsleitung D	2,528 <sup>2</sup>	2.464,06
Ebene 6 Versuchsleitung D	2,565 <sup>2</sup> / 2,440 <sup>2</sup>	10.152,22

<sup>1</sup> Wasserstand über dem Tiefpunkt der Versuchsleitung

<sup>2</sup> Wasserstand an der Undichtigkeit

An den beiden unsanierten Versuchsleitungen infiltrierten etwa 19,3 bzw. 33,4 m<sup>3</sup>/d, wobei der Grundwasserstand um einen Meter voneinander abwich. Erwartungsgemäß wurden an den sanierten, jedoch beschädigten Versuchsleitungen mit Werten zwischen ca. 0,5 und 10,2 m<sup>3</sup> größtenteils deutlich geringere Infiltrationsmengen festgestellt.

Betrachtet man jedoch die Wassermenge (10,2 m<sup>3</sup>), die in Ebene 6 über den in Versuchsleitung D eingebauten Hausanschlussliner infiltrierte, muss festgestellt werden, dass dort immerhin im Vergleich zu der unsanierten Versuchsleitung in gleicher Ebene noch ca. ein Drittel der Wassermenge über die beiden Undichtigkeiten des Hausanschlussliners infiltrierte. Zwar war der Grundwasserstand bei dieser Messung bezogen auf die Geländeoberkante ca. 1,20 m höher als bei den Messungen an den unsanierten Versuchsleitungen. Geht man jedoch davon aus, dass infolge der Netzabdichtung ein Grundwasseranstieg wahrscheinlich ist, kann man die Werte durchaus miteinander vergleichen.

Im Rahmen des Forschungsprojektes für die Stadt Billerbeck [46] wurden beispielsweise am Grundwasserpegel bereits vor Beginn der Sanierungsmaßnahmen jahreszeitliche Schwankungen von ca. 1,0 bis 1,5 m gemessen.

### 7.3 Schlussfolgerungen und Fazit

Abschließend werden die wesentlichen Erkenntnisse zusammengefasst, die auf Basis der durchgeführten Messarbeiten gewonnen werden konnten. Es werden zum einen die Eignung der eingesetzten Messtechnik bewertet und zum anderen mögliche Verbesserungspotenziale aufgezeigt. Darüber hinaus wird auf Basis der Untersu-

chungen die Bedeutung von hydrogeologischen Analysen im Vorfeld von Fremdwassersanierungsmaßnahmen verdeutlicht.

#### Eignung und Potenzial der eingesetzten Messtechnik:

Aus den Ergebnissen der Infiltrationsmessungen kann abgeleitet werden, dass die Messgenauigkeit der eingesetzten Messtechnik mit Abweichungen bis max. ca. 1 % für den beabsichtigten Anwendungsfall grundsätzlich geeignet ist. Zur Vermeidung von Messfehlern und Messungenauigkeiten ist allerdings die korrekte Anwendung des Messgerätes unbedingt zu beachten. In diesem Zusammenhang ist insbesondere die tatsächliche Abdichtung des Prüfraumes durch die Absperrblasen während einer Messung sicherzustellen. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, sowohl bei der Positionierung als auch bei der Durchführung von Messungen stets eine Kamera vor Ort zu haben, mit der eventuelle Undichtigkeiten erkannt und daraufhin beseitigt werden können.

Zur Optimierung des Messablaufs besonders mit Blick auf die Dauer einer Messung ist es ratsam, außerdem einen Wasservorrat mitzuführen. Dieser kann im Fall geringer Zuflussmengen in die Prüfkammer genutzt werden, um die Befüllung durch Zugabe beispielsweise über eine vorhandene Revisionsöffnung zu beschleunigen.

Einschränkungen bestehen momentan noch in den Einsatzmöglichkeiten des Gerätes. Da es in der derzeitigen Ausführung nur in Sammelleitungen DN 300 eingebaut werden kann, ist zu überlegen, inwieweit eine Erweiterung auch auf andere Nennweiten umgesetzt werden kann. Darüber hinaus sind für die Messung an Stützen Optimierungen denkbar, durch die auch bei Anschluss im Kämpferbereich (ggf. in Kombination mit zudem flachverlegter Prüfleitung, vgl. Kapitel 7.2.2.3) in jedem Fall verwertbare Messergebnisse erzielt werden können. Ein möglicher Ansatz für eine dahingehende Optimierung könnte darin liegen, die erforderliche Wassertiefe in der Prüfkammer herabzusetzen.

Da im Rahmen des Untersuchungsprogramms in einigen Fällen die Abdichtung der Prüfkammer aufgrund von Unebenheiten auf der Rohroberfläche nicht möglich war, ist zudem zu hinterfragen, ob das Material der Absperrlemente auszutauschen ist. Durch ein weiches und damit flexibleres Gummi können wahrscheinlich auch Bereiche mit unebener Rohroberfläche besser abgedichtet werden.

#### Infiltrationsmessungen:

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass im Fall stark beschädigter Entwässerungsleitungen bereits geringe Anhebungen des Grundwasserpegels zu einer sichtbaren Steigerung der Infiltrations- und somit Fremdwassermengen führen können. Die Messwerte von teils über 30 m<sup>3</sup>/d an lediglich einer einzigen Leitung (Länge ca. 12 m mit zahlreichen Schadstellen) unterstreichen, dass die Forderung nach Vermeidung von Fremdwassereinträgen in die Kanalisation unmittelbar die Forderung nach Sanierung des gesamten Kanalnetzes einschließlich der Hausanschlüsse nach sich zieht.

Infolge des simulierten Grundwasseranstiegs in der Versuchsanlage traten unter Auftrieb an acht von insgesamt 30 eingebauten Hausanschlusslinern Schäden in Form von Biegerissen auf. Ist mit einem Anstieg des Grundwasserpegels infolge großflächiger Sanierungsmaßnahmen zu rechnen, entstehen somit auch Risiken für die eingebauten Sanierungen selbst, mit in der Folge wiederum erheblichen Fremdwassereinträgen. Da sich diese Effekte innerhalb kürzester Zeit ereignen, kann die angesetzte Haltbarkeit von z.B. 50 Jahren dann in Frage stehen.

Vor diesem Hintergrund erscheint es umso bedeutender, bereits bei der Planung von Fremdwassersanierungsmaßnahmen die hydrogeologischen Folgen für das jeweilige Gebiet zu berücksichtigen. Ggf. sind Alternativen für die Abführung des Drainagewassers, beispielsweise durch den Bau entsprechender Dränagesysteme, aufzuzeigen.

## 8 Zusammenfassung und Fazit

### Hintergrund

Anschlusskanäle und Grundleitungen sind im öffentlichen und privaten Raum verlegt. In Abhängigkeit der Abwassersatzung liegt die Grenze zwischen der öffentlichen und privaten Kanalisation am Stutzen des öffentlichen Sammelkanals, an der Grundstücksgrenze oder einem definierten Übergabepunkt, z.B. einem Revisionsschacht. Erfahrungen zeigen, dass eine Vielzahl der Anschlusskanäle und Grundleitungen schadhaft ist. Dabei muss mit Schadensquoten bis zu 70 % gerechnet werden. Unsicherheit besteht bei der Frage, welche Verfahren und Produkte geeignet sind, die Funktionsfähigkeit und Dichtheit von Hausanschlussleitungen dauerhaft sicherzustellen. Darüber hinaus sind im Zuge der Sanierung von undichten Abwasserkanälen in Fremdwassergebieten verstärkt auch Anforderungen an die Dichtheit der Systeme unter Außenwasserdruck-Beanspruchungen zu berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund beauftragte das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW) das IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur mit dem Forschungsprojekt „Vergleichende Prüfung der Qualität von Sanierungsverfahren für Anschlusskanäle II“, dessen Ergebnisse in dem vorliegenden Bericht mit Schwerpunkt „IKT-Warentest Hausanschluss-Liner“ zusammengefasst sind.

Zentraler Aspekt aller IKT-Warentests ist der praxisnahe Vergleich von Produkten und Verfahren. Im Vordergrund steht die Überprüfung der Produkte mit Blick auf die von den Kanalnetzbetreibern gestellten Praxisanforderungen. Daher werden die IKT-Warentests basierend auf den Erfahrungen der beteiligten Kanalnetzbetreiber entwickelt. Die Auswahl der zu testenden Produkte und Verfahren obliegt dem Lenkungs-kreis der Kanalnetzbetreiber. Das gesamte Testprogramm wird in regelmäßigen Arbeitssitzungen mit den Kanalnetzbetreibern erarbeitet und abgestimmt. Die ausgewählten Produkte und Verfahren werden somit auf der Grundlage der Qualitätsanforderungen der Kanalnetzbetreiber geprüft.

Am IKT-Warentest „Hausanschluss-Liner“ waren die folgenden Kanalnetzbetreiber beteiligt: Stadtwerke Aachen AG, Stadt Alsdorf, Eigenbetrieb Technische Dienste, Stadt Bielefeld, Entsorgungs- und Servicebetrieb Bocholt, Stadt Datteln, Stadt Detmold, Stadtentwässerungsbetriebe Düsseldorf, Stadtwerke Essen AG, Stadt Gladbeck, Stadtentwässerung Göttingen, Stadt Hilden, Stadtentwässerungsbetriebe Köln AöR, Stadt Lemgo, Stadt Monheim am Rhein, Schwalmthalwerke AöR, Wasserverband Vorsfeld und Umgebung und Wuppertaler Stadtwerke AG.

### Hausanschlussliner im Test

Zahlreiche Verfahrensanbieter wurden für eine mögliche Teilnahme am IKT-Warentest „Hausanschluss-Liner“ grundsätzlich ausgewählt und um Abgabe eines Angebotes für die Sanierung gebeten (in alphabetischer Reihenfolge). Nicht alle Ver-

fahrensanbieter gaben Angebote zur Sanierung ab. In Abstimmung mit dem Lenkungsreis der Kanalnetzbetreiber wurden die nachfolgend aufgeführten Linerprodukte für die vergleichende Untersuchung ausgewählt und die Verfahrensanbieter mit der Durchführung der Sanierungsarbeiten beauftragt (in alphabetischer Reihenfolge):

- BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, DN 125, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein
- BRAWOLINER XT, Harzsystem: BRAWO I, DN 150, Karl Otto Braun GmbH & CO. KG, Wolfstein
- RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, DN 125, RS-Technik AG, Esslingen
- RS MaxLiner-FLEX S, Harzsystem: MaxPox 15-40, DN 150, RS-Technik AG, Esslingen
- DrainPlusLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, DN 125, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg
- epros<sup>®</sup>DrainPlusGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, DN 125, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg
- DrainLiner, Harzsystem: EPROPOX VIS A2/B2, DN 150, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg
- epros<sup>®</sup>DrainGlassLiner (Prototyp), Harzsystem: EPROPOX VIS A4/B4, DN 150, Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH, Duisburg
- lineTEC ProFlex Liner, Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40, DN 125, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen
- lineTEC ProFlex Liner, Harzsystem: Biresin lineTEC EP 40, DN 150, VFG Vereinigte Filzfabriken AG, Giengen

### **Prüfungsschwerpunkte**

Die Hausanschlussliner werden im IKT-Warentest vielfältigen Prüfungen unterzogen, hierzu gehören **Systemprüfungen, Prüfungen der Qualitätssicherung der Verfahrensanbieter und Baustellenuntersuchungen.**

Der **Prüfungsschwerpunkt Systemprüfungen** liefert Ergebnisse bezüglich der Einsatzmöglichkeiten, der Sanierungsqualität und der Einsatzgrenzen der getesteten Hausanschlussliner. Die Systemprüfungen fanden in Versuchsstrecken im IKT-Großversuchsstand statt. Die Versuchsstrecken wurden mit den ausgewählten Hausanschlusslinern saniert. Anschließend wurden die Hausanschlussliner einem umfassenden Prüfprogramm unterzogen, in dessen Mittelpunkt die Anforderung nach Funktionsfähigkeit, Dichtheit und Tragfähigkeit der Struktur stand. Bezüglich der Dichtheit wurden sowohl das Belastungsszenario Innendruck als auch Außenwasserdruck sowie Einflüsse der HD-Reinigung betrachtet. Im Bezug auf die Tragfähig-

keit der Struktur wurden die Materialkennwerte der Hausanschlussliner untersucht. Die Empfindlichkeit unter Auftrieb wurde gesondert bewertet.

Die erstellten Schadensbilder in den Anschlusskanälen wurden auf Grundlage der Erfahrungen aus vorangegangenen Untersuchungen in Abstimmung mit den Kanalnetzbetreibern erstellt. Die als typisch für den Hausanschlussbereich angesehenen Schäden wurden dabei in Schadensbilder übertragen, die für die Systemprüfungen im IKT-Großversuchsstand wiederholbar herzustellen waren. Es wurden Längs- und Querrisse, Scherben und fehlende Rohrstücke in ca. 12 m langen Leitungen als Sanierungsaufgabe erstellt.

Die Sanierungsarbeiten wurden durch das IKT beauftragt. Auftragnehmer waren die Verfahrensanbieter der getesteten Linersysteme. Ziel der Sanierung sollte es sein, eine dichte, funktionsfähige und standsichere Hausanschlussleitung herzustellen. Dabei war es den Verfahrensanbietern freigestellt, die Sanierungsarbeiten mit eigenem Personal oder mit Hilfe eines Dienstleisters durchzuführen.

Es waren jeweils drei Hausanschlussleitungen des Leitungstyps „Standardsituation“ bzw. „Extremsituation“ zu sanieren. Für die zwei unterschiedlichen Leitungstypen können verschiedene, auf die Leitungscharakteristik abgestimmte Linerprodukte eingesetzt werden. Innerhalb der „Standardsituation“ bzw. „Extremsituation“ sind die gleichen Materialien einzusetzen. Das Vorgehen während der Sanierung der sechs Hausanschlussleitungen, die Vorbereitung einschließlich der Reinigung, die Sanierungsdurchführung und die Nachbereitung, waren dem Verfahrensanbieter bzw. der ausführenden Firmen freigestellt. Insbesondere wurden keine einschränkenden Vorgaben zum Umfang der Sanierungsvorarbeiten aufgestellt.

Drei Verfahrensanbieter führten die Sanierung überwiegend mit eigenem Personal durch. Für die Sanierungsvorarbeiten, Reinigen und Fräsen, kamen hier z.T. Dienstleister zum Einsatz. Ein Verfahrensanbieter wurde bei der Ausführung der Sanierungsarbeiten durch einen Dienstleister unterstützt.

### **Sanierungsergebnisse**

Ein Sanierungsziel bestand darin, die **Funktionsfähigkeit** defekter Hausanschlussleitungen wiederherzustellen. Die Funktionsfähigkeit wird hier durch den optischen Zustand des gesamten Abflussquerschnittes definiert. Die Sanierung soll dabei zu einer Verbesserung des Abflussverhaltens und einer Stabilisierung der geschädigten Rohrabschnitte führen. Von besonderem Interesse ist dabei die Faltenbildung im Hausanschlussliner, da diese Falten ein einragendes Abflusshindernis darstellen können.

Zur Beurteilung des Sanierungsergebnisses wurde nach der Sanierung mit Hilfe einer TV-Inspektionskamera eine Fotodokumentation des Sanierungsergebnisses erstellt. Nach dem Ausbau der sanierten Hausanschlussleitungen konnten die Rohrabschnitte darüber hinaus segmentiert und im Detail optisch begutachtet werden. Hierbei wurden z.B. Falten im Liner vermessen und fotografisch festgehalten. Insbe-

sondere in engen Bögen können an der Bogeninnenseite Falten auftreten. Der optische Eindruck wurde entsprechend getrennt nach „Standardsituation“ und „Extremsituation“ bewertet.

Im Gesamtblick konnte festgestellt werden, dass die Produkte im Vergleich zum früheren Test deutliche Verbesserungen der hydraulischen Oberfläche zeigten. Die Liner waren in der Regel selbst in Bögen und an Versätzen weitgehend faltenfrei. Mit Verstopfungsgefahren war nur in Ausnahmefällen zu rechnen.

Die **Dichtheit** ist ein weiteres, wesentliches Kriterium, das von einer Leitung zum Transport von Abwasser erfüllt werden muss. Rechtliche Vorgaben zu den anzuwendenden Verfahren zur Dichtheitsprüfung, Prüfmedium, Prüfdruck, Prüfzeit und Dichtheitskriterien sind nicht explizit definiert. Im Rahmen des IKT-Warentests „Hausanschluss-Liner“ wurden daher zur Bewertung der Hausanschlussliner verschiedene Dichtheitsprüfungen durchgeführt und deren Ergebnisse nach Wichtung der beteiligten Netzbetreiber in die Gesamtbewertung einbezogen. Im Einzelnen betraf dies folgende Prüfungen: Strangprüfung, Laminat-Prüfung und Betrachtung unter Außenwasserdruck hinsichtlich Infiltrationen, Umläufigkeiten oder Beulen.

Während bei der Strangprüfung und Laminat-Prüfung auf Standardprüfverfahren zurückgegriffen werden konnte, kamen für die Außenwasserdruckprüfung auf die besonderen Versuchseinrichtungen des IKT zum Einsatz. Der Großversuchsstand des IKT bietet die Möglichkeit, die eingeerdeten, sanierten Hausanschlussleitungen mit einem definierten Außenwasserdruck zu beaufschlagen.

An insgesamt neun Haltungen zeigte sich im Verlauf der **Außenwasserdruckprüfung** eindringendes Wasser. Die Infiltrationsstellen lagen in Rohrverbindungsbereichen vor Bögen oder Abzweigen. Vor der Außenwasserdruckbeanspruchung waren in diesen Bereichen keine Auffälligkeiten festzustellen. Daher war zu hinterfragen, ob die entstandenen Undichtigkeiten allein durch den einwirkenden Außenwasserdruck hervorgerufen wurden oder ob andere Effekte wie z.B. Auftriebsbeanspruchungen ursächlich für die Schädigung der Linerwand sind und das eindringende Wasser lediglich eine Folge dieser Schädigungen ist.

Nach dem Ausbau der Rohre konnten die Infiltrationsbereiche detailliert beurteilt werden. Die Analyse bestätigte, dass **Auftriebseffekte** für die Schäden maßgeblich verantwortlich sind. Es zeigte sich deutlich ein Zielkonflikt zwischen der angestrebten Verklebung des Liners mit dem Altrohr und der scheinbar notwendigen Abwinkelbarkeit der Rohrverbindungsbereiche unter Auftrieb. Da offensichtlich die Undichtigkeiten nicht auf die Belastungsart „Außendruck“ allein, sondern auf die Empfindlichkeit der Struktur unter Auftrieb zurückzuführen sind, wurden die hier erkannten Schäden bei der Bewertung der Dichtheit des Linermaterials nicht berücksichtigt, sondern als „Empfindlichkeit unter Auftrieb“ ggf. gesondert bewertet.

Ein Ablösen der Innenfolie oder Beulen des Liners wurde in keinem Fall beobachtet. Auch zeigten sich weder Umläufigkeiten im Bereich der Revisionsöffnungen noch im Bereich der Anbindung an den Hauptkanal.

Nach dem Ausbau der sanierten Leitungen aus dem IKT-Großversuchsstand konnte festgestellt werden, dass es sowohl an den Schadensstellen (Risse, Scherbenbildung, Lageabweichungen usw.) als auch durch die undichten Rohrverbindungen zu einem **Harzaustritt** gekommen war, der u.U. auch zu einer Verringerung der Linerwanddicke führt. Harzaustritte traten bei allen Linertypen auf. Lediglich die Menge des ausgetretenen Harzes variierte zwischen den Linertypen. Dieser Effekt kann zu einer Verzahnung des Liners mit dem Altrohr führen. Zusätzlich können die Fehlstellen im Altrohr durch das Linerharz abgedichtet werden.

Zur Bewertung der **Tragfähigkeit der Struktur** eines Schlauchliners nach abgeschlossener Aushärtung wurden die mechanischen Kennwerte, wie Ringsteifigkeit und Elastizitätsmodul, bestimmt. Die untersuchten Linerproben erreichten dabei überwiegend die in den DIBt-Zulassungen vorgegebenen Werte. Ergänzend wurde auch die Dichte erfasst, da Schwankungen hier z.B. auf eine ungleichmäßige oder unvollständige Harzverteilung im Trägermaterial hindeuten können. Auch hier erreichten die untersuchten Linerproben wiederum die in den DIBt-Zulassungen vorgegebenen Werte.

Der **Prüfungsschwerpunkt „Qualitätssicherung der Verfahrensanbieter“** befasst sich mit der Frage: Wie unterstützt der Verfahrensanbieter die Sanierung mit seinem Schlauchliner, so dass qualitativ hochwertige Ergebnisse erzielt werden? Insgesamt geht dieser Schwerpunkt mit 20% in das jeweilige Prüfurteil ein. Dabei werden fünf Bewertungsfälle unterschieden: „DIBt-Zulassung“, „Prüfzeugnis zur Umweltverträglichkeit“, „Verfahrenshandbuch und Schulungen“, „Fremdüberwachung“ und „Nachweis der Entsorgbarkeit“ ein. Die Bewertungsfälle werden nach dem Kriterium „ja/nein“ bewertet. „Ja“ bedeutet, die entsprechende Qualitätssicherung konnte vollständig nachgewiesen werden. „Nein“ steht für das Fehlen eines entsprechenden Nachweises. Für die meisten Produkte wurden die Nachweise im Test vollständig erbracht.

Die **Baustellen-Untersuchungen** dienen zur Überprüfung der Handhabbarkeit der Verfahren und der eingesetzten Hausanschlussliner in bestehenden Anschlusskanälen unter In-situ-Bedingungen. Durch die Baustellen-Untersuchung wurde darüber hinaus die Plausibilität der Einsätze im Großversuchsstand überprüft. Eine ausführliche Darstellung enthält Abschnitt 4.3.

### **Bewertung und Prüfurteile**

Die Prüfurteile für die Schlauchliner werden für den jeweiligen Anwendungsfall „Standardsituation“ und „Extremsituation“ aus den Bewertungsschwerpunkten „Systemprüfung (80 %)“ und „Qualitätssicherung der Verfahrensanbieter (20 %)“ gebildet.

Aus den Bewertungsschwerpunkten „Systemprüfung Standardsituation“ und „Qualitätssicherung der Verfahrensanbieter“ bzw. „Systemprüfung Extremsituation“ und

„Qualitätssicherung der Verfahrensanbieter“ ergeben sich somit grundsätzlich zwei Prüfurteile.

Schlauchliner, die lediglich bei einem der beiden Anwendungsfälle – Standard- oder Extremsituation – eingesetzt wurden, erhalten nur dieses eine Prüfurteil.

In Abschnitt 6 bzw. Tabelle 34 und Tabelle 35 sind die Prüfurteile und ergänzenden Informationen für die untersuchten Schlauchliner in kompakter Weise zusammengefasst.

In der Standardsituation erreichten vier Liner das Prüfurteil „gut“ (BRAWOLINER XT RS MaxLiner-FLEX S, DrainLiner, lineTEC ProFlex Liner) und ein Liner das Prüfurteil „ausreichend“ (epros®DrainGlassLiner (Prototyp)). In der Extremsituation schnitt der BRAWOLINER XT mit „Sehr gut“ (1,3) am besten ab. Drei weitere Produkte erhielten ein „gut“ (RS MaxLiner-FLEX S, DrainPlusLiner, lineTEC ProFlex Liner). Ein weiterer Liner schnitt mit befriedigend (2,9) (epros®DrainPlusGlassLiner (Prototyp)) ab. Für sämtliche Liner können aufgrund ihrer Verbundwirkung mit dem Altrohr besondere Risiken unter Auftrieb bei Grundwasseranstieg nicht ausgeschlossen werden. Für den epros®DrainGlassLiner (Prototyp) führte dies zu einer Abwertung um eine volle Note.

### **Zusatzuntersuchungen**

Die Zusatzuntersuchungen betrafen die Einsatzmöglichkeiten der Infrarotspektroskopie (IR-Spektroskopie) und der DSC-Analyse (Differential Scanning Calorimetry) zur Qualitätssicherung von Sanierungsmaßnahmen mit Hausanschlusslinern. Darüber hinaus sollten im Rahmen eines erweiterten Untersuchungsprogramms auch Erkenntnisse über das Infiltrationsvermögen sowohl beschädigter als auch sanierter Hausanschlussleitungen gewonnen werden.

Mit Hilfe der IR-Spektroskopie werden Reaktionsharzproben hinsichtlich ihres Reaktionsverhaltens charakterisiert. Damit soll überprüft werden, um welchen Harztyp es sich handelt. Im Rahmen des IKT-Warentests wurden Probestücke aus den sanierten Leitungen entnommen, um die IR-Spektren der unterschiedlichen Linerharze zu vergleichen. Darüber hinaus wurden die Einsatzmöglichkeiten einer DSC-Analyse betrachtet, welche ebenfalls zur Qualitätsüberwachung beim Einsatz von Reaktionsharzen eingesetzt wird. Die Glasübergangstemperaturen der eingesetzten Linerharze wurden ermittelt und mit den in den DIBt-Zulassungen der Verfahren angegebenen Werten verglichen.

Während der Außenwasserdruckbelastungen wurden ergänzende Infiltrationsmessungen an sanierten und unsanierten Leitungen durchgeführt. Im Ergebnis zeigte sich zum einen, dass die eingesetzte Messtechnik für den beabsichtigten Anwendungsfall grundsätzlich geeignet ist, allerdings eine Erweiterung auch auf andere Nennweiten und weitere technische Optimierungen geboten scheinen. Zum anderen zeigten die Messergebnisse, dass im Fall stark beschädigter Entwässerungsleitungen bereits geringe Anhebungen des Grundwasserpegels zu einer sichtbaren Steige-

rung der Infiltrations- und somit Fremdwassermengen führen können. Teils betrug die Infiltrationszuflüsse über 30 m<sup>3</sup>/d bei einer einzelnen unsanierten Leitung (Länge ca. 12 m mit zahlreichen Schadstellen). Dieses Ergebnis unterstreicht, dass die Forderung nach Vermeidung von Fremdwassereinträgen in die Kanalisation unmittelbar die Forderung nach Sanierung des gesamten Kanalnetzes einschließlich der Hausanschlüsse nach sich zieht.

### **Fazit**

Vor dem Hintergrund der Test-Ergebnisse und Zusatzuntersuchungen lässt sich folgendes Fazit ziehen:

- **Deutliche Verbesserung bei Funktionsfähigkeit**  
Selbst in Bögen und an Versätzen zeigten die eingesetzten Produkte kaum nennenswerte Faltenbildung. Hier waren deutliche Verbesserungen gegenüber früheren Testergebnissen zu erkennen. Mit Verstopfungsgefahren ist kaum oder gar nicht zu rechnen.
- **Alle Liner in der Strangprüfung dicht**  
In der Luftdruckprüfung nach DIN EN 1610 [11] erwiesen sich sämtliche Liner in allen Prüfungen als dicht. Damit wurde speziell für die Grundstücksentwässerung der häufig auch unter rechtlichen Gesichtspunkten möglicherweise geforderte Dichtheitsnachweis nach den Regeln der DIN 1986 Teil 30 [18] bzw. DIN EN 1610 [11] von allen Produkten auch nach 5-facher HD-Reinigung und vereinzelt Kettenschleudereinsatz selbst in der Druckprüfung erfüllt.
- **Schwachstelle Laminat**  
Die in der DIBt-Zulassung zugesicherten Eigenschaften des Laminats hinsichtlich Dichtheit und Mindestwanddicke wurden vielfach nicht erfüllt. Über ein Fünftel der Laminat-Prüfstellen bestanden die Dichtheitsprüfung nach APS nicht. Das nach gängiger Auffassung abdichtende Laminat war wasserdurchlässig, so dass hier offensichtlich die Einbaufolie bzw. die Verklebung zum Altrrohr die Dichtfunktion für die Strangprüfung bei der Abnahme übernehmen.
- **Harzaustritte an Schadstellen**  
Insbesondere an großflächigen Schadstellen und undichten Muffen traten scheinbar unkontrolliert erhebliche Mengen des Linerharzes in den Untergrund. Mit einer Schwächung der Wanddicke in diesen Bereichen ist daher zu rechnen. Dichtheit und Tragfähigkeit wurden darüber hinaus wesentlich durch das besondere Verbundverhalten zwischen Linermaterial, Harzaustritten sowie Altrrohr und Boden geprägt.
- **Auftriebsrisiken bei Grundwasseranstieg**  
Unter Auftrieb wiesen einige Systeme einen Zielkonflikt zwischen der Verklebung von Liner und Altrrohr zur Vermeidung von Umläufigkeiten und der weiterhin notwendigen Längsbiegsamkeit im Rohrverbindungsbereich auf. Infiltrationsmessungen zeigten darüber hinaus, dass die hieraus ggf. resultierenden geringfügigen Risse im Linermaterial wiederum zu extremen Infiltrationsmen-

gen unter Außenwasserdruck führen können, die das Sanierungsziel Infiltrationsdichtheit in Frage stellen.

- **Hohe Anforderungen an die Ausführung**

Beim Versuchseinbau zeigte sich, dass die produktspezifische Ausführung vor Ort ein besonderes technisches Verständnis und Geschick erfordert. Dies betrifft vor allem die Sanierungsvorarbeiten wie Reinigungs- und Fräsarbeiten sowie die Tränkung vor Ort.

- **Qualitätsüberwachung vor Ort notwendig**

Die Testergebnisse zeigen, dass die relevanten Qualitätseigenschaften zwar im Test detailliert untersucht werden konnten, allerdings vor Ort kaum erfassbar sind. Dies gilt insbesondere für das Erkennen von späteren Schwachstellen unter Außenwasserdruckbelastung, die Überprüfung der Laminatdichtheit sowie die Vermessung der Wanddickenverteilung über die Rohrstrangoberfläche.

Im Gesamtblick zeigen der IKT-Warentest „Hausanschluss-Liner“, dass die Renovierung schadhafter Hausanschlussleitungen mit dem Schlauchliningverfahren auch bei schwieriger Leitungsführung zur Abdichtung gegen Exfiltration eine sinnvolle Lösung darstellen kann. Eine besondere Herausforderung stellt aber noch der Anwendungsfall der Fremdwassersanierung mit seinen spezifischen Auftriebsrisiken dar. Hier sind auch ganzheitliche Lösungen zur gezielten Regulierung des Grundwasserstandes gefragt.

## 9 Literatur

- [1] EU-Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und Rats zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie) vom 22.12.2002, Amtsblatt L327, Brüssel.
- [2] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (WHG) Wasserhaushaltsgesetz vom 27. Juli 1957 in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. August 2002 (BGBl. I Seite 3245), zuletzt geändert durch Artikel 8 des Gesetzes vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986).
- [3] Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 9. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3214).
- [4] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3758).
- [5] Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (LWG) vom 25. Juni 1995 (GV. NRW. S. 926 / SGV. NRW. 77), Stand 11.12.2007 (GV. NRW. S. 708).
- [6] Strafgesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 13. November 1998 (BGBl. I S. 3322), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 31. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2149).
- [7] Investitionsprogramm Abwasser NRW, Richtlinien über die Gewährung von Zuwendungen; RdErl. Vom 15.11.2006-IV-9-025 086 0510, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 2007.
- [8] Kaltenhäuser, G.: Anschlusskanäle und Grundleitungen – Schäden, Inspektion, Sanierung; IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen, Dezember 2005.
- [9] Prüfrichtlinie: Wasserdichtheit von Baustellenproben aus vor Ort härtenden Schlauchlinern, Herausgeber: Arbeitskreis der Prüfinstitute Schlauchliner (IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH, Gelsenkirchen; SBKS Sachverständigenbüro für Kunststoffe Dr. Sebastian, St. Wendel; F+E Ing. GmbH, Fürth; SKZ – TeConA GmbH, Würzburg, SIEBERT + KNIPSCHILD GmbH, Oststeinbek/Hamburg), Fürth, vom 15.09.2004.
- [10] Meyers Konversationslexikon, Verlag des Bibliographischen Instituts, Leipzig und Wien, Vierte Auflage, 1885-1892.
- [11] DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen. Beuth Verlag, Berlin, Oktober 1997.

- [12] DIN 1986-100: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke, Teil 100: Zusätzliche Bestimmungen zu DIN EN 752 und DIN EN 12056, Beuth Verlag, Berlin, Mai 2008.
- [13] DIN EN 12056-1: Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden, Teil 1: Allgemeine und Ausführungsanforderungen, Beuth Verlag, Berlin, Januar 2001.
- [14] DIN EN 12056-2: Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden, Teil 2: Schmutzwasseranlagen, Planung und Berechnung, Beuth Verlag, Berlin, Januar 2001.
- [15] DIN EN 12056-3: Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden, Teil 3: Dachentwässerung, Planung und Bemessung, Beuth Verlag, Berlin, Januar 2001.
- [16] DIN EN 12056-4: Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden, Teil 4: Abwasserhebeanlagen - Planung und Bemessung, Beuth Verlag, Berlin, Januar 2001.
- [17] DIN EN 12056-5: Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden, Teil 5: Installation und Prüfung, Anleitung für Betrieb, Wartung und Gebrauch, Beuth Verlag, Berlin, Januar 2001.
- [18] DIN 1986-30: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke, Teil 30: Instandhaltung, Beuth Verlag, Berlin, Februar 2003.
- [19] DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Beuth Verlag, Berlin, April 2008.
- [20] Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen- Landesbauordnung - (BauO NRW) in der Fassung der Bekanntmachung vom 1. März 2000.
- [21] Informationsmaterial der URACA Pumpenfabrik GmbH, Bad Urach.
- [22] Herstellung von Kunststoffen: Polyaddition. Stand: 14.10.2009 URL: <http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/polyadd.htm>.
- [23] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisation. 3. Aufl., Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1998.
- [24] Informationsmaterial zum InFlex<sup>uvlight</sup> Schlauchliner – lichtaushärtende Hausanschlussliner-Technik der Brandenburger Liner GmbH, Landau.
- [25] E-Mail-Schriftverkehr vom 10.02.2009 und Rücksprache mit Herrn Bratz, Alo-cit Chemie GmbH, Konstanz im Februar 2009.
- [26] Gesprächsnotiz vom 27.07.2009 mit Herrn Scheu, Bodenbender GmbH, Biedenkopf-Breidenstein.
- [27] Antwortschreiben der I.S.T. GmbH vom 01.04.2009 zur Angebotsanfrage des IKT vom 23.03.2009.

- [28] Angebot der MC-Bauchemie GmbH & Co. KG vom 30.06.2009.
- [29] Gesprächsnotiz vom 08.05.2009 mit Herrn Stöger, Mr. PIPE Rohr- und Kanal-sanierungstechnik GmbH, Deggendorf.
- [30] Rebsch, S.: Handbuch Wasserrahmenrichtlinie Nordrhein-Westfalen, WHG, LWG und Co. -, Die rechtliche Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Nordrhein – Westfalen, Wassernetz NRW 11/2006.
- [31] Merkblatt DWA-M 115-2: Indirekteinleitung nicht häuslichen Abwassers, Teil 2 Anforderungen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Wasser und Ab-fall e.V. (DWA), Hennef, Juli 2005.
- [32] Kaltenhäuser, G.: IKT-Warentest „Hausanschluss-Liner“; IKT - Institut für Un-terirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen, November 2005; download unter [www.ikt.de](http://www.ikt.de).
- [33] DIN EN 12889: Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen. Beuth Verlag, Berlin, März 2000.
- [34] DIN EN 13566-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) - Teil 1: Allgemeines. Beuth Verlag, Berlin, April 2003.
- [35] Bosseler, B.; Schlüter, M.: Qualitätseinflüsse Schlauchliner – Stichproben-Untersuchung an sanierten Abwasserkanälen; IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen, Dezember 2003; download unter [www.ikt.de](http://www.ikt.de).
- [36] DIN EN ISO 3126: Kunststoff-Rohrleitungssysteme - Rohrleitungsteile aus Kunststoffen - Bestimmung der Maße. Beuth Verlag, Berlin, Mai 2005.
- [37] DIN EN 13566-4: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen), Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauchlining. Beuth Verlag, Berlin, April 2003.
- [38] DIN EN 1228: Kunststoff-Rohrleitungssysteme - Rohre aus glasfaserverstärk-ten duroplastischen Kunststoffen (GFK) - Ermittlung der spezifischen Anfangs-Ringsteifigkeit. Beuth Verlag, Berlin, August 1996.
- [39] DIN 16869-2: Rohre aus glasfaserverstärktem Polyesterharz (UP-GF), ge-schleudert, gefüllt - Teil 2: Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung. Beuth Verlag, Berlin, Dezember 1995.
- [40] DIN EN ISO 1183-1: Kunststoffe - Verfahren zur Bestimmung der Dichte von nicht verschäumten Kunststoffen - Teil 1: Eintauchverfahren, Verfahren mit Flüssigkeitspyknometer und Titrationsverfahren. Beuth Verlag, Berlin, Mai 2004.
- [41] Falbe, J.; Regitz, M. (Ed.) „Römpp Chemielexikon“ Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 9. Auflage 1995, CD Version 1.0.

- [42] Dynamische-Differenz-Kalorimetrie (DDK), Informationen der SIEBERT + KNIPSCHILD GmbH, Ingenieurbüro für Kunststofftechnik, Oststeinbek/Hamburg.
- [43] DIN EN ISO 11357-1: Kunststoffe - Dynamische Differenz-Thermoanalyse (DSC) - Teil 1: Allgemeine Grundlagen. Beuth Verlag, Berlin, März 2010.
- [44] DIN 53765: Prüfung von Kunststoffen und Elastomeren; Thermische Analyse; Dynamische Differenzkalorimetrie (DDK). Beuth Verlag, Berlin, März 1994.
- [45] Untersuchungen zur Styrolemission beim großtechnischen Einsatz von Schlauchliningverfahren bei Kanalsanierungen, Vereinheitlichung der Probenahme und Analysemethoden, Festsetzung von Grenzwerten und Optimierung der Sanierungsverfahren sowie allgemeingültige Ausschreibungsempfehlungen. Forschungsbericht Stadt Bielefeld, Januar 2005.
- [46] Schlüter, M.: Pilotprojekt der Stadt Billerbeck, Drainagewasser von Privatgrundstücken – Umweltgerecht Sammeln und Ableiten; im Auftrag des Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH, 06/2006, download unter [www.ikt.de](http://www.ikt.de).
- [47] Rössert, R.: Hydraulik im Wasserbau; 8. Auflage, R. Oldenbourg Verlag, 1992.