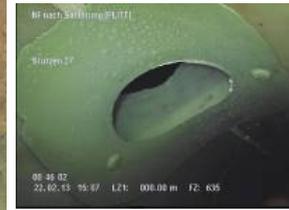
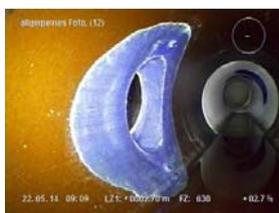


Entwicklungsunterstützende Untersuchungen zur „Infiltrationsdichtheit“ bei Werkstoffwechseln bzw. Übergängen insbesondere im Zusammenhang mit der Fremdwassersanierung

- Phase II: Vergleichende Untersuchungen an
Werkstoffwechseln und Übergängen -

Abschlussbericht



Endbericht zum Forschungsprojekt

Aktenzeichen: IV-7-042 600 004 F (MKULNV NRW)

Vergabe-Nr.: 08/058.4

Einzelauftrag 6: Entwicklungsunterstützende Untersuchungen zur „Infiltrationsdichtheit“ bei Werkstoffwechseln bzw. Übergängen insbesondere im Zusammenhang mit der Fremdwassersanierung

Phase IIb: Vergleichende Untersuchungen an Werkstoffwechseln und Übergängen

Block A: Seitliche Anschlüsse bei Schlauchlinern

Block B: Seitliche Anschlüsse beim Altrohr

Block C: Vergleichende Bewertung

Block D: Schacht- und Sonderbauwerksanschlüsse

einschließlich der Ergebnisse des zusätzlich beauftragten Projektes:

Titel: Langzeitverhalten von Verfahren der Fremdwassersanierung

Aktenzeichen: 54.7.10.06-5280/14 (BR Düsseldorf)

Projektkennziffer: 1000037913-14-13

Auftraggeber:



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



Wirtschaftsbetriebe Duisburg AöR
Schifferstraße 190
47059 Duisburg

Auftragnehmer:



IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr.-Ing. B. Bosseler

Projektleitung und -bearbeitung: Dipl.-Ing. M. Liebscher

Dipl.-Ing. M. Gillar

Dipl.-Ing. (FH) S. Ulutaş, MBA

Dipl.-Ing., Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) M. Engelberg

Projektpartner:



Universität der Bundeswehr München
Institut für Wasserwesen, Siedlungswasserwirtschaft und
Abfalltechnik
Werner-Heisenberg-Weg 39
85577 Neubiberg



Technische Universität München
Ingenieurfacultät Bau Geo Umwelt
Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement
Arcisstraße 21
80333 München

Mitglieder des Lenkungskreises:

Abwasserbetrieb der Stadt Willich	Frau Sarah Beyss
	Herr Ralf Reiche
	Frau Gisela Würth
Abwasserbetrieb Troisdorf AöR *	Herr Alexander Drechsler
	Herr Mario Heims
Abwasserwerk der Stadt Altena (Westf.) *	Herr Jörg Michutta
EUV Stadtbetrieb Castrop-Rauxel AöR	Herr Markus Genster
Göttinger Entsorgungsbetriebe *	Herr Manfred Fiedler
	Frau Monika Meyer
Stadt Ahaus	Herr Martin Köning
Stadt Borken	Herr Torsten Kemper
	Herr Matthias Stump
Stadt Datteln	Herr Birol Göcek
Stadt Gladbeck *	Herr Frank Restemeyer
Stadt Jülich	Herr Reinhard Richert
Stadt Kierspe *	Frau Andrea Thelen
Stadt Oer-Erkenschwick	Herr Gerald Preuß
Stadtentwässerung Mannheim	Herr Stefan Müller
Stadtentwässerungsbetrieb Düsseldorf	Herr Andreas Schneider
	Herr Alexander Schuir
Stadtwerke Bad Oeynhausen AöR *	Herr Schwarze
Stadtwerke Essen AG	Frau Petra Ebel
	Herr Jörg Kaltenpoth
Stadtentwässerungsbetriebe Köln AöR *	Herr Marius Korczak
	Frau Susanne Windhorn
Wirtschaftsbetriebe Duisburg AöR *	Herr Harald Kilian
	Herr Zeljko Tavcer

*Mitfinanzierung des Zusatzprojektes der Wirtschaftsbetriebe Duisburg

Wir danken den oben aufgeführten Mitgliedern des Lenkungskreises für die fachliche Begleitung des Projektes und für das Einbringen praktischer Erfahrungen zu Bau, Betrieb und Sanierung von Kanal- und Leitungsnetzen.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
1 VERANLASSUNG UND ZIELE	6
2 AUFGABENSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE.....	9
3 LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON SANIERUNGSVERFAHREN FÜR HAUSANSCHLUSSSTUTZEN... 12	12
3.1 STAND DER TECHNIK - SYSTEME ZUR SANIERUNG VON HAUSANSCHLUSSSTUTZEN	12
3.1.1 <i>Allgemeines</i>	12
3.1.2 <i>Roboterverfahren</i>	13
3.1.3 <i>Spachtel-, Injektions- und Verpressmaterialien</i>	17
3.2 UNTERSUCHUNGSPROGRAMM.....	21
3.2.1 <i>Methodik und Vorgehensweise</i>	21
3.2.2 <i>Auswahl und Herstellung der Schadensbilder</i>	22
3.2.3 <i>Auswahl der Sanierungsverfahren</i>	26
3.2.4 <i>Versuchsaufbauten und -durchführung</i>	30
3.2.5 <i>Versuchs- und Prüfprogramm</i>	43
3.3 GROßVERSUCHE AN LINERSANIERTEN HAUPTKANÄLEN	52
3.3.1 <i>Bautechnische Umsetzung</i>	52
3.3.2 <i>Firma „ONYX“</i>	61
3.3.3 <i>Firma „KATEC“</i>	64
3.3.4 <i>Firma „KUCHEM“</i>	67
3.3.5 <i>Firma „PLITT“</i>	70
3.3.6 <i>Firma „IBG“</i>	73
3.3.7 <i>Firma „SWIETELSKY-FABER“</i>	77
3.3.8 <i>Zusammenfassung der Versuchsergebnisse</i>	80
3.4 GROßVERSUCHE AN UNSANIERTEN HAUPTKANÄLEN	88
3.4.1 <i>Bautechnische Umsetzung</i>	88
3.4.2 <i>Firma „GEIGER“</i>	91
3.4.3 <i>Firma „KATEC“</i>	94
3.4.4 <i>Firma „KUCHEM“</i>	98
3.4.5 <i>Firma „PLITT“</i>	101
3.4.6 <i>Firma „IBG“</i>	104
3.4.7 <i>Firma „SWIETELSKY-FABER“</i>	107
3.4.8 <i>Zusammenfassung der Versuchsergebnisse</i>	110
3.5 QUALITÄTSSICHERUNG / BAUSTELLENUNTERSUCHUNG	114
3.6 BEWERTUNG DER DURCHGEFÜHRTEN UNTERSUCHUNGEN.....	115
4 SCHACHTANBINDUNGEN LINERSANIERTER HAUPTKANÄLE	117
4.1 STAND DER TECHNIK: ANBINDUNG VON LINERN AN SCHÄCHTE.....	117
4.2 UNTERSUCHUNGSPROGRAMM.....	120
4.2.1 <i>Vorgehensweise</i>	120
4.2.2 <i>Materialkonforme Anbindungen</i>	121
4.2.3 <i>Werkstoffwechsel bei der Anbindung</i>	124
4.3 ABNAHMEKATALOG – SANIERUNG VON SCHACHTANSCHLÜSSEN.....	137
5 BAUTECHNISCHE RISIKEN FÜR WERKSTOFFWECHSEL UND ÜBERGÄNGE	141
5.1 AUFGABENSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE	141
5.2 ORGANISATORISCHE FAKTOREN.....	141

5.3	BAUTECHNISCHE FAKTOREN	143
5.4	PRÜFUNG DES BAUWERKS	144
5.5	ERFASSUNG DES SCHADENSRIKOS IM LEITUNGSBAU	146
5.6	ZUSAMMENFASSUNG	148
6	AUFTRIEBSEFFEKTE AN HAUSANSCHLUSSLEITUNGEN	152
6.1	VERANLASSUNG UND VORGEHENSWEISE	152
6.2	VERSUCHSAUFBAU	153
6.3	NUMERISCHE BERECHNUNGEN UND VERSUCHSERGEBNISSE	154
6.4	WEITERFÜHRENDE BERECHNUNGEN.....	157
6.5	PRÜFEMPFEHLUNG.....	158
7	GRUNDWASSERMODELLNETZ „GROßVERSUCHSSTAND“.....	161
7.1	AUFGABENSTELLUNG UND VORARBEITEN.....	161
7.2	MODELLBERECHNUNGEN.....	164
7.3	PARAMETERVARIATIONEN UND AUSBLICK	165
8	LANGZEITVERHALTEN VON VERFAHREN DER FREMDWASSERSANIERUNG.....	168
8.1	VERANLASSUNG	168
8.2	VERSUCHE UND ERGEBNISSE	168
8.3	FAZIT	172
9	HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUR BAUABNAHME „INFILTRATIONSDICHTHEIT“	173
9.1	ABNAHMEKRITERIEN	173
9.2	ABLAUFSHEMA	175
9.3	PRODUKT- BZW. VERFAHRENSSPEZIFISCHE EMPFEHLUNGEN	178
9.3.1	<i>Offene Bauweise</i>	<i>178</i>
9.3.2	<i>Schlauchlinersanierungen</i>	<i>178</i>
9.3.3	<i>Sanierung von Anschlussstutzen</i>	<i>179</i>
9.3.4	<i>Reparatur von Schachtanschlüssen</i>	<i>180</i>
9.3.5	<i>Reparatur in Hauptkanälen</i>	<i>180</i>
9.3.6	<i>Sanierung von Schachtbauwerken</i>	<i>181</i>
10	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	183
11	LITERATUR	188

1 Veranlassung und Ziele

Die öffentliche Kanalisation der Bundesrepublik Deutschland umfasst ein Leitungsnetz von insgesamt 510.000 km Länge, davon ca. 95.000 km in NRW. Schätzungen gehen davon aus, dass das private Netz der Grundstücksentwässerungsleitungen etwa doppelt so lang ist. Laut DWA-Umfrage 2009 sind 17 % der öffentlichen Kanalisation kurz- bzw. mittelfristig sanierungsbedürftig [1]. Im Bereich der privaten Grundstücksentwässerung wird ein weit höherer Sanierungsbedarf vermutet. Gerade mit Blick auf die Fremdwassersanierung durch die kommunalen Kanalnetzbetreiber gewinnt die vollständige Dichtheit des Netzes und somit die Qualität der Schnittstellenlösungen an Bedeutung.

Ziel des in zwei Einzelphasen unterteilten Gesamtvorhabens zu Einzelauftrag Nr. 6 „Entwicklungsunterstützende Untersuchungen zur ‚Infiltrationsdichtheit‘ bei Werkstoffwechseln bzw. Übergängen insbesondere im Zusammenhang mit der Fremdwassersanierung“ ist es, zuverlässige Prüfverfahren und Bewertungskriterien für die Beurteilung der Infiltrationsdichtheit zu entwickeln, das Leistungskriterium „Infiltrationsdichtheit“ für die in der Praxis relevanten Werkstoffwechsel und Übergänge zu überprüfen sowie durch vergleichende Produkt- und Verfahrenstests die Entwicklung dauerhaft infiltrationsdichter Produkte und Verfahren zur sicheren Fremdwassersanierung, nun auch an Werkstoffwechseln und Übergängen, zu unterstützen.

Im November 2009 beauftragte das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW) das IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur zunächst mit der Durchführung der Phase I mit dem Titel: „Entwicklung von Abnahmekriterien für Infiltrationsdichtheit und Erstellung eines Prüfprogramms für vergleichende Untersuchungen an Werkstoffwechseln bzw. Übergängen“ [2]. Im Rahmen dieser im März 2011 abgeschlossenen Projektphase wurden im Wesentlichen Abnahmekriterien für die „Infiltrationsdichtheit“ entwickelt und ein aussagekräftiges und praxisnahes Prüfkonzept erarbeitet, um somit die Grundlagen für vergleichende Untersuchungen an Werkstoffwechseln und Übergängen für die Projektfortführung in der Phase II zu schaffen. Darüber hinaus wurden am Ende der Phase I folgende praxisrelevante Arbeitsergebnisse erzielt:

- Detaillierte Marktübersicht zu Verfahren, Systemen und Verbindungstechniken für Werkstoffwechsel und ggf. produktbezogene Benennung von Prüfzeugnissen mit Bezug zur Infiltrationsdichtheit.
- Überblick zum derzeitigen Stand der Technik bei Werkstoffwechseln bzw. Übergängen.
- Beschreibung und Analyse möglicher Konstruktionsrisiken im Fall der Fremdwassersanierung bei Werkstoffwechseln und Übergängen.
- Konstruktionsbedingte Abnahmekriterien für die Infiltrationsdichtheit.

Ziel der Phase II mit dem Titel: „Vergleichende Untersuchungen an Werkstoffwechseln und Übergängen“ ist es nun, durch vergleichende Untersuchungen an Werk-

stoffwechseln neutrale und unabhängige Informationen zu Infiltrationsdichtheit, Einbau- und Betriebsqualität der unterschiedlichen Produkte und Verfahren zur Verfügung zu stellen.

Der Schwerpunkt liegt hierbei auf Produkten und Verfahren zur Reparatur von Hausanschlussstutzen. Da Stützsanierungen in der Praxis häufig im Zusammenhang mit Renovierungen der Hauptkanäle z.B. durch Schlauchliner vorgenommen werden, ist dieser Anwendungsfall für die vergleichenden Untersuchungen von besonderem Interesse. Es sollen großtechnische Versuche im Maßstab 1:1 sowohl nach einer Linersanierung (Block A) als auch am Altrohr (Block B) durchgeführt werden. Zudem ist die Überprüfung der Qualitätssicherung in situ und eine abschließende Bewertung der Sanierungen aus den Blöcken A und B vorgesehen (Block C).

Darüber hinaus werden im Block D für die Sanierung von Schacht- und Sonderbauwerksanschlüssen zunächst Qualitätseinflüsse im Zuge der Sanierungspraxis aufgenommen. Der Untersuchungsschwerpunkt liegt hier auf den unterschiedlichen Anbindungstechniken bei Liningmaßnahmen (z.B. Schlauchliner), die im Rahmen von In-situ-Untersuchungen betrachtet werden. Die Ergebnisse werden abschließend in einem Abnahmekatalog für Schachtanbindungen renovierter Kanäle zusammengefasst.

Eine Übersicht zur gesamten Projektphase II zeigt Bild 1.



Bild 1 Übersicht der gesamten Projektphase II

Ergänzend werden unter anderem diejenigen grundsätzlichen Risiken für Neubaubauteile erfasst, die über die reinen Konstruktionsrisiken des Bauteils hinausgehen. Im Vordergrund stehen bautechnische und organisatorische Faktoren, die einen Schaden begünstigen. Dies betrifft insbesondere die Einbau- und Bodenbedingungen, das Herstellungsverfahren, die Bauüberwachung, das Rohrmaterial und die Art des Übergangs. Erfahrungen aus der Prüfung vor und nach Verfüllung der Baugrube sowie der Gewährleistungsabnahme werden dabei berücksichtigt.

Im Zusammenhang mit weiteren Forschungsarbeiten, die durch das MKULNV gefördert und in 2010 abgeschlossen worden sind, wurde deutlich, dass der Anstieg des

Grundwasserspiegels ggf. zu nachteiligen Auftriebseffekten an den Hausanschlussleitungen führen kann [3]. Im Block A wurden daher ergänzende Messungen an Leitungen unter Auftrieb im Versuchsmaßstab 1:1 durchgeführt, um mögliche Bewegungen der eingebauten Rohre und Verbindungen zu erfassen. In Verbindung mit ergänzenden Berechnungen sollte so eine Grundlage für die Bewertung von Auftriebsrisiken beim Einsatz unterschiedlicher Sanierungsverfahren geschaffen werden.

Schließlich werden mit Hilfe der kontinuierlichen Erfassung von Grundwasserständen im IKT-Großversuchsstand die Vorgaben für ein rechnerisches Grundwasser-Modellnetz „Großversuchsstand“ unter Berücksichtigung der Versuchsrandbedingungen aus Block A erweitert. Hierbei werden auch systematische Betrachtungen der eigentlichen Linersanierungen und der Anbindungen des Liners im Bereich der Anschlüsse mit einbezogen. Darauf aufbauend wird ein rechnerisches Grundwasser-Modellnetz für den Großversuchsstand unter Verwendung des Programms FEFLOW entwickelt.

2 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Die Diskussion der Projektergebnisse aus Phase I mit den beteiligten Netzbetreibern bestätigte den großen Bedarf weitergehender Untersuchungen zum Thema „Infiltrationsdichtheit bei Werkstoffwechseln bzw. Übergängen“. Es wurden zahlreiche noch offene Fragestellungen identifiziert und Prioritäten für die Bearbeitung in Phase II herausgestellt. Der Schwerpunkt von Phase II liegt auf **vergleichenden Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit von Reparaturverfahren für Hausanschlussstutzen** (Abschnitt 3). Gemäß einer DWA-Umfrage aus dem Jahr 2009 [1] sind Schäden im Bereich seitlicher Anschlüsse häufig vorzufinden. Hinsichtlich der Verfahrensgruppen wurden seitens der beteiligten Netzbetreiber besonders Injektions- und Verpressverfahren als relevant angesehen. Durch die verstärkte Einbeziehung der Grundstücksentwässerung in die Sanierungsstrategien [4] ist darüber hinaus zu erwarten, dass zahlreiche defekte Stutzen in den nächsten Jahren verstärkt auch instand gesetzt werden. Häufig werden Stutzensanierungen dabei in der Praxis mit Renovierungen der Hauptkanäle beispielsweise durch Schlauchliner ausgeführt. Durch die in Projektphase I beteiligten Netzbetreiber wurde hier ein Schwerpunkt für Untersuchungen im Rahmen eines IKT-Leistungstests gesehen [5]. Demzufolge wurden Großversuche an Stutzensanierungen an unsanierten und linersanierten Hauptkanälen durchgeführt und zudem Qualitätssicherungsaspekte und auch In-situ-Beobachtungen im Rahmen der Firmenbewertung berücksichtigt.

Im Projektverlauf wurde zunächst der Stand der Technik bei Sanierungssystemen zur Einbindung bzw. Reparatur von Hausanschlussstutzen unter Berücksichtigung der Verfahren und Materialien zusammengestellt (Abschnitt 3.1). Das in mehreren Sitzungen mit dem Projekt-Lenkungskreis entwickelte und während der Projektlaufzeit ständig fortgeführte Untersuchungsprogramm ist im Abschnitt 3.2 dargestellt. Hier werden auch die Auswahl der betrachteten Sanierungsverfahren, die Erarbeitung der Schadensbilder und des Prüfprogramms und der Aufbau der Großversuche geschildert. In den Abschnitten 3.3 und 3.4 werden die durchgeführten Großversuche an unsanierten und linersanierten Hauptkanälen geschildert, die erbrachten Leistungen der beteiligten Firmen dokumentiert und die erzielten Ergebnisse diskutiert. Im Abschnitt 3.5 werden die Maßnahmen zur Qualitätssicherung zusammengestellt und begleitete Baumaßnahmen geschildert. Eine Bewertung der durchgeführten Untersuchungen ist im Abschnitt 3.6 zu finden. Die im Rahmen des Projektes durchgeführte Bewertung und Benotung der ausführenden Firmen bei der Sanierung der Anschlussstutzen an unsanierten und linersanierten Hauptkanälen wurde in einem separaten Bericht dokumentiert (vgl. [6]).

Im Rahmen der Untersuchungen zu **Schachtanbindungen linersanierter Hauptkanäle** (Abschnitt 4) wurde zunächst der Stand der Technik zusammengefasst (Abschnitt 4.1). Das Untersuchungsprogramm mit Details zu den relevanten Verfahrensgruppen und Randbedingungen der begleiteten Baumaßnahmen sind im Abschnitt 4.2 zu finden. Im Abschnitt 4.3 ist der aus den In-situ-Beobachtungen abgeleitete Abnahmekatalog für die Sanierung von Schachtanschlüssen dargestellt.

Am Institut für Wasserwesen, Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität der Bundeswehr München wurden **bautechnische Risiken für Werkstoffwechsel und Übergänge** näher betrachtet (Abschnitt 5). Hier wurden u. a. diejenigen grundsätzlichen Risiken für Neubau-Bauteile erfasst, die über die reinen Konstruktionsrisiken des Bauteils hinausgehen. Dabei wurde auch auf Erfahrungen bzw. Referenzen aus Arbeiten des Instituts für Wasserwesen, Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik zurückgegriffen. Im Vordergrund standen bautechnische und organisatorische Faktoren, die einen Schaden begünstigen. Dies betrifft insbesondere die Einbau- und Bodenbedingungen, das Herstellungsverfahren, die Bauüberwachung, das Rohrmaterial und die Art des Übergangs.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens [3] wurden Auftriebsrisiken beim Einsatz von Hausanschlusslinern identifiziert [5]. Unter Auftrieb wiesen einige Systeme einen Zielkonflikt zwischen der Verklebung von Liner und Altrohr zur Vermeidung von Umläufigkeiten und der weiterhin notwendigen Längsbiegsamkeit im Rohrverbindungs-bereich auf. Infiltrationsmessungen zeigten darüber hinaus, dass die hieraus ggf. resultierenden geringfügigen Risse im Linermaterial wiederum zu extremen Infiltrationsmengen unter Außenwasserdruck führen können, die das Sanierungsziel Infiltrationsdichtheit in Frage stellen. Daher wurden Untersuchungen zu **Auftriebseffekten an Hausanschlussleitungen** (Abschnitt 6) in das Projekt integriert. Es wurden Messungen an Leitungen unter Auftrieb im Versuchsmaßstab 1:1 durchgeführt und durch Berechnungen mit der Finiten-Element-Methode am Institut für Geotechnik der Leibniz Universität Hannover ergänzt bzw. verifiziert.

Die Aufgabe bei den Berechnungen zum **Grundwassermodell „Großversuchsstand“** (Abschnitt 7) bestand in der Schaffung von Grundlagen für die rechnerische Modellierung der Drainagewirkung von undichten Kanälen, und dabei insbesondere in der Parametrisierung von Schadstellen in Bezug auf deren Größe bzw. Undichtigkeit, um Sanierungsmaßnahmen am Modell besser vorbereiten und evaluieren zu können. Hierzu wurde vom Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement der Technischen Universität München zunächst eine Messstrategie für die Grundwasserstände und Infiltrationsmengen im Großversuchsstand entwickelt. Auf Basis der Ermittlung der für die Modellierung notwendigen Randbedingungen und Modellparameter wurde das Modellnetz "Großversuchsstand" unter Verwendung des Programms FEFLOW aufgebaut. Hiermit wurden instationäre Grundwasserstände im Großversuchsstand berechnet und Parametervariationen auch zur Evaluierung der Güte und Anwendbarkeit des Modellnetzes für großskaligere Fragestellungen durchgeführt.

Im Rahmen der Untersuchungen bzw. Prüfungen von Stützen-Einbindungen in linersanierten Hauptkanälen zeigte sich unerwartet eine lokale Einbeulung des eingebauten Nadelfilz-Liners innerhalb einer kurzzeitigen (2 Tage) Belastung mit einem Außenwasserdruck von ca. 0,45 bar. Mit diesem Ergebnis konfrontiert, zeigten sich die Lenkungskreismitglieder deutlich überrascht und empfahlen dringend, die Schadstelle sowie die Schlauchliner weiter über einen längeren Zeitraum bei einem Wasserstand von 4,5 Metern zu beobachten. Dies wurde im Rahmen eines zusätzlich beauf-

tragten Projektes zum **Langzeitverhalten von Verfahren der Fremdwassersanierung** ermöglicht. Auf diese Weise konnten erstmalig verlässliche Erkenntnisse an Schlauchlinern aus GFK und Nadelfilz unter Berücksichtigung von bei längeren Belastungszeiten bei Kunststoffen üblicherweise auftretenden Krieeffekten gewonnen werden. Es wurde untersucht, inwieweit sich die Schadstellen, die Bereiche der Stützensanierungen aber auch die intakten Zonen der Schlauchliner bei hohen Wasserdrücken über einen Zeitraum von zwei Monaten verändern. Nach Versuchsende wurden die Versagensstellen durch Freilegen in Augenschein genommen und weitere Untersuchungen an Geometrie, Material und Umgebung durchgeführt. Die Auswertungen bezüglich der Betrachtungen zum Inliner sind in Abschnitt 8 zusammengestellt.

Darüber hinaus wurden im Rahmen dieses Zusatzprojektes die Standzeiten der Großversuche an unsanierten Hauptkanälen unter Außenwasserdruck auf zwei Monate erhöht. Im Ergebnis konnte auf diese Weise die Leistungsfähigkeit der Stützensanierungen mit Blick auf das Langzeitverhalten bei Nutzung der Altrohrsubstanz erstmalig beurteilt werden. Die Ergebnisse dieser Verlängerung der Standzeiten der Großversuche an unsanierten Hauptkanälen wurden in Abschnitt 3.4 integriert.

Alle in Phase I und II gewonnenen Erkenntnisse wurden in **Handlungsempfehlungen zur Bauabnahme „Infiltrationsdichtheit“** zusammengefasst (Abschnitt 9). Hier wurden aufbauend auf die in Phase I erarbeiteten Abnahmekriterien und der hieraus abgeleiteten Vorgehensweise praxisorientierte Handlungsempfehlungen zur Abnahme von Sanierungsmaßnahmen hinsichtlich der Infiltrationsdichtheit erarbeitet.

3 Leistungsfähigkeit von Sanierungsverfahren für Hausanschlussstutzen

3.1 Stand der Technik - Systeme zur Sanierung von Hausanschlussstutzen

3.1.1 Allgemeines

Schadhafte Kanäle müssen nach der Selbstüberwachungsverordnung Abwasser - SÜWVO Abw saniert werden [7].

Die hierfür zur Verfügung stehenden Sanierungsverfahren teilen sich in folgende drei Hauptgruppen auf:

- Reparatur,
- Renovierung,
- und Erneuerung [8].

Gemäß DIN EN 752 [9] sind unter Reparaturen „Maßnahmen zur Behebung örtlich begrenzter Schäden“ zu verstehen. Neben Renovierungen dienen auch diese Unterhaltungsmaßnahmen zur Aufrechterhaltung bzw. Wiederherstellung der Funktion von Abwasseranlagen.

Reparaturverfahren sind i.d.R. ausreichend für örtlich begrenzte Schäden, z. B. Schäden an Hausanschlussstutzen, bei denen die Tragfähigkeit des Gesamtsystems nicht wesentlich beeinträchtigt ist. Sie können in geschlossener Bauweise ausgeführt werden.



Bild 2 Reparaturverfahren möglich bei schadhafter Muffenverbindung (links) bzw. nicht möglich bei ausgedehnter Scherbenbildung (rechts)

Ziel der Reparatur ist es, in diesem Bereich einen Kanal zu erhalten, der nach der Schadensbehebung bezüglich Nutzung und Sicherheit den gestellten Anforderungen entspricht [10]. Hierbei sind grundsätzlich bauliche, hydraulische und umweltrelevante Aspekte gleichzeitig zu betrachten [8].

Zu den Reparaturverfahren gehören die Spachtel-, Injektions- und Verpresssysteme, die im Wesentlichen nach Werkstoff, Art, Größe und Lage des Schadens ausgewählt

werden. Die zugehörigen Reparaturmaterialien können in die Gruppen der Harze und Zemente unterteilt werden.

3.1.2 Roboterverfahren

Reparaturen mittels Roboterverfahren erfolgen durch Fräsen, Spachteln, Verpressen, Applizieren und Schleifen. Vorrangige Ziele dabei sind die Hindernisbeseitigung, Abdichtung und Verbesserung der Tragfähigkeit an Schädstellen, die durch Radialrisse, Längsrisse, Abflusshindernisse, schadhafte Rohrverbindungen und nicht fachgerechte Einbindung von Zuläufen geschädigt sind [11].

Mit Roboter-Systemen ausgeführte Arbeiten können in sich abgeschlossene Reparaturen sein oder sie können als Vor- oder Nacharbeiten, z. B. im Rahmen von Renovierungsarbeiten mit Linern, dienen. Eine Robotereinheit besteht aus einem oder mehreren selbstfahrenden oder mittels Seilwinde gezogenen Grundgeräten, welche ggfs. mit unterschiedlichen wechselbaren Werkzeugen bestückt werden können. Dieses Gerät wird mit einer internen oder externen Kamera beobachtet und oberirdisch von einem Bedienungsstand aus gesteuert [11].

Bei Roboterverfahren wird nach DWA-M 143-16 [11] zwischen **Komplett-** und **Teilsystemen** unterschieden. Den Komplettsystemen werden die Spachtelsysteme zugeordnet, den Teilsystemen die Stutzenverpress- und Hutprofilsysteme. Die Materialien werden in Kartuschen an die Schadensstelle transportiert.

3.1.2.1 Komplettssysteme

Die Komplettssysteme bestehen in der Regel aus einer Fräskomponente (Fräsroboter) und einer Spachtelkomponente (Spachtelroboter). Die Spachtelkomponente kann zusätzlich mit einer Verpress- und Schalungseinheit ausgerüstet werden. Mit einem Komplettssystem können somit alle mit dem Roboter-Verfahren ausführbaren Instandsetzungsarbeiten ohne Zuhilfenahme weiterer Systeme selbständig ausgeführt werden [11].

Als Werkstoffe für Spachtel- bzw. Verfüllarbeiten des Fräs- und Spachtelroboters haben sich spezielle Epoxidharze (EP) bewährt. Diese können – abgestimmt auf die Art der Reparatur – härter oder weicher eingestellt werden. Solche EP sind gut spachtelbar und haben eine schnell wirkende Haftung auf nassem Untergrund [11].

Fräs- und Spachtelroboter sowie Schalungsroboter mit Manschette werden zur Reparatur vorrangig in nichtbegehbaren Kanälen mit Kreisquerschnitt DN 200 bis DN 800 eingesetzt und reparieren bzw. schließen in der Regel Zuläufe DN 100 bis DN 250 an. In Sonderfällen sind auch Arbeiten in nichtbegehbaren Eiprofilen möglich [11].

Fräs- und Spachtelroboter decken den größten Teil der Schadensbilder ab. Vorrangiges Ziel ist es, die mit den Schäden verbundenen Undichtigkeiten durch die eingebrachten Werkstoffe abzudichten. So können auch Schäden an Rohrverbindungen, Querrisse, ggf. auch kurze Längsrisse und Scherbenbildungen, fehlende Wandungsteile und nicht fachgerechte Stutzen repariert werden [11].



Bild 3 Beispiele für Spachtelrobotersysteme (IBG Hydro-Tech GmbH [12], links und KA-TE PMO AG [13], rechts)

Nach Ausführung der Vorarbeiten fährt der Roboter eine auf das Reparaturobjekt und den Kanaldurchmesser abgestimmte Schalung an die zu sanierende Stelle und positioniert und fixiert diese dort. Bei größeren Schäden (fehlende Wandungsteile) können mehrere Schalungen aneinander gesetzt werden. Zur Reparatur von Stützen werden zusätzlich in den Seitenzulauf geeignete Schalungen in Form von Blasen oder im Zulauf verbleibenden Edelstahlschalen eingesetzt. Über Befülllöcher in der Schalungsmanschette wird die Harzmasse in den Hohlraum gepresst. Es ist eine vollständige Verpressung der Schadensstelle auszuführen. Die Schalung verbleibt so lange an der Reparaturstelle bis eine ordnungsgemäße Aushärtung des Harzes erreicht ist. Danach sind sämtliche Schalungsteile auszubauen und zu bergen [11].

3.1.2.2 Teilsysteme

Teilsysteme sind entwickelt worden, um bestimmte Schadensbilder zu bearbeiten oder Hilfsleistungen zu erbringen. Durch modularen Aufbau sind mehrere Teilleistungen möglich [11].

Stützenverpresssysteme

Stützenverpressgeräte dienen der Reparatur nicht fachgerecht angeschlossener Stützen. Die Schadstelle wird zunächst mit einem Fräsroboter ausgefräst und vorbereitet. Anschließend wird das Verpressgerät, bestehend aus einem schalenförmigen Schild mit einer ausfahrbaren Stützenabsperrblase zur Schadstelle gefahren und positioniert (vgl. Bild 4). Die Stützenabsperrblase übernimmt dabei gleichzeitig die Funktion einer Schalung im Anschlussbereich. Verfahrensbedingt wird die Schadstelle mit einem geeigneten Zementmörtel oder Reaktionsharz verpresst [11].



Bild 4 Beispiele für Schalungs- bzw. Stützenverpresssysteme (IBG Hydro-Tech GmbH [12], links und KA-TE PMO AG [13], rechts)

Für die Stützsanierung mit Verpressverfahren haben sich generell spezielle Epoxidharze, Silikatharze und spezielle kunststoffvergütete – oft faserverstärkte – Zementmörtel bewährt [11].

Stützenverpressgeräte (und Hutprofilsetzsysteme) arbeiten vorrangig in nichtbegehbaren Kanälen mit Kreisquerschnitt DN 200 bis DN 600 und reparieren bzw. schließen in der Regel Zuläufe DN 100 bis DN 150 in Ausnahmefällen bis DN 200 an [11].

Stützenverpressgeräte dienen im Wesentlichen der Reparatur, d. h. Abdichtung und Formgebung nicht fachgerecht angeschlossener Stützen. Da das zur Reparatur benutzte Material unter Druck durch Förderleitungen zur Schadensstelle gepumpt wird, ist das Verfahren auch in der Lage, gegen Grundwassereintritte anzuarbeiten und Hohlräume zu verfüllen. Hierbei muss eine Verdrängung des Grundwassers aus der Schadensstelle möglich sein. Eine Entmischung oder Verflüssigung des Materials muss ausgeschlossen werden. In Verbindung mit Linern stellt die nachträgliche Stützenreparatur bzw. Anbindung mittels Zementmörtel eine formschlüssige Lösung dar, eine Verklebung erfolgt in der Regel nicht [11].

Nach Ausführung der Vorarbeiten wird das Stützenverpressgerät an den zu sanierenden Stützen gefahren und fixiert, wobei die Schalung an die Rohrwandung dicht angepresst wird. Die Stützschalung wird ausgefahren und das Absperrelement aufgeblasen. Danach erfolgt die Verpressung des Hohlraumes. Beim Verpressvorgang sind sowohl der Hauptkanal als auch der Seitenzulauf mit einer integrierten oder externen Kamera auf auslaufendes Verpressmaterial zu beobachten. Im Fall von Materialeintritt in den Kanal oder den Seitenzulauf ist der Verpressvorgang abzubrechen und es sind weitere Maßnahmen zu ergreifen. Es ist eine vollständige Verpressung der Schadensstelle auszuführen. Die Schalung verbleibt so lange an der Reparaturstelle, bis eine ordnungsgemäße Aushärtung des Verpressmaterials erreicht ist, danach wird sie ausgebaut. Je nach Rohrgeometrie verbleibt im Hauptrohr ein geringer Materialauftrag [11].

Injektionssysteme

Bei dem Injektionsverfahren wird das Korngefüge des Bodens durch Einpressen von Injektionsgut verfestigt [14]. Unter Injektionen wird das Einfüllen von Einpressgut oder Füllgut (nachfolgend Injektionsmittel genannt) nach ZTV-ING [15] in Risse und Hohlräume unter Druck über Einfüllgeräte verstanden [16]. Es handelt sich um Maßnahmen zur örtlich begrenzten oder abschnittswisen Abdichtung und/oder Verfestigung von Lockergestein in der Leitungszone (vgl. Bild 5). Man unterscheidet zwischen Boden- und Hohlrauminjektionen, Rissinjektionen und Injektionen der Rohrverbindung. Es werden Injektionsmittel auf der Basis von Wasserglas und auf der Basis von Kunststoffen verwendet, die im Kapitel Materialien detailliert beschrieben werden.

Das in der Regel aus zwei Komponenten bestehende Injektionsmittel wird mittels Packer oder Roboter in das Rohr geführt. Das Injektionsmittel wird im Einbaugerät vermischt und unter Druck in den Hohlraum oder Riss gepresst.



Bild 5 Freigelegter Injektionskörper in der IKT-Versuchshalle

Um das Verfahren durchzuführen, ist eine Kanalinspektion und -reinigung, sowie ggf. eine Hindernisbeseitigung erforderlich. Beim Einbau ist zu beachten, dass das aufbereitete Injektionsgut definierte Materialeigenschaften aufweist. Wichtige Materialeigenschaften sind z. B. mechanische Eigenschaften, Dichtheit, Tragverhalten, Beständigkeit gegen chemischen, chemisch-biologischen und biologischen Angriff, Temperaturbeständigkeit, Brandverhalten, Umweltverträglichkeit und darüber hinaus die Verarbeitungs- und Verlegebedingungen, welche vom Verfahrensanbieter anzugeben sind. Nach der Sanierung ist eine Abschlussreinigung, Inspektion und Dichtheitsprüfung erforderlich (vgl. [17], [18]).

Hutprofilsysteme

Hutprofilsysteme sind nicht Gegenstand des hier durchgeführten Forschungsprojektes. Sie werden hier der Vollständigkeit halber beschrieben.

Hutprofilsysteme applizieren nach einer Renovierungsmaßnahme, ggf. auch nach einer Reparaturmaßnahme mit einem Kurzliner [19], ein vorgefertigtes Hutprofil auf die vorbereitete Anschlussstelle. Hutprofile bestehen aus einem vorgefertigten Trägermaterial aus Glasfasern (ECR-Glas) oder Synthesefasern, welches mit einem Kunstharz getränkt ist und vor Ort kalt oder wärmeunterstützt aushärtet. Der Linerwerkstoff geht mit dem Material des Seitenzulaufes eine dichte und kraftschlüssige Verbindung ein [20]. Besteht der Liner aus PE-HD, so besitzt das Hutprofil einen Stutzenteil aus harzgetränktem Trägermaterial, der umlaufende Kragen im Hauptkanal besteht jedoch aus PE-HD und wird mit der Lineroberfläche mittels Heizwendel verschweißt [21]. Das Hutprofilsystem besteht aus einem fahrbaren schalenförmigen Schild mit pneumatisch herausfahrbarer Stutzenblase oder einem Robotergrundgerät mit einem entsprechenden Schild als armgeführtes Werkzeug [11].

Für die Hutprofiltechnik kommen als Trägermaterialien Polyesterfasern mit Kaschierungen aus Polyurethan (PUR), Polyethylen (PE) oder Polyvinylchlorid (PVC) zur Anwendung. Als Reaktionsharze für die Hutprofiltechnik werden Epoxidharze und Silikatharze verwendet [11].

Hutprofilsetzsysteme arbeiten vorrangig in nichtbegehbaren Kanälen mit Kreisquerschnitt DN 200 bis DN 600 und reparieren bzw. schließen in der Regel Zuläufe DN 100 bis DN 150 in Ausnahmefällen bis DN 200 an [11].

Mit Hutprofilsetzgeräten ist es möglich, in den Abzweig hineingehende Risse zu reparieren, wenn der Stutzenteil bis über die erste Muffe im Seitenzulauf reicht. Ins Hauptrohr reichende Risse werden durch den Liner ggf. Kurzliner abgedeckt. Da das Hutprofil formschlüssig mit dem Untergrund verklebt, muss bei ausgebrochenen und zurückliegenden Stützen eine vorherige Formgebung der Zulaufkontur mit dem Fräs- und Spachtelroboter oder dem Stützenverpressgerät erfolgen [11].

Nach Ausführung der Vorarbeiten wird das mit dem getränkten Hutprofil versehene Setzgerät an den einzubindenden Seitenzulauf gefahren und fixiert. Dabei ist beim Transport zur Einbaustelle darauf zu achten, dass es vor Auswaschungen und Verunreinigungen geschützt wird. Das Schalungsschild mit dem Hutprofil wird auf die Linerwandung gepresst und die Stützenschalung mit dem Stutzenteil des Kragens ausgefahren und aufgeblasen. Danach erfolgt die Aushärtung bzw. das Verschweißen des Hutprofils. Die Schalung bleibt dabei so lange angepresst, bis die Harzreaktion bzw. der Schweißvorgang abgeschlossen und eine vollflächige und dauerhafte Verklebung bzw. Verschweißung sichergestellt ist; danach erfolgt der Ausbau. Für den Fall, dass harzgetränkte Hutprofile ohne Liner-Auskleidung auf das vorhandene Rohr appliziert werden, sind besondere Anforderungen an die Haftfestigkeit zu stellen. Stutzenteil und Kragen müssen während und nach dem Einbau fest und wasserdicht miteinander verbunden sein. Der Kragen des Hutprofils hat eine vom Rohrdurchmesser abhängige, ausreichende Breite aufzuweisen (ab DN 300 mindestens 5 cm). Die Anschlusstiefe muss mindestens 10 cm über die zu sanierende Stelle hinaus reichen. Bei der Konfektionierung sind Durchmesser und Winkel des Seitenzulaufes zu berücksichtigen [11].

3.1.3 Spachtel-, Injektions- und Verpressmaterialien

3.1.3.1 Allgemeines

Je nach Reparaturverfahren und Schadensart stehen verschiedene Harzgruppen und Zemente zur Verfügung. Im Wesentlichen sind dies Acryl-, Epoxid-, Polyurethan- und Silikatharz. Den Zementen zugeordnet werden die Zementmörtel und -pasten. Diese können als Injektions- bzw. Spachtelmaterialien im nicht begehbaren Bereich verwendet werden. Weitere Materialien, wie z.B. Ultrafeinzemente und Suspensionen werden hier nicht berücksichtigt, da sie im nicht begehbaren Bereich i.d.R. keine Anwendung finden [10].

3.1.3.2 Harze

Harze sind chemische Lösungen, die durch Auflösung von festen Stoffen in einem Lösemittel entstehen. Sie haben eine sehr hohe Eindringfähigkeit, da sie keine sichtbaren Schwebeteilchen enthalten [22].

Lösungen auf der Basis von Kunstharzen sind eine Newtonsche Flüssigkeit, sie besitzen regelbare Viskositäten und einstellbare Abbindezeiten. Außerdem sind sie beständig gegenüber aggressiven Wässern und die Festigkeits- und Elastizitätswerte sind in Grenzen wählbar. Je nach Art und Dosierung der verwendeten Komponenten findet eine Polymerisation, Polykondensation oder Polyaddition statt, die zu einer

Festigkeitszunahme führt. Nach dem Vermischen der beiden Komponenten beginnt eine exotherme Vernetzungsreaktion [22].

Harze werden unterschieden in wässrige Lösungen, zu denen Acrylharze, Phenolharze und Aminoplaste gehören, und wasserunlösliche Lösungen, zu denen Epoxidharze, Polyurethanharze, Silikatharze und Polyesterharze gehören [22].

Da in den hier betrachteten Verfahren hauptsächlich Acrylharz, Epoxidharz, Polyurethanharz und Silikatharz zum Einsatz kommen werden diese nun nachfolgend erläutert.

Acrylharz

Das wasserlösliche Acrylharz wird mit einem für die Polymerisation unerlässlichen Katalysator gemischt, mit Polymerisationsbeschleuniger bzw. -verzögerer sowie Wasser verdünnt und anschließend verpresst. Die Lösung polymerisiert zu einem transparenten und elastischen Gel, welches unter Einwirkung von Wasser aufquillt bzw. bei Trockenheit schrumpft. Der Vorgang ist reversibel. Als Katalysator wird Natriumpersulfat, als Beschleuniger ein modifiziertes Triethanolamin und als Verzögerer Kaliumhexacyanoferrat eingesetzt. Die Topfzeit (vom Zeitpunkt des Mischens der Komponenten bis zur Gelbildung) lässt sich durch unterschiedliche Dosierungen der Komponenten des katalytischen Systems von einigen Sekunden bis über 60 Minuten einstellen. Die Vorteile dieses kostengünstigen, säure-, alkali-, und mineral-salzbeständigen Systems liegen in der niedrigen Viskosität und der Unlöslichkeit in Wasser im ausgehärteten Zustand. Durch die niedrige Viskosität besteht jedoch die Gefahr der Verdünnung durch Grundwasser. Zudem kann sich die Volumenveränderung in Abhängigkeit der Umgebungsfeuchte negativ auf den Abdichtungserfolg auswirken [22].

Epoxidharz

Epoxidharze stellen weitgehend niederviskose bis glasige, seltener kristalline Substanzen dar, die vor ihrer Applikation mit den entsprechenden Härtern versetzt und ggf. noch mit Lösemitteln, reaktiven Verdünnern, Weichmachern, Füllstoffen oder Pigmenten modifiziert werden. Das richtige Anmischen des Harzsystems ist Grundvoraussetzung für ein Gelingen der Injektionsmaßnahmen. Entscheidend sind genaues Einhalten des Mischungsverhältnisses und ausreichendes Homogenisieren. Schon geringe Dosierungsfehler führen zum nahezu vollständigen Versagen der Erhärtungsreaktion. Vorteile liegen in der kurzen Reaktionszeit, den guten Klebeeigenschaften auch auf feuchten Untergründen und der Beständigkeit gegen Säuren und Alkalien. Neben dem Preis liegen die Nachteile dieses Systems in der Auswirkung geringer Dosierungsfehler und der benötigten Mindesttemperatur für den Aushärtvorgang [22].

Polyurethanharz

Injektionsmittel auf der Basis von Polyurethan sind Gele, sowie das Ein- und Zweikomponentenverfahren. In der Kanalsanierung ist es sinnvoll, das Zweikomponentenverfahren zu verwenden, daher wird dieses hier zunächst beschrieben.

Bei dem **Zweikomponentenverfahren** entstehen Polyurethane durch die Reaktion von Polyisocyanaten und Polyhydroxyl-Komponenten. Durch Polyaddition werden in einem schon bei Raumtemperatur ablaufenden exothermen Vorgang Makromolekülketten gebildet. Dieses Mittel ist erfolgreich bei der Verfestigung und/oder Abdichtung von Lockergestein im Korngrößenbereich mit einem Schluffanteil von ca. 15% in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte anwendbar. Je nach Kornverteilung und Porengröße können sowohl im bodenfeuchten als auch im wassergesättigten Zustand einaxiale Druckfestigkeiten von über 50 N/mm² erzielt werden. Wesentliche Vorteile des Systems sind die einstellbare Anfangsviskosität und Reaktionszeit sowie die guten Haft- und Klebeeigenschaften sowohl in trockenen als auch in feuchten bis wassergesättigten Böden. Zudem kann das Mischungsverhältnis der Komponenten um mehrere Prozent von der Idealmischung abweichen, ohne dass es größere Auswirkungen auf das Endprodukt gibt [22].

Zur Herstellung von **Gelen** werden polyfunktionelle NCO-Propolymere auf der Basis von ethylenoxidreichen Polyethern eingesetzt. Durch Vermischen mit überschüssigem Wasser entstehen zunächst Emulsionen bzw. Lösungen, die durch Wasser oder zugesetztes Di- bzw. Polyamin unter Vernetzung aushärten. Maßgebend für das Mischungsverhältnis sind aber die speziellen Anforderungen und die erforderliche Gelfestigkeit, die mit zunehmendem Wasseranteil abnimmt. Zur Minimierung der Volumenschrumpfung des Gels können entsprechende Zusätze dem Wasser zugegeben werden. Bei Trocknung erfolgt durch Feuchtigkeitsabgabe in wesentlich geringerem Maße als bei Acrylatgelen Schrumpfung unter Erhalt der Konturen. Durch Wasserlagerung kann die Schrumpfung aufgehoben werden [22].

Bei den **Einkomponentenpolyurethansystemen** wird ein in der Regel weichmacherhaltiges Polyurethan-Prepolymer mit einer für den gewünschten Zweck erforderlichen Menge Katalysator vermischt und dann als eine Komponente verarbeitet. Im Baugrund reagieren die Isocyanatgruppen des Polyurethan-Prepolymers mit dem anstehenden Wasser zu einem gummiartigen Polyurethan-Polyharnstoff-Harz. Nachteilig ist, dass der Weichmacher im Boden verbleibt, da er nicht chemisch eingebunden wird. Außerdem härtet Polyurethan-Prepolymer, das nicht hinreichend mit Wasser vermischt wird, nicht aus [22].

Silikatharz

Silikatharz entsteht aus der Reaktion von anorganischem Alkalisilikat und organischem Isocyanat. Komponente A ist ein modifiziertes Wasserglas, Komponente B ein polyfunktionelles Isocyanat. Bei der Herstellung des Harzes werden die Komponenten in der Regel in einem Verhältnis von 1:1 zu einem mehr oder weniger schaumigen Festkörper gemischt. Die Aushärtung findet auch unter Wasser statt und das Endprodukt ist in seiner Dichte vom Kompakt- bis zum Schaumsystem unabhängig vom anstehenden Wasser einstellbar. Auch liegt ein gutes Haftvermögen auf feuchtem und trockenem Untergrund vor. Während der Injektion in grundwasserführenden Böden kann es infolge der anorganischen Wasserglaskomponente zu einem kurzzeitigen geringen pH-Wert-Anstieg im Wasser kommen [22]

GfK-Materialien

GfK-Elemente bestehen aus Harzsystemen, die mit Glasfasern verstärkt werden. Die Glasfasern bestehen aus korrosionsbeständigem Textilglas. Als Harze werden in der Praxis UP-, EP-, VE- oder PUR-Harze eingesetzt [23].

3.1.3.3 Zemente

Bei den zementhaltigen Materialien ist zwischen Zementmörteln und Zementpasten zu unterscheiden. **Zementmörtel** sind Mischungen aus Zement, Wasser, Zuschlagstoffen kleiner Korngrößen und ggf. Zusatzstoffen (z.B. Gesteinsmehl, Flugasche, Bentonit) und Zusatzmitteln (z.B. Verflüssiger, Dichtungsmittel, Erstarrungsverzögerer, Erstarrungsbeschleuniger, Stabilisatoren, u.a.). **Zementpasten** sind Mischungen aus Zement, Wasser, und ggf. Zusatzstoffen und Zusatzmitteln.

Charakteristisch für injizierfähige Zementmörtel und -pasten sind ihre breiartige bis steife Konsistenz, ihre teilweise kolloidalen Eigenschaften, das Vermögen, sich kaum mit weiterem Wasser zu vermischen, ihre Sedimentationsstabilität und Volumenbeständigkeit. Zemente werden aus diesen Gründen häufig zum Verfüllen von Hohlräumen und großen Porenräumen benutzt, auch wenn vorhandenes Wasser verdrängt werden muss. Vorteile sind die geringen Kosten, gute mechanische Eigenschaften (hohe Druckfestigkeit) und im Zusammenhang mit chemischen Zusatzmitteln ist die Zementherstellung nicht toxisch. Nachteile finden sich darin, dass sie nicht resistent gegen saure Wässer und biologische erzeugte Schwefelsäure sind und sie schlechte rheologische Eigenschaften vorweisen [22].

3.2 Untersuchungsprogramm

3.2.1 Methodik und Vorgehensweise

Einen wesentlichen Schwerpunkt des Untersuchungsvorhabens bilden vergleichende Produkt- und Verfahrenstests. Um die praxisnahe Ausrichtung dieser Tests sicherzustellen, wurde ein Projekt begleitender Lenkungskreis gebildet. Dieser Lenkungskreis setzt sich aus einer Gruppe von Betreibern öffentlicher Kanalnetze zusammen, die sicherstellen, dass die Tests praxisnah, neutral und unabhängig von Firmeninteressen verlaufen. Die Teilnehmer profitieren unmittelbar durch den direkten Einblick in die Prüf- und Verfahrensabläufe und den fachlichen Austausch mit anderen Netzbetreibern. Darüber hinaus konnten die Mitglieder über die Testinhalte, -verfahren und -kriterien entscheiden. Im Rahmen der regelmäßig stattfindenden Arbeitssitzungen wurde das Auswahlverfahren von den Netzbetreibern begleitet und das Testprogramm in Kooperation mit den Netzbetreibern erarbeitet und abgestimmt. Ein wesentliches Ziel des Produkt- und Verfahrenstestes ist es, den öffentlichen Netzbetreibern solide und verlässliche Informationen über Stärken und Schwächen sowie Einsatzmöglichkeiten bzw. -grenzen der am Markt angebotenen Produkte zu verschaffen.

Technisch lassen sich Verfahren zur Stützsanierung insbesondere durch vier charakteristische Qualitätsfaktoren beschreiben:

1. **Roboter-System**
(eingesetzte Maschine, Hersteller),
2. **Sanierungsfirma**
(verantwortliche Mannschaft),
3. **Reparaturverfahren** (Injektions-, Spachtel-/Verpressverfahren bzw. Hutprofile)
(eingesetzte Methoden) und
4. **Harze/Mörtel**
(eingesetzte Materialien).

In der Regel ist die Anzahl der durchführbaren Prüfungen im Rahmen eines vergleichenden Produkt- und Verfahrenstests beschränkt. Im Rahmen des hier beschriebenen Projektes konnten beispielsweise insgesamt sechs Sanierungslose vergeben werden. Daher wurden in Abstimmung mit dem Lenkungskreis Prioritäten bei der Vergabe der Sanierungslose auf Basis der Qualitätsfaktoren gesetzt. Um eine möglichst große Vielfalt der am Markt verfügbaren Roboter-Systeme im Test zu untersuchen, bot sich zunächst eine Vergabe der Lose auf Basis des Kriteriums 1 (eingesetzte Maschinen) an. Hierbei müssen zunächst alle am Markt eingesetzten Verfahren identifiziert werden. Anschließend obliegt es den Herstellern, ob sie die Sanierungen selbst ausführen möchten oder eine Firma ihrer Wahl vorschlagen. Wichtig war in dieser Stufe eine große Variation der Roboter-Technik (Stufe 1). Eine weitere Möglichkeit zur Vergabe der Sanierungslose besteht darin, die verantwortliche Mannschaft (Kriterium 2), also die Sanierungsfirma, als Auswahlkriterium festzulegen. Da jedoch deutlich mehr

Sanierungsfirmen als Roboter-Systeme am Markt aktiv sind, kann dies zu Dopplungen bei den Systemen führen (Stufe 2). Hinsichtlich des Qualitätskriteriums 3 (eingesetzte Methoden) sahen die Netzbetreiber den Untersuchungsbedarf insbesondere bei den Injektions-, Spachtel- und Verpressverfahren. Demzufolge wurde angestrebt, die sechs Sanierungslose mit diesen Methoden zu belegen. Erst wenn dieser Ansatz zu nichtbesetzten Sanierungslosen führen sollte, wird eine Freigabe für andere Verfahren, wie beispielsweise das Hutprofilverfahren erwägt (Stufe 3). Das 4. Qualitätskriterium differenziert nach dem eingesetzten Abdichtungsmaterial. Im Rahmen des hier durchgeführten Tests legten die Netzbetreiber fest, dass dem Hersteller und Verfahrensanbieter oder auch der Sanierungsfirma die Materialauswahl freigestellt bleibt. Das IKT soll die Sanierungsarbeiten begleiten und den Materialeinsatz dokumentieren. Auf Basis dieses stufenweisen Auswahlverfahrens konnten nach der Festlegung der zu sanierenden Schadensbilder die Sanierungslose vergeben werden. Weitere Einzelheiten zur Auswahl der Sanierungsfirmen finden sich im Ergänzungsbericht [6] zu diesem Vorhaben.

3.2.2 Auswahl und Herstellung der Schadensbilder

Während der Einbindung von Hausanschlussstutzen an schlauchlinersanierten Hauptkanälen sollen im Rahmen des Warentests für alle Verfahren gleiche Randbedingungen vorherrschen. Hierzu zählt insbesondere die geometrische Ausbildung der zu sanierenden Schäden. Für die Durchführung von vergleichenden Produkt- und Verfahrenstests ist die Auswahl der Schadensarten bzw. Schadensbilder für die spätere Sanierungsaufgabe von besonderer Bedeutung. Die Festlegung der Schadensbilder erfolgte im Rahmen der Arbeitssitzungen durch die beteiligten Netzbetreiber. Aufgrund der extremen Vielfalt in der Ausprägung von Schäden in der Praxis bestand ein wesentliches Ziel darin, repräsentative Schadensbilder für den Versuchsaufbau festzulegen. Folgende Kriterien wurden dabei berücksichtigt:

- Das Schadensbild muss mit den verfügbaren Reparaturverfahren zu sanieren sein.
- Das Schadensbild muss die Praxisverhältnisse in ausreichendem Maße widerspiegeln.
- Das Schadensbild muss versuchstechnisch reproduzierbar sein, um allen teilnehmenden Herstellern und Verfahrensanbietern die gleichen Startvoraussetzungen zu bieten.

Auf Basis dieser Kriterien wurden unter Berücksichtigung der Erfahrungen der Netzbetreiber drei Schadensbilder identifiziert und festgelegt. Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit des Schadensbildes wurden anschließend Vorversuche durchgeführt, um sicherzustellen, dass für den vergleichenden Produkt- und Verfahrenstest für alle Hersteller/Verfahrensanbieter die gleichen Startvoraussetzungen geschaffen werden können. In einem weiteren Schritt wurde ein Musterversuchsaufbau im Maßstab 1:1 errichtet und dem Lenkungskreis vorgestellt. Zum einen wurde am Beispiel des Musterversuchsaufbaus die Übereinstimmung mit der Praxis überprüft, zum anderen hat-

ten die Mitglieder des Lenkungskeises die Möglichkeit, Änderungen insbesondere zur Verbesserung der Praxisnähe direkt am Musterobjekt vorzunehmen (vgl. Bild 6).



Bild 6 Mitglieder des Lenkungskeises legen Musterversuchsaufbau fest

Darüber hinaus wurde der Musterversuchsaufbau (Sanierungsaufgabe) auch den Herstellern und Verfahrensanbietern vorgestellt. Der Abgleich mit der Industrie diente insbesondere dazu, grundsätzliche Bedenken gegen den Musterversuchsaufbau aufzunehmen. Nach Rücksprache mit den beteiligten Netzbetreibern war die Möglichkeit gegeben, ggf. Änderungen am Aufbau umzusetzen. Nach Abschluss des Abstimmungsprozesses wurden der Musterversuchsaufbau und damit die Sanierungsaufgaben für den vergleichenden Produkt- und Verfahrenstest festgelegt (s. Bild 7).

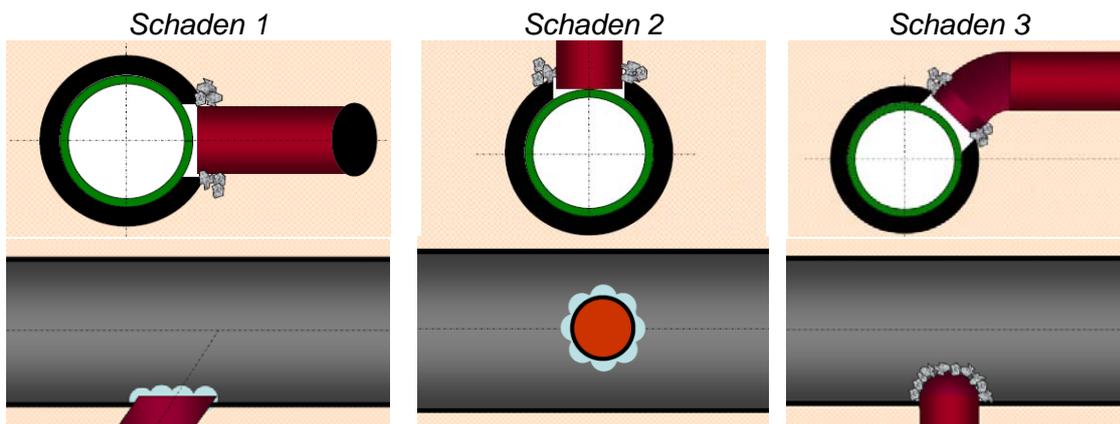


Bild 7 Schematische Darstellung der Schadensbilder (Schnitt oben; Draufsicht unten): Anschluss im Kämpfer des Hauptkanals unter 45° (Schaden 1, links); Anschluss im Scheitel des Hauptkanals (Schaden 2, mitte); Anschluss auf 45° mit direkt folgendem Bogen (Schaden 3, rechts)

Allen drei Schäden liegt zugrunde, dass mit Hilfe der reproduzierbaren Schadensbilder ein „angeschlagener“ Kanal simuliert wird, der einen fehlerhaft eingebauten Anschluss(stutzen) aufnimmt. Die Löcher in den Betonrohren wurden durch jeweils acht

überlappend angeordnete Kernbohrungen mit einem Außendurchmesser von 57 Millimetern hergestellt (vgl. Bild 8).



Bild 8 Lochkranz aus acht einzelnen Kernbohrungen (links) und Kernbohrmaschine (rechts)

Die Kontaktstellen der Rohrverbindungen (Steinzeug- und Betonrohr) sind in der Weise ausgebildet, dass eine ca. 10 cm breite Kiespackung mit der Körnung 8/32 ringförmig um das Steinzeugrohr gelegt und abschließend mit einem Vlies abgedeckt wird. Dieser Aufbau gewährleistet einen ausreichenden Hohlraum für das Injektions- bzw. Verpressgut und reduziert Bodeneinspülungen aus dem Kies-Sand-Gemisch bei ansteigendem bzw. anstehendem Grundwasser im Versuchsstand.

Im Ergebnis liegen für den Warentest die nachfolgend (vgl. Tabelle 1) aufgeführten drei Schadensbilder in der Ansicht von außen vor. Die Innenansichten der Einzelschäden bzw. der geschädigten Anschlussbereiche sind in den entsprechenden Abschnitten 3.3.2ff (Stützsanierungen) dargestellt.

Tabelle 1 Exemplarische Darstellung der einzelnen Schadensbilder an einem Mustersaufbau (nicht Bestandteil des Versuchsaufbaus!)

Schadensbild-Nr.	Schadensbild	Erläuterung
Übersichtsbild aller Schäden an einem Rohrabschnitt		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Verteilung der Schäden in einem Rohrabschnitt; ➤ die Mittelpunkte der Schäden bzw. Steinzeug-Rohrachsen haben untereinander einen Abstand von 0,5 m; ➤ der Mittelpunktsabstand der äußeren Schäden zum jeweiligen Betonrohr-Rand beträgt 0,4 m.
1		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Simulation „angeschlagener, undichter Anschluss“ im Kämpferbereich des Hauptkanals ➤ 45°-Abwinklung von/in der Hauptkanal-Längsachse ➤ Steinzeugrohr DN 150 wird außen an das Betonrohr angelegt
2		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Simulation „angeschlagener, undichter Anschluss“ im Rohrscheitel des Hauptkanals ➤ 90°-Abwinklung von der Hauptkanal-Längsachse ➤ Steinzeugrohr DN 150 wird in das Betonrohr eingesteckt mit geringstmöglichem Abstand zum Schlauchliner (ca. 2 cm)
3		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Simulation „angeschlagener, undichter Anschluss“ zwischen Kämpfer und Rohrscheitel des Betonkanals ➤ 45°-Bogen senkrecht abgehend zur Hauptkanal-Längsachse ➤ Steinzeugrohr DN 150 wird in das Betonrohr/die Schadensstelle eingesteckt (ca. halbe Wandstärke des Betonrohrs)

Da eine Teilaufgabe des Testes die Einbindung von Stützen in einer linersanierten Haltung ist, mussten für die Komplettierung der Schadensbilder in diesem Fall auch geeignete Linersysteme ausgewählt werden. Um die wesentlichen Vertreter dieser Systeme zu untersuchen, wurde jeweils ein Liner aus GFK und einer aus Nadelfilz eingebaut. Der Lenkungskreis entschied, dass der GFK-Liner mit UP-Harz und der Nadelfilzliner mit EP-Harz eingebaut werden sollen. Für die Auswahl der Verfahrensanbieter wurden neben den Netzbetreibererfahrungen auch die Ergebnisse des IKT-Liner-Reports herangezogen, so dass auch die entsprechende Marktverbreitung und Qualität mitberücksichtigt wurden.

Schließlich wurde in den Lenkungskreissitzungen die Fragestellung diskutiert, ob während der Sanierungsausführung ein Fremdwassereintritt simuliert werden soll. Es wurde beschlossen, dass ausschließlich bei dem Schadensbild 1 der Wasserspiegel bis auf die Höhe der Rohrachse der Anschlussleitung DN 150 angehoben wird, um während der Sanierungsmaßnahme einen Fremdwasserzutritt zu erzielen. Dies stellt nach Ansicht der Netzbetreiber einen durchaus praxisnahen Zustand bei derartigen Schäden dar, da häufig infolge der undichten Kanäle in diesen Bereichen das Grundwasser lokal abgesenkt wird. Umso wichtiger ist im Anschluss an die Sanierung bei wieder steigendem Grundwasser die Infiltrationsdichtheit des sanierten Gesamtsystems.

3.2.3 Auswahl der Sanierungsverfahren

3.2.3.1 Vergabe der Sanierungslose am linersanierten Hauptkanal

Stufe 1: Hersteller/ Verfahrensanbieter

Auf Basis des in Abschnitt 3.2.1 sowie im Ergänzungsbericht [6] ausführlich dargestellten Auswahlverfahrens wurde in der Stufe 1 zunächst die Roboter-Technik mit der Vorgabe belegt, keine Maschinentchnik doppelt zu verwenden.

Insgesamt wurden im Sommer 2012 zehn Hersteller bzw. Verfahrensanbieter recherchiert, die Roboter-Systeme nach dem Injektionsverfahren bzw. Spachtel- und Verpressverfahren auf dem Markt anbieten. Die Liste der recherchierten Hersteller oder Verfahrensanbieter wurde den Teilnehmern des Lenkungskreises vorgestellt. Mittels eines gewichteten Votings, wurde durch die Netzbetreiber folgende Rangliste der zu untersuchenden Reparaturverfahren bzw. Geräte-Hersteller festgelegt:

- 1) KA-TE System AG
- 2) Umwelttechnik Franz Janßen GmbH
- 3) Hächler AG Umwelttechnik
- 4) ProKasro Mechatronik GmbH
- 5) IBAK JS Robotics GmbH
- 6) DiTom GmbH
- 7) RS-Technik AG
- 8) IMS GmbH
- 9) IBG Industrie-Entsorgungs-Systeme Steinicke GmbH

10) KRT Kanal-Service AG, Schweiz

Entsprechend dem festgelegten Ranking wurden alle Hersteller oder Verfahrensanbieter der Liste im Hinblick auf die Teilnahme am IKT-Warentest „Stutzensanierung in Fremdwassergebieten“ zur Besichtigung des Musterversuchsaufbaus im Maßstab 1:1 in das IKT eingeladen. Anschließend wurden sie gebeten, Angebote für die anstehende Sanierungsaufgabe einzureichen. Sofern ein Hersteller die Sanierungen nicht selber durchführen kann oder möchte, wurde er gebeten, eine Sanierungsfirma zu empfehlen, die mit der Durchführung der Stutzensanierungen beauftragt werden kann.

Insgesamt gaben von den 10 Verfahrensanbietern lediglich 2 ein Angebot ab. Somit konnten in der Stufe 1 des Auswahlverfahrens folgende zwei Sanierungslose vergeben werden:

- KATEC Kanaltechnik Müller & Wahl GmbH (Empfehlung KA-TE System AG)
- IBG Hydro-Tech GmbH

Stufe 2: Sanierungsfirmen

In der Stufe 2 des Auswahlverfahrens wurde nunmehr lediglich das Sanierungsverfahren vorgegeben. Es sollten weiterhin nur die Verpressverfahren Berücksichtigung finden. So sollten die vier offenen Sanierungslose direkt an Sanierungsfirmen vergeben werden. Dabei sollte das Kriterium Roboter-Technik erst zweitrangig bei der Auswahl mit berücksichtigt werden. Hierzu wurden sämtliche Sanierungsfirmen, die auf der Internetseite der Gütesicherung Kanalbau (www.kanalbau.com) gelistet sind und über das entsprechende RAL-Gütezeichen (RAL-GZ 961, S10.1 bis 4) zur Durchführung von Sanierungen mittels Roboter verfügen, angeschrieben und zur Angebotsabgabe aufgefordert. Ausgenommen von der Angebotsaufforderung waren Hersteller oder Verfahrensanbieter, die bereits in der Stufe 1 des Auswahlverfahrens kontaktiert worden waren. In Erwartung zahlreicher Angebote wurden folgende Auswahlkriterien für die Auftragsvergabe mit den Netzbetreibern abgestimmt:

1. Roboter-System
⇒ Vielfalt wird angestrebt,
2. Angebotspreis
⇒ bei identischen Roboter-Systemen erhält der Günstigere den Zuschlag,
3. Standort-Entfernung der Sanierungsfirma zum IKT
⇒ Favorisierung von Sanierungsfirmen aus NRW,
4. Marktverbreitung des angebotenen Robotersystems
⇒ verbreitete Systeme erhalten den Vorzug.

Vor diesem Hintergrund wurden 52 Sanierungsfirmen angeschrieben und anschließend um Angebotsabgabe gebeten. Von den angeschriebenen Sanierungsfirmen gaben 11 Firmen ein Angebot für die Stutzensanierung ab und weitere 15 Firmen formulierten ein Absageschreiben. Die restlichen 26 Firmen haben weder ein Angebot abgegeben noch eine Absage mit Blick auf die Stutzensanierung erteilt.

Die Preisspanne der abgegebenen Angebote lag zwischen 3.800 – 50.000 Euro (netto). Im Einzelnen wurden von den angeschriebenen Firmen 7x KA-TE Roboter, 2x ProKasro Roboter und jeweils 1x das Sika-Robotersystem und 1x das Strobel-Betonverfahren angeboten.

Es konnte recherchiert werden, dass sowohl die Firma „Umwelttechnik Strobel GmbH“ mit dem „Strobel Betonverfahren“ als auch der Sika-Roboter nicht mehr produziert werden. Entsprechend konnte diesen Firmen mit den beiden vorher genannten Verfahren kein Auftrag für die Teilnahme an dem IKT-Warentest erteilt werden.

Im Preisranking nahmen die Angebote der Firmen mit den KA-TE Robotern die Plätze 1-7 ein. Um jedoch eine möglichst große Vielfalt der am Markt verfügbaren Roboter-Systeme im Test zu untersuchen, wurden die kostenintensiveren Angebote detaillierter betrachtet. Dabei stellte sich infolge von Preisfragen bei den beteiligten Netzbetreibern heraus, dass der Angebotspreis für die Sanierung mit dem ProKasro Roboter 3- bis 10-fach über dem marktüblichen Preis lag. Um nun die Verbreitung der unterschiedlichen Roboter-Systeme zu analysieren, wurden die von den angeschriebenen Sanierungsfirmen eingesetzten Roboter-Systeme recherchiert.

Es zeigte sich, dass mit den vier preisgünstigsten Anbietern durchaus das in Nordrhein-Westfalen am meisten verbreitete Roboter-System (KA-TE) vertreten war. Daher wurden im Ergebnis die vier Firmen mit den günstigsten Angeboten mit der Teilnahme am IKT-Warentest beauftragt.

So konnten bereits in der Stufe 2 des Auswahlverfahrens alle 6 Sanierungslose im IKT-Warentest am linersanierten Hauptkanal an die untenstehend aufgeführten Anbieter vergeben werden:

- ONYX: Onyx Rohr- und Kanal-Service GmbH, Hannover
- KATEC: KATEC - Kanaltechnik Müller & Wahl GmbH, Jünkerath
- KUCHEM: Kuchem GmbH, Neunkirchen-Seelscheid
- PLITT: Plitt Rohrsanierungsgesellschaft mbH, Langenhagen
- IBG: IBG Hydro-Tech GmbH, Büdingen
- SWIETELSKY-FABER: Swietelsky-Faber GmbH Kanalsanierung, Schlierschied

3.2.3.2 Vergabe der Sanierungslose am unsanierten Hauptkanal

Die Lenkungskreismitglieder beschlossen für die Durchführung der Sanierungsarbeiten am unsanierten Hauptkanal, dass zunächst diejenigen Anbieter, die am linersanierten Hauptkanal zum Einsatz kamen, angefragt werden. Im Ergebnis konnten bis auf eine Ausnahme, dem Anbieter „Onyx Rohr- und Kanal-Service GmbH“, die Sanierungslose an dieselben Anbieter wie am linersanierten Hauptkanal vergeben werden.

Der Anbieter „Onyx Rohr- und Kanal-Service GmbH“ plant nach eigenen Aussagen im Nachgang zu den Sanierungen am linersanierten Hauptkanal eine Neuanschaffung seiner Robotertechnik und führt in der Übergangsphase keine weiteren Sanierungen mit dem alten Gerät mehr aus.

Für die Vergabe des letzten Sanierungsloses wurden anschließend die nächsten drei kostengünstigsten Anbieter gemäß Angebotsrangliste der Sanierungsfirmen angeschrieben und anschließend um Angebotsabgabe gebeten. Folgende Anbieter wurden kontaktiert:

- Geiger Kanaltechnik GmbH & Co. KG, Bochum
- DIRINGER & SCHEIDEL ROHRANSIERUNG GmbH & Co. KG, Herne
- MAX BÖGL Bauunternehmung GmbH & Co. KG, Neumarkt

Von den angeschriebenen Anbietern hat GEIGER Kanaltechnik GmbH & Co. KG ein Angebot für die Stutzensanierung mit dem KA-TE-Verfahren abgeben und wurde sodann beauftragt. Die weiteren zwei Anbieter sagten aus Kapazitätsgründen die Teilnahme an dem Warentest ab.

So konnten nach beschriebener Vorgehensweise alle 6 Sanierungslose für die Sanierung am unsanierten Hauptkanal vergeben werden.

3.2.4 Versuchsaufbauten und -durchführung

3.2.4.1 Großversuche an linersanierten Hauptkanälen

Kernstück des Großversuchsstandes ist eine Stahlwanne von 15 m Länge sowie jeweils 6 m Breite und Höhe. Im Rahmen des Projektes wurden in den Versuchstand insgesamt 4 Schachtbauwerke aus Betonfertigteilen in einem Kies-Sand-Gemisch mit einem Größtkorn von 8 mm eingebaut. Die Schächte besaßen einen Innendurchmesser von 1000 mm (Nennweite DN 1000) und eine Gesamtbauhöhe von etwa 5,6 m. In die Schachtunterteile wurden Gerinne und Schachtfutter für den Anschluss von Betonrohrstücken mit der Nennweite DN 300 eingebaut. Jedes einzelne Betonrohrstück je Liner- bzw. Rohrstrang ist Platzhalter für jeweils einen Sanierungsanbieter.

Die schematisch dargestellte Lage von Schächten und Rohrsträngen im Versuchstand können Bild 9 entnommen werden.

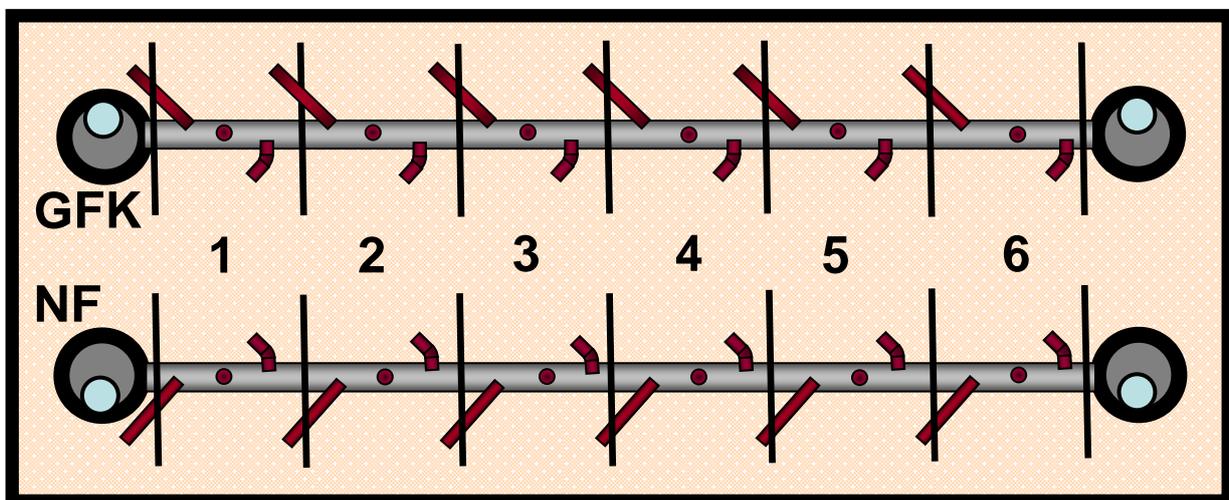


Bild 9 Skizze des Versuchsaufbaus bestehend aus den GFK- und NF-Linersanierten Betonrohr-Strängen mit jeweils sechs einzelnen Rohrabschnitten

Die Schachtunterteile sowie die vorgeschädigten Betonrohrstücke von 1,8 m Länge (vgl. Abschnitt 3.2.1) wurden auf ein ca. 0,5 Meter hohes Planum aus Kies-Sand gebaut (vgl. Bild 10). Die einzelnen Betonrohrstücke sind außerhalb ihres Nenndurchmessers durch Spanplatten voneinander getrennt. Diese Spanplatten (vgl. Bild 10, rechts) haben während der Stützsanierung die Aufgabe, die Ausbreitung von Injektions- bzw. Verpressmaterial auf einen benachbarten Rohr- und somit auch Sanierungsabschnitt zu unterbinden. Die in Bild 11 erkennbaren Aussparungen in den Spanplatten dienen der Durchführung des unter 45° abgewinkelten Anschlussrohres (vgl. hierzu Tabelle 2, Schadensbild-Nr. 1) und haben eine Höhe von 25 cm und eine Breite von 35 cm.

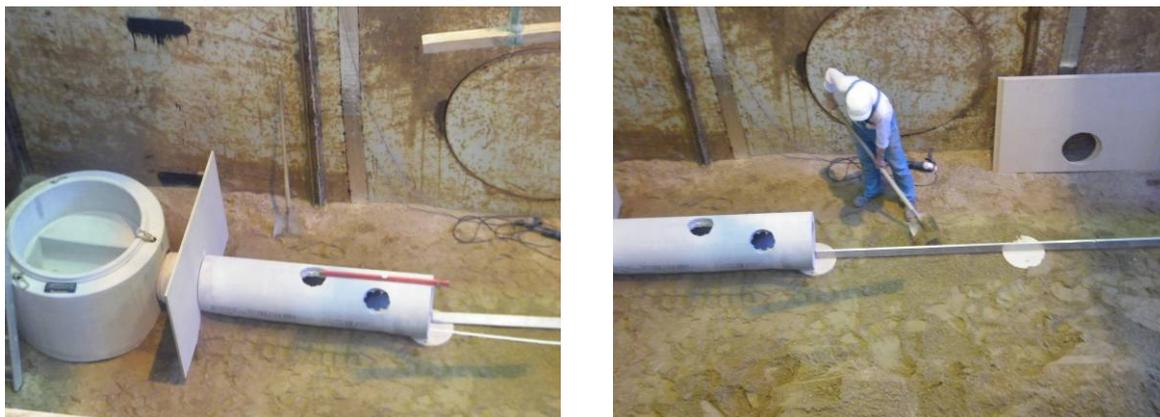


Bild 10 Beispiel für den Aufbau eines Rohrstranges mit Gefälle auf einem Kies-Sand-Planum mit Trennwänden aus Spanplatten

Die Betonrohrstränge waren mit einem Gefälle von etwa 7 ‰ verlegt, um ggf. eindringendes Wasser während der Stützsanierung und der Abarbeitung des Versuchsprogramms aus dem Rohrstrang in die Schächte abführen und von dort herauspumpen zu können.



Bild 11 Für den Linereinbau vorbereitete (links) und in Kies-Sand gebettete Rohrstränge bzw. -stücke (rechts)

Nach dem Aufstellen der beiden Betonrohrstränge konnten die Schlauchliner aus GFK und Nadelfilz durch eine Fachfirma eingebaut werden. Im Einzelnen handelte es sich bei den Schlauchlinern um die Produkte Alphaliner¹ und Cityliner². Die Auswahl dieser Liner wurde durch den Lenkungsreis bestimmt und spiegelt die Situation mit Blick auf zukünftige Sanierungsaufgaben der Teilnehmer wider. Nachfolgend sind wesentliche Arbeitsschritte des Einbaus beider Liner dargestellt:

Einbau des Alphaliners

Nach der Baustelleneinrichtung bereiteten die Sanierungsmitarbeiter den Einbau des Alphaliners vor. Alle hierzu erforderlichen Geräte, Materialien und Werkzeuge wurden

¹ Der Alphaliner zählt zu der Gruppe der GFK-Liner und ist ein Produkt der RELINEEUROPE Liner GmbH & Co. KG. Verwendet wird ein ECR-Glas und ein ungesättigtes Polyesterharz.

² Der Cityliner zählt zu der Gruppe der Nadelfilz-Liner und ist ein Produkt der RS-Technik AG. Verwendet wird ein Nadelfilz aus Polyester und ein Epoxidharz.

in den Großversuchsstand verbracht. Sodann wurde im Endschacht eine Umlenkrolle für einen Seilzug (vgl. Bild 12, links) eingebaut, mit dessen Hilfe der vorkonfektionierte Liner in den Beton-Rohrstrang eingezogen werden konnte.



Bild 12 Einziehen des vorkonfektionierten Liners einschließlich Preliner (links) und Aufstellen des Liners mittels Überdruck, erzeugt mittels Kompressor (mittig) und Überwachungsmonitor mit Druckanzeige (rechts)

Nachdem weitere Vorarbeiten für das Aufstellen des Liners mittels Druckluft abgeschlossen waren, begannen die Mitarbeiter in der vom Linerhersteller vorgegebenen Weise mit der (Über)Drucksteigerung im Liner bis zum Erreichen des Sollwertes von ca. 500 mbar (vgl. Bild 12, mittig/rechts).



Bild 13 Herablassen der UV-Lampenkette in den Großversuchsstand (links), Durchfahren des Rohrstrangs mit der Lampenkette (mittig) und Entfernen von Reststücken aus dem Schachtgerinne (rechts)

Zur Aushärtung des Liners mit ultraviolettem Licht ist bereits vor der Beaufschlagung des Rohrstrangs mit Druckluft die erforderliche UV-Lampenkette (vgl. Bild 13, links) in die Haltung eingebracht und an die Steuereinheit im Baustellenfahrzeug angeschlossen worden. Die acht UV-Lampen mit jeweils 650 Watt Leistung wurden sukzessive eingeschaltet und mit der vorgegebenen Geschwindigkeit von etwa 1,2 Meter/Minute durch den Liner-/Rohrstrang gezogen (vgl. Bild 13, mittig). Damit war der Alphaliner hergestellt. Sämtliche Gerätschaften und Werkzeuge zur Herstellung wurden anschließend abgebaut und Rest- bzw. Probestücke des Liners aus den beiden

Schachtgerinnen entfernt (vgl. Bild 13, rechts). Die gewonnenen Linerproben wurden zeitnah im IKT-Prüflabor auf ihre Dichtigkeit und Festigkeit untersucht und die Linersanierung abgenommen.

Einbau des Cityliners

Die Sanierungskolonne positionierte zunächst die Baustellenfahrzeuge um den Großversuchsstand, um in einem nächsten Schritt auf der Empore des GVS ein Gerüst aufzubauen. Das Gerüst bot somit eine ausreichende Höhe für die Befestigung des Preliners (vgl. Bild 14, links) und für das spätere Einbringen bzw. „Einstülpen“ des Nadelfilzliners mit einem erforderlichen Wasserdruck von 0,7 bar (entspricht 7 m Wassersäule). Der Preliner wurde mit einem Luftstrahl in den Rohrstrang eingeblassen. Anschließend bereiteten die Sanierer die Maschinenteknik und den Nadelfilzschlauch für die Vakuum-Tränkung mit Epoxidharz vor. Nachdem der Schlauch mit der vorgesehenen Menge Epoxidharz getränkt worden war, wurde er mit Hilfe von Andruckrollen gewalzt und für den Transport mittels Kran in den Großversuchsstand zusammengelegt (vgl. Bildfolge in Bild 14 von links nach rechts).



Bild 14 Einziehen des Preliners in die Haltung, Tränken des Nadelfilzschlauchs mit Epoxidharz, Zusammenlegen und Verfrachten des getränkten Nadelfilzschlauchs zum Großversuchsstand (von links nach rechts)

Auf dem Gerüst am Großversuchsstand angekommen, fädelt der Mitarbeiter den getränkten Nadelfilzschlauch in den Preliner ein und begann mit der Wasserfüllung für den Einspülvorgang (vgl. Bild 15, links). In der Zwischenzeit positionierten weitere Mitarbeiter der Sanierungsfirma Temperaturfühler im Rohrstrang, um die erforderlichen Temperaturkurven für die Aushärtung des Liners mit Warmwasser fahren und kontrollieren zu können. Bild 15, mittig, zeigt den wassergefüllten Schlauch und lässt die Kabel der Thermometer/Temperaturfühler erkennen. Die Aushärtephase des Liners einschließlich der Aufwärmphase des Wassers dauerten insgesamt etwa neun Stunden. Das Herunterkühlen des Wassers auf Umgebungstemperatur nahm eine vergleichbare Zeitdauer in Anspruch.



Bild 15 Einbringen des getränkten Nadelfilzschlauchs durch den Preliner in die Haltung (links) mit Wasserdruck (mittig), Entfernen von Liner-Reststücken aus dem Schacht (rechts)

Mit der Wasserfüllung im Schlauchliner führte die Sanierungsfirma eine Dichtheitsprüfung gemäß DIN EN 1610 [18] durch. Die zugegebene Wassermenge lag mit 0,8 Litern deutlich unterhalb der zulässigen Wassermenge von etwa 2 Liter, so dass die schlauchlinersanierte Haltung die Anforderungen gemäß [18] erfüllt. Ein Wasserantritt aus der Haltung konnte während der Prüfung nicht beobachtet werden.

Nach dem Abpumpen des Wassers aus dem Großversuchsstand wurden sämtliche Gerätschaften und Werkzeuge zur Herstellung des Cityliners abgebaut und Rest- bzw. Probestücke des Liners aus den beiden Schachtgerinnen entfernt (vgl. Bild 15, rechts). Die gewonnenen Linerproben wurden zeitnah im IKT-Prüflabor auf ihre Dichtheit und Festigkeit untersucht und die Linersanierung abgenommen.

Damit waren beide Kanalhaltungen mit unterschiedlichen Linern saniert, so dass der Versuchsstand weiter aufgebaut werden konnte.

Nachstehende Tabelle 2 zeigt exemplarisch die drei im Betonrohr eingebauten Schadensbilder je Liner und somit die Grundlage der zu sanierenden Anschlussbereiche für die eingesetzten sechs Verfahren.

Tabelle 2: Exemplarische Darstellung der einzelnen Schadensbilder in den Betonrohren in Abhängigkeit des Linertyps

Schadensbild		GFK-Liner	Nadelfilzliner (NF)
Nr.	Muster	[-]	[-]
1			
2			
3			

In einem nächsten Schritt wurde an jeder einzelnen Schadensöffnung (1 bis 36) der Liner angebohrt (Durchmesser Bohrloch: 10 mm), um daraufhin mit einem nummerierten Korken gekennzeichnet und verschlossen zu werden (vgl. Bild 16). Diese Vorgehensweise ermöglicht den Sanierern zu Beginn der (Fräs)Arbeiten die zweifelsfreie Identifizierung der zugewiesenen Schadstellen.



Bild 16 Beispiel für in den GFK- (links) und Nadelfilzliner (rechts) eingesetzte Korken zur Kennzeichnung von Innen

Nach der Kennzeichnung aller Schadens- bzw. Sanierungsstellen wurden die Rohranschlüsse aus Steinzeug einschließlich der umgebenden Vliese und Kiespackungen hergestellt. Die Vorgehensweise beim Aufbau ist in den nachfolgenden Bildern dargestellt. Parallel zum Versuchsaufbau wurden die Steinzeugrohre auf der dem Anschlussbereich abgewandten Seite mit sogenannten Verschlussstellern (vgl. Bild 17) versehen, die für den Fall einer Innen-Dichtheitsprüfung (siehe Prüfprogramm in Abschnitt 3.2.5) über eine Entlüftungseinrichtung verfügen. Um die Dichtheit dieser Verschlusssteller zu überprüfen, wurde stichprobenhaft jedes dritte Steinzeugrohr verschlossen und mit 0,5 bar Wasserinnendruck beaufschlagt. Jeder überprüfte Verschlusssteller war für eine Dauer von 15 Minuten dicht.



Bild 17 Exemplarisch dargestellte Prüfung der Verschlusssteller auf Wasserdichtheit, Versuchsaufbau (links) und Detailbild des Verschlussstellers mit Entlüftungsvorrichtung, eingebaut im Steinzeugrohr (rechts)

Die vorbereiteten Anschlussleitungen wurden in der Reihenfolge der Schadensbilder 1, 3 und 2 eingebaut - entsprechend der Lage am Betonrohr aufgehend von unten nach oben. Somit wurden zunächst 12 Rohranschlussbereiche mit dem Schadensbild 1 hergestellt.



Bild 18 Schadensbild 1: Anlegen des vorbereiteten Steinzeugrohrs auf Vlies und Kies (links), Auffüllen der Kiespackung (mittig) und Überschütten des Rohranschlussbereichs mit Kies-Sand (rechts)

Ein Geotextil (Flächengewicht: 150 g/m²) der Abmessungen ca. 2 m x 2 m wird auf dem anstehenden Kies-Sand-Boden ausgebreitet, anschließend wird der Inhalt eines 10-Liter-Eimers Grobkies ausgebreitet und das Steinzeugrohr darauf gelegt (vgl. Bild 18, links). Der Inhalt eines weiteren Eimers Grobkies wird sodann auf das Steinzeug-

rohr bzw. um den Rohreinbindebereich gelegt (vgl. Bild 18, mittig). In einem nächsten Schritt wird das Geotextil um die Kiespackung gelegt bzw. gefaltet und anschließend mit Kies-Sand-Boden überdeckt (vgl. Bild 18, rechts).

Die Steinzeugrohre (Schadensbild 1) sind mit einem Gefälle von etwa 2 % verlegt. Nach Herstellung aller zwölf Schadensbilder 1 sind an die Verschlusskappen Entlüftungsschläuche angeschlossen worden (vgl. Bild 19, rechts). Der Bodenaufbau und die Verdichtung des Bodens erfolgten in händischer Weise bis zur Höhe des Rohranschlussbereiches von Schaden 3 (nächst höhere Einbau-Lage am Betonrohr zwischen Kämpfer und Scheitel). Darüber hinaus sind 16 vertikal stehende, mit Geotextil umwickelte Drainagerohre DN 100 in einem 4 x 4 - Raster (vgl. Bild 19, links) in den Versuchsstand eingebaut worden, um während der Versuchsdurchführung den Wasserstand mittels Lichtlot von der Versuchsstandoberkante messen zu können.



Bild 19 Versuchsaufbau nach Herstellung von Schadensbild 1 (links) und angeschlossene Entlüftungsschläuche an Rohren für Schaden 1 (rechts)

In gleicher Weise wurden die Schadensbilder 3 und 2 sukzessive aufgebaut. Aufgrund der stets gleichen Herstellung sowie Arbeitsweise des technischen Personals wiederholten sich die Arbeitsabläufe weitgehend. Nachfolgend sind exemplarisch Bilder des fortschreitenden Versuchsaufbaus (vgl. Bild 20 und Bild 21) dargestellt.



Bild 20 Schadensbild 3: Kies auf Vlies vor Auflegen der Rohrverbindung (links), Auffüllen der Kiespackung (mittig) und Überschütten des Rohranschlussbereichs mit Kies-Sand (rechts)



Bild 21 Schadensbild 2: Einsetzen des vorbereiteten Steinzeugrohrs in das Betonrohr (links), Auffüllen der Schadstelle mit Kies und Vlies (mittig) und Überschütten des Rohranschlussbereichs mit Kies-Sand (rechts)

Nachfolgende Bilder zeigen den jeweiligen Einbauzustand zum Zeitpunkt der Fertigstellung der Schadensbilder 3 (vgl. Bild 22, links) und 2 (vgl. Bild 22, rechts).



Bild 22 Versuchsaufbau nach Herstellung von Schaden 3 (links) und Auffüllen des Versuchstandes mit Kies-Sand nach Einbau der Schadensbilder 2 (rechts)

Sobald die Anschlüsse vollständig im Kies-Sand-Boden eingebaut sind, kann der Boden in größeren Mengen eingebaut werden bis zu einer Höhe von etwa 2 Metern über Grund bzw. Bodenplatte des Großversuchsstandes. Dieses Planum bildet so dann die Grundlage für einen weiteren Versuchsaufbau zur Untersuchung von Auftriebsbewegungen von Rohrleitungen unter Grundwassereinflüssen. Die detaillierte Darstellung dieses Versuchsaufbaus findet sich in Abschnitt 6. Bild 23 zeigt exemplarisch die Versuchsstrecke, die nunmehr Bestandteil des Gesamtaufbaus im Versuchstand ist.



Bild 23 Versuchsaufbau bzw. Lage der Auftriebsleitung

Nachfolgend ist in Bild 24 und 25 der weiter voranschreitende Aufbau dargestellt.



Bild 24 Fortschreitender Aufbau der Schächte und Auffüllen der Zwischenräume bzw. des Versuchsstandes mit Kies-Sand

Die Schächte der beiden Haltungen für die Stutzensanierungen schließen nach oben hin mit einem Konus ab, der etwa plangleich mit der Höhe der Versuchsstand-Oberkante liegt. Die Oberkante des eingebauten Bodens befindet sich etwa 10 bis 15 Zentimeter unterhalb dieser. Die beiden Schächte der Haltung für die Auftriebsuntersuchungen sind mit jeweils einer Abdeckplatte versehen (vgl. Bild 25, rechts).



Bild 25 Großversuchsstand im Aufbau mit lagenweisem Einbringen des Bodens (links) und vollständig für die Untersuchungen hergestellt (rechts)

Bild 25, rechts, zeigt die vollständig aufgebauten Großversuche bereits in Betrieb.

3.2.4.2 Großversuche an unsanierten Hauptkanälen

Kernstück dieser Untersuchungen sind die beiden mittelformatigen Versuchsstände von jeweils etwa 5,7 m Länge sowie 2,4 m Breite und 2,8 m Höhe. Im Rahmen des Projektes wurden in die Versuchsstände je ein Schachtbauwerk aus Betonfertigteilen in einem Kies-Sand-Gemisch mit einem Größtkorn von 8 mm eingebaut. Die Schächte besaßen einen Innendurchmesser von 1000 mm (Nennweite DN 1000) und eine Gesamtbauhöhe von etwa 2,9 m. In die Schachtunterteile wurden Gerinne und Schachtfutter für den Anschluss von Betonrohrstücken mit der Nennweite DN 300 eingebaut.

Die schematisch dargestellte Lage des Schachtes sowie der eingebauten Rohre im Versuchsstand können Bild 26 entnommen werden.

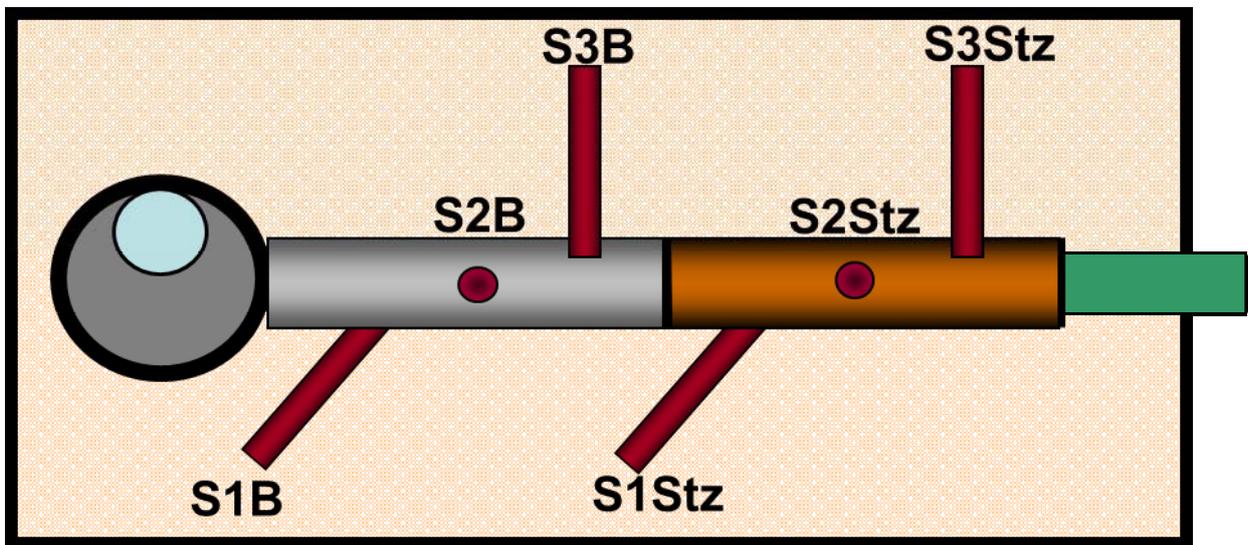


Bild 26 Skizze des Versuchsaufbaus bestehend aus einem Betonschacht mit angeschlossenem Beton- (B), Steinzeug- (Stz) und PVC-Rohr als Hauptkanal DN 300 sowie Steinzeugrohren DN 150 als Hausanschlüsse mit Schäden S1 bis S3

Um eine weitgehend dichte Verbindung der Beton-, Steinzeug- und PVC-Rohre herstellen zu können, wurden für die Werkstoffwechsel entsprechende Adapterkupplungen eingebaut (vgl. Bild 27, rechts). Die Rohrdurchführung dient der Vereinfachung von Sanierungs- und Inspektionsarbeiten (vgl. Bild 27, mittig). Die Schachtunterteile sowie die vorgeschädigten Rohrstücke sind auf ein ca. 0,3 Meter hohes Planum aus Kies-Sand gesetzt worden (vgl. Bild 27, links).



Bild 27 Abdichtung des Containers mittels Teichfolie (links), Öffnung in der Containerwand zur Rohrdurchführung (mittig), Verbindung der Beton-Steinzeug-PVC-Rohrstücke mittels Adapterkupplungen (rote Pfeile, rechts)

Jeder Versuchsstand ist Platzhalter für jeweils eine Sanierungsfirma, d. h. es wurden insgesamt sechs Versuchsstände in gleicher Weise neu aufgebaut. Der somit aus drei Werkstoffen zzgl. Adapterkupplungen bestehende Hauptkanal wurde stets mit einem

Gefälle von etwa 7 ‰ verlegt, um eindringendes Wasser während der Reparaturarbeiten und der Abarbeitung des Versuchsprogramms aus dem Rohrstrang abführen, am PVC-Rohrauslauf in einer Wanne sammeln und von dort wieder zurück in den Versuchsstand pumpen zu können. Auf diese Weise konnte mit Blick auf den geforderten Außenwasserdruck ein nahezu stationärer Zustand bzgl. des Wasserstandes im Versuchsstand erreicht werden.

Darüber hinaus konnten Infiltrationsmessungen durchgeführt und die Infiltrationen ggf. einzelnen Schäden zugeordnet werden.



Bild 28 Einbau der Hausanschlussleitungen mit Schaden 1 (links), 2 (mittig) und 3 (rechts)

Die Ausprägung der einzelnen Schadensbilder an den Rohrelementen des Hauptkanals sind in Tabelle 3 dargestellt. Diese wurden im Vorfeld ihres Einbaus in gleicher Weise für alle Versuchsaufbauten hergestellt.

Nachdem der Hauptkanal einschließlich Schachtanschluss und Rohrdurchführung aus dem Container heraus aufgebaut worden war, ist bis zur Höhe des jeweils anstehenden Schadens bzw. Rohranschlusses Boden aufgefüllt und verdichtet worden. Sodann konnten die Hausanschlussleitungen an und in die schadhaft hergestellten Löcher des Hauptkanals gelegt werden. Die Bilder in Tabelle 3 zeigen die Rohranschlussbereiche mit Geotextilen (Flächengewicht: 150 g/m²) und Kiespackungen (Körnung 16/32, Menge ca. 20 Liter). Die Anordnung beider Elemente hat versuchstechnische Gründe: Durch „Einpacken“ der Schadstellen mit einem Geotextil soll der Eindrang von Sand unterbunden werden, die Kiespackung im unmittelbaren Anschlussbereich erzeugt hier einen Hohlraum. Auf diese Weise können bedingt durch Undichtigkeiten hervorgerufene Bodenausspülungen nachempfunden werden.

Tabelle 3 Exemplarische Darstellung (Außenansicht) der einzelnen Schäden am Hauptkanal DN 300 sowie mit Hausanschluss (HAS)

Nummer Schadensbild	Betonrohr		Steinzeugrohr	
	Ansicht Hauptkanal – Ansicht mit HAS		Ansicht Hauptkanal – Ansicht mit HAS	
S1				
S2				
S3				

Der Schaden 1 zeichnet sich dadurch aus, dass das Steinzeugrohr der Anschlussleitung an das Rohr des Hauptkanals seitlich unter einem Winkel von 45° angelegt ist. Das Steinzeugrohr am schadhaften Anschluss 2 ist in das Rohr des Hauptkanals zur Hälfte eingesteckt, im Wesentlichen als Absturzsicherung während des Versuchsaufbaus. Das Steinzeugrohr im Bereich von Schaden 3 ist derart in den Hauptkanal eingesteckt, dass seine untere Rohrhälfte etwa zwei Zentimeter weit einragt (vgl. Bild 29).



Bild 29 Schaden 3, Aufbau im Versuchszustand: einragender Steinzeug-Rohranschluss DN 150 in das Beton- (links) und Steinzeugrohr DN 300 (rechts)

Nachdem die sechs Rohranschlüsse bzw. Schäden hergestellt wurden, musste bis zur Vervollständigung des Aufbaus sukzessive Sand eingebaut und die Anschlussleitungen bis zur Container-Oberkante verlängert werden (vgl. Bild 30).

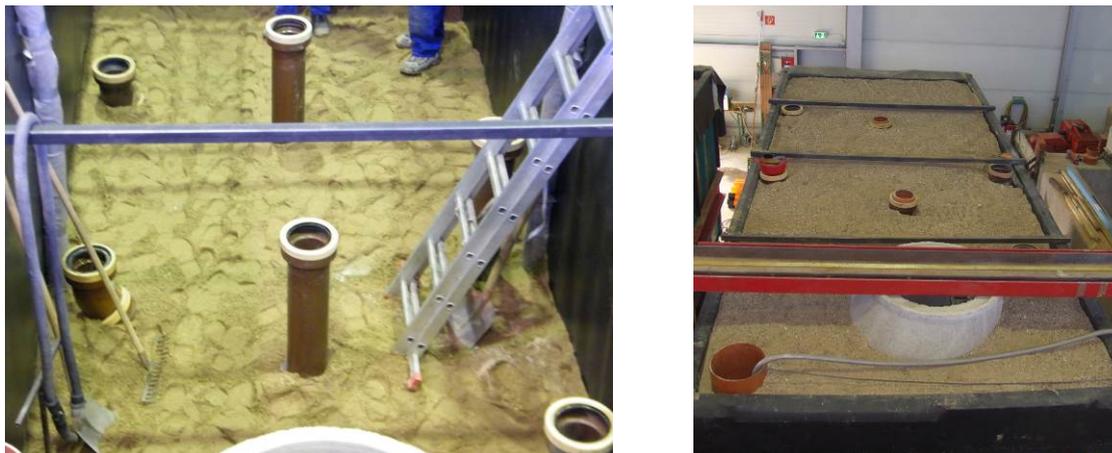


Bild 30 Eingebaute Hausanschlüsse DN 150 mit Sand umgeben (links) und vollständig aufgebauter Versuchsstand (rechts)

Zwei Drainagerohre zur Versickerung von Wasser bspw. aus unzureichend sanierten Schadstellen sind jeweils in der Mitte der Versuchsstand-Längsseiten angeordnet. Darüber hinaus befindet sich in der Ecke links vom Schacht (vgl. Bild 30, links) ein PVC-Rohr zur Kontrolle des Wasserstands und zur Befüllung des Versuchsstandes mit Wasser.

Der auf dem Schachtkonus liegende und am Container verspannte Stahlträger dient als Auftriebssicherung, um unkontrollierte Bewegungen des Versuchsaufbaus bedingt durch einen möglichen Auftrieb sicher verhindern zu können.

3.2.5 Versuchs- und Prüfprogramm

3.2.5.1 Großversuche an linersanierten Hauptkanälen

Der Versuchsaufbau im Großversuchsstand wurde, wie vorab beschrieben, für die Stützsanierungen hergestellt. Mit Blick auf die Anforderungen der projektbeteiligten Netzbetreiber ist der Wasserspiegel im Großversuchsstand vor Beginn der Sanierungsarbeiten auf ein Niveau von einem Meter über Rohrscheitel der beiden Hauptkanäle angehoben worden, um den Bodenkörper einschließlich der Sanierungsbereiche zu durchfeuchten. Nach 24 Stunden Haltezeit ist der Wasserstand um etwa 1,2 Meter für die ersten Sanierungsarbeiten abgesenkt worden, die am tiefsten Punkt der Kanalhaltungen stattfanden. Somit war zunächst lediglich ein Wassereindrang an den Stützen 16 und 34 (Schadensbild 1) vorhanden. Da die Sanierungen haltungsaufwärts durchgeführt wurden, ist der Wasserstand schrittweise, entsprechend der Lage des jeweiligen Sanierungsabschnittes bzw. -loses, um ca. 2 cm angehoben worden. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass an jedem Sanierungslos ein Wassereindrang am Schaden 1 vorhanden war.

Die Vorgaben der Netzbetreiber, für die Stützsanierung im Kämpfer einen Wassereindrang zu simulieren, waren somit erfüllt. Mitarbeiter des IKT begleiteten die Sanierungsarbeiten. Die Dokumentation der einzelnen Sanierungen findet sich zusammengefasst in den entsprechenden Abschnitten, die im Wesentlichen einheitlich aufgebaut sind und Informationen zu den **Sanierungsfirmen**, eingesetzten **Materialien** sowie

den **Fräs-** und **Verpressarbeiten** enthalten. Darüber hinaus sind die **Ergebnisse der optischen Inspektionen** aller sanierten Stutzen mit Blick auf deren **Infiltrationsdichtheit** während der einzelnen Phasen des Prüfprogramms aufgeführt. Tabelle 4 gibt eine Übersicht zu den beteiligten Dienstleistern und der eingesetzten Roboter-technik sowie den verwendeten Verpressharzen.

Tabelle 4 Übersicht zu den beauftragten Dienstleistern für die Stutzensanierung am linersanierten Hauptkanal

Sanierungsfirma	Robotertechnik	Verpressharze
Onyx Rohr- und Kanal-Service GmbH, Hannover	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: KA-TE ▪ Verpresseinheit: KA-TE ▪ Baujahr: ca. 1992 	<ul style="list-style-type: none"> • Epoxonic Ex 1824 rapid • Epoxonic Ex 1355
KATEC - Kanaltechnik Müller & Wahl GmbH, Jünkerath	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: KA-TE ▪ Verpresseinheit: KA-TE ▪ Baujahr: ca. 2008 	<ul style="list-style-type: none"> • Epoxonic Ex 1824 rapid • Epoxonic Ex 1013 • MC Konudur Robopox 10
Kuchem GmbH, Neunkirchen-Seelscheid	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: KA-TE ▪ Verpresseinheit: KA-TE ▪ Baujahr: ca. 1997 	<ul style="list-style-type: none"> • Epoxonic Ex 1824 rapid
Plitt Rohrsanierungsgesellschaft mbH, Langenhagen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: KA-TE ▪ Verpresseinheit: KA-TE ▪ Baujahr: nicht bekannt 	<ul style="list-style-type: none"> • Sika RoboTech-61
IBG Hydro-Tech GmbH*, Büdingen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: Hydro Cut ▪ Verpresseinheit: Hydro Tech. ▪ Baujahr: ca. 2012 	<ul style="list-style-type: none"> • Epoxonic Ex 1824 rapid
Swietelsky-Faber GmbH Kanalsanierung, Schlierschied	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: KA-TE ▪ Verpresseinheit: KA-TE ▪ Baujahr: 2011 	<ul style="list-style-type: none"> • Resinnovation Harz 10

* Die Fräsarbeiten wurden von einem Mitarbeiter der Fa. Horst Drzygsa, Bremen, durchgeführt.

Nach Abschluss aller Sanierungsarbeiten durch die beauftragten Firmen und vor dem Anheben des Wasserstandes im Großversuchsstand führten Mitarbeiter des IKT eine Kamerabefahrung durch. Diese erste Inspektion stellt somit den Ausgangszustand der sanierten Stutzen dar vor Beginn des Prüfprogramms. Der auf Rohrachse anliegende Grundwasserstand, der für die Sanierungsarbeiten der einzelnen Firmen jeweils eingestellt worden ist, wurde bis zur weiteren Flutung beibehalten. Im Einzelnen legten die Lenkungskreismitglieder zur Überprüfung der Infiltrationsdichtheit der Reparaturmaßnahmen am schlauchlinersanierten Hauptkanal folgende Reihenfolge und den Umfang für die Prüfungen fest:

- 0. Wasserspiegel auf jeweils Höhe Schaden 1 (Ausgangszustand)**
(Ausführung der Stutzensanierung durch Anbieter)
- 1. Wasserspiegel anheben**
(Niveau: 1 Meter Höhe über Rohrscheitel, Kurzzeit – 1 Tag),
- 2. Optische Inspektion**
(Kontrolle der Sanierungen bei anstehendem Wasser),
- 3. Absenken des Wasserspiegels**
(Niveau: bis auf Rohrsohle Hauptkanal),
- 4. HD-Reinigungs-Standard**
(HD-Reinigung mit max. 80 bar Druck an der Düse, 15 Reinigungs-Zyklen),
- 5. Optische Inspektion**
(Kontrolle der Sanierungen nach der Kanalreinigung),
- 6. Wasserspiegel anheben**
(Niveau: 1 Meter Höhe über Rohrscheitel (Kurzzeit – 1 Tag)),
- 7. Optische Inspektion**
(Kontrolle der Sanierungen bei anstehendem Wasser),
- 8. Wasserspiegel anheben**
(Niveau: 2 Meter Höhe über Rohrscheitel (Kurz- und Langzeit mit 4 = 2+2 Monaten)),
- 9. Optische Inspektion**
(Kontrolle der Sanierungen bei anstehendem Wasser),
- 10. Absenken des Wasserspiegels**
(Niveau: bis auf Rohrsohle Hauptkanal),
- 11. HD-Reinigung-Maximum**
(HD-Reinigung in Anlehnung an DIN EN 19523, 5 Reinigungs-Zyklen),
- 12. Optische Inspektion**
(Kontrolle der Sanierungen nach der Kanalreinigung),
- 13. Außenwasserdruck stufenweise anheben**
(Niveau: 2, 3, 4 und 4,5 Meter über Rohrscheitel mit kurzzeitiger Haltedauer),
nach jeder Belastungsstufe jeweils optische Kontrolle,
- 14. Wasserspiegel halten**
(Niveau: 4,5 Meter über Rohrscheitel mit einer Haltedauer von 2 Monaten –
Langzeit, Durchführung optischer Kontrollen)
- 15. Ablassen des Wassers aus dem Großversuchsstand,**

16. Ausbau des Bodens

(Freilegen der Versuchsstrecke bzw. der Sanierungen),

17. Prüfungen mit Innenwasserdruck

(Belastung je Sanierung mit 0,1 / 0,3 / 0,5 bar mit optischer Kontrolle von außen).

Sämtliche Programmpunkte wurden durch Mitarbeiter des IKT begleitet und dokumentiert. Zum Anheben des Wasserstandes wird Wasser durch bis zu sechs Öffnungen in der Bodenplatte des Großversuchsstandes eingelassen. Der Versuchsstand kann mit einem Zufluss von maximal 9 m³/h geflutet werden. Um den Wasserstand mittels Lichtlot von der Versuchsstandoberkante (vgl. Bild 31, links) messen zu können, sind insgesamt 16 Messstellen in den Versuchsstand eingebaut worden (vgl. Bild 19, links). Somit ist sichergestellt, dass die jeweils relevanten Wasserstandshöhen ermittelt werden können, z. B. im Vorfeld einer TV-Inspektion mittels Kamerafahrwagen (vgl. Bild 31, rechts).



Bild 31 Messung des Wasserstandes mittels Lichtlot (links); Kamerabefahrung zur Erfassung des Zustandes der einzelnen Stutzen (rechts)

Die im Prüfprogramm durch die Lenkungskeismitglieder festgelegten Untersuchungen bzw. Belastungsszenarien sehen zusätzlich zur Beanspruchung der sanierten Stutzen durch Außenwasserdruck auch Betriebsbeanspruchungen aus Hochdruck-Kanalreinigungen (HD-Reinigung) vor. Diese werden gemäß Prüfprogramm zu zwei verschiedenen Zeitpunkten und in zwei unterschiedlichen Intensitäten durchgeführt. Nachdem der Wasserstand von einem Meter nach der ersten Kurzzeitbelastung wieder abgesenkt worden ist und der Zustand der sanierten Stutzen mittels TV-Inspektion dokumentiert wurde, sind beide Kanalhaltungen mit maximal 80 bar Druck an der Düse und einer Wasserdurchflussmenge von bis zu 225 l/min jeweils 15 mal gereinigt worden. Verwendung fand eine Rundstrahldüse mit acht Einsätzen (vgl. Bild 32, rechts). Die Vorgehensweise bzw. der Aufbau für die HD-Reinigung ist in Bild 32 dargestellt. Aufgrund der Fließrichtung der Kanalhaltungen sowie der Notwendigkeit einer akzeptablen Schlauchführung musste das Reinigungsfahrzeug hinter dem Versuchsstand stehen - und somit außerhalb der Versuchshalle. Auf diese Weise konnte si-

chergestellt werden, dass die Reinigungsdüse über Umlenkrollen in die Haltungen eingebracht und diese gemäß den Vorgaben gereinigt werden konnten.

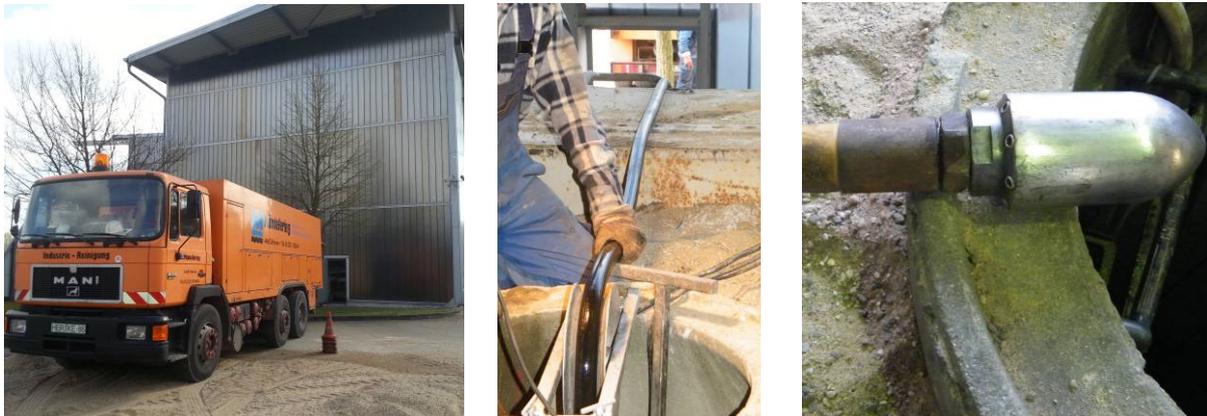


Bild 32 Reinigungsfahrzeug (links), Führung des Hochdruckschlauches vom Fahrzeug in den Schacht (mittig) und eingesetzte Reinigungsdüse (rechts)

Auch nach Abschluss dieser ersten HD-Reinigung wurden die Haltungen wiederum optisch inspiziert und die Ergebnisse bzw. etwaige Zustandsveränderungen aufgenommen. Diese finden sich in den einzelnen Abschnitten zur Stützsanierung (vgl. Abschnitt 3.3.2ff). In gleicher Weise wurde die zweite HD-Reinigung durchgeführt, jedoch mit höherem Druck an der Düse von 100 bar sowie einer Wasserdurchflussmenge von ca. 280 l/min, dafür jedoch nur mit fünf Reinigungszyklen je Haltung.

Für diese zweite Hochdruckreinigung wurde wiederum der Grundwasserstand im Versuchsstand abgesenkt und für die weiteren, kurzzeitigen Außenwasserdruckstufen erneut angehoben. Die zweimonatige Außenwasserdruckbelastung von 4,5 m Höhe des Grundwasserspiegels über Rohrscheitel wurde im Anschluss daran aufgebracht.

In regelmäßigen (wöchentlichen) Kanalbefahrungen wurde der Zustand der einzelnen Stützen aufgenommen und ausgewertet. Nach Abschluss der Außenwasserdruckbelastungen begann der Rückbau des Versuchsstandes, bis die Haltungen nahezu vollständig freigelegt waren.



Bild 33 Dichtheitsprüfung an einzelnen Rohrabschnitten mit sanierten Stutzen: Kontrolle mittels TV-Kamera (links) und Einstellen der korrekten Druckhöhe (rechts)

Die nunmehr freigelegten Stutzen konnten somit von außen bei den abschließend durchgeführten Dichtheitsprüfungen mit Wasserinnendruck von 0,1 – 0,3 – 0,5 bar auf Wasseraustritt kontrolliert werden (vgl. Bild 33). Schließlich wurden die beiden Haltungen in einzelne Leitungsabschnitte (je Sanierungsfirma) getrennt und aus dem Versuchsstand geborgen für eine weitere Inaugenscheinnahme.

3.2.5.2 Großversuche an unsanierten Hauptkanälen

Der Versuchsaufbau in den mittelformatigen Versuchsständen wurde, wie vorab beschrieben, für die Stutzensanierungen hergestellt. Mit Blick auf die Anforderungen der projektbeteiligten Netzbetreiber ist der Wasserspiegel im Vorfeld der Sanierungen auf eine Höhe angehoben worden, die einen geringfügigen Wassereintritt am Schaden 1 des Beton- und Steinzeugrohrs zur Folge hat. Dieser Zustand wurde für die Sanierungsarbeiten beibehalten. Die beiden anderen Schadensbilder wurden ohne Wasserzutritt repariert. Die Vorgaben der Netzbetreiber, für die Stutzensanierung im Kämpfer einen Wassereindrang zu simulieren, waren somit erfüllt.

Mitarbeiter des IKT begleiteten die Sanierungsarbeiten. Die Dokumentation der einzelnen Sanierungen findet sich zusammengefasst in den entsprechenden Abschnitten, die im Wesentlichen einheitlich aufgebaut sind und Informationen zu den **Sanierungsfirmen**, eingesetzten **Materialien** sowie den **Fräs-** und **Verpressarbeiten** enthalten. Darüber hinaus sind die **Ergebnisse der optischen Inspektionen** aller sanierten Stutzen mit Blick auf deren **Infiltrationsdichtheit** während der einzelnen Phasen des Prüfprogramms aufgeführt. Tabelle 4 gibt eine Übersicht zu den beteiligten Dienstleistern und der eingesetzten Robotertechnik sowie den verwendeten Verpressharzen.

Tabelle 5 Übersicht zu den beauftragten Dienstleistern für die Stutzensanierung am unsanierten Hauptkanal

Sanierungsfirma	Robotertechnik	Verpressharze
Geiger Kanaltechnik GmbH, Oberstdorf, NL Bochum	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: KA-TE ▪ Verpresseinheit: KA-TE ▪ Baujahr: ca. 2003 	<ul style="list-style-type: none"> • Epoxonic Ex 1824 rapid
KATEC - Kanaltechnik Müller & Wahl GmbH, Jünkerath	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: KA-TE ▪ Verpresseinheit: KA-TE ▪ Baujahr: ca. 2008 	<ul style="list-style-type: none"> • Epoxonic Ex 1824 rapid • MC Konudur Robopox 10
Kuchem GmbH, Neunkirchen-Seelscheid	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: KA-TE ▪ Verpresseinheit: KA-TE ▪ Baujahr: ca. 1997 	<ul style="list-style-type: none"> • Epoxonic Ex 1824 rapid
Plitt Rohr-sanierungsgesellschaft mbH, Langenhagen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: KA-TE ▪ Verpresseinheit: KA-TE ▪ Baujahr: nicht bekannt 	<ul style="list-style-type: none"> • Sika RoboTech-61
IBG Hydro-Tech GmbH, Büdingen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: Hydro Cut ▪ Verpresseinheit: Hydro Tech. ▪ Baujahr: ca. 2013 	<ul style="list-style-type: none"> • Resinnovation Harz 10
Swietelsky-Faber GmbH Kanalsanierung, Schlierschied	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: ProKASRO ▪ Verpresseinheit: ProKASRO ▪ Baujahr: 2012 	<ul style="list-style-type: none"> • MC-Konudur Robopox CI

Nach Abschluss aller Sanierungsarbeiten durch die beauftragten Firmen und vor dem Anheben des Wasserstandes in den mittelformatigen Versuchsständen führten Mitarbeiter des IKT eine Kamerabefahrung durch. Diese erste Inspektion stellt somit den Ausgangszustand der sanierten Stutzen dar vor Beginn des Prüfprogramms. Der Grundwasserstand, der für die Sanierungsarbeiten der einzelnen Firmen jeweils eingestellt worden ist, wurde bis zur weiteren Flutung beibehalten. Im Einzelnen legten die Lenkungskreismitglieder zur Überprüfung der Infiltrationsdichtheit der Reparaturmaßnahmen am unsanierten Hauptkanal folgende Reihenfolge und den Umfang für die Prüfungen fest:

0. Wasserspiegel auf jeweils Höhe Schaden 1 (Ausgangszustand)

(Ausführung der Stutzensanierung durch Anbieter)

1. Wasserspiegel anheben

(Niveau: 1 Meter Höhe über Rohrscheitel, Kurzzeit – 3 Tage),

2. Optische Inspektion

(Kontrolle der Sanierungen bei anstehendem Wasser),

- 3. Absenken des Wasserspiegels**
(Niveau: bis auf Rohrsohle Hauptkanal),
- 4. HD-Reinigungs-Standard**
(HD-Reinigung mit max. 80 bar Druck an der Düse, 15 Reinigungs-Zyklen),
- 5. Optische Inspektion**
(Kontrolle der Sanierungen nach der HD-Reinigung),
- 6. Wasserspiegel anheben**
(Niveau: 2 Meter Höhe über Rohrscheitel, Dauer: 2 Monate),
- 7. Optische Inspektion**
(Kontrolle der Sanierungen bei anstehendem Wasser, auch mit Zwischenstufe bei 1 Meter während der Erhöhung des Wasserstandes unter Pkt. 6),
- 8. Ablassen des Wassers aus dem mittelformatigen Versuchsstand,**
- 9. Ausbau des Bodens**
(Freilegen der Versuchsstrecke bzw. Sanierungen),
- 10. Prüfungen mit Innenwasserdruck**
(Belastung je Sanierung mit 0,1 / 0,3 / 0,5 bar mit optischer Kontrolle von außen).

Sämtliche Programmpunkte wurden durch Mitarbeiter des IKT begleitet und dokumentiert. Um den Wasserstand im mittelformatigen Versuchsstand messen zu können, ist eine Markierung im Mess-/Befüllrohr aus PVC eingebracht worden. Auf diese Weise können die Wasserspiegelhöhen abgelesen werden, z. B. im Vorfeld einer TV-Inspektion mittels Kamerafahrwagen.

Die im Prüfprogramm durch die Lenkungskreismitglieder festgelegten Untersuchungen bzw. Belastungsszenarien sehen zusätzlich zur Beanspruchung der sanierten Stützen durch Außenwasserdruck auch Betriebsbeanspruchungen aus der Hochdruck-Kanalreinigung (HD-Reinigung) vor. Diese wird gemäß Prüfprogramm einmal durchgeführt. Nachdem der Wasserstand von einem Meter nach der ersten Kurzzeitbelastung wieder abgesenkt worden ist und der Zustand der sanierten Stützen mittels TV-Inspektion dokumentiert wurde, sind die einzelnen Kanalhaltungen mit maximal 80 bar Druck an der Düse und einer Wasserdurchflussmenge von bis zu 225 l/min jeweils 15 mal gereinigt worden. Verwendung fand eine Rundstrahldüse mit acht Einsätzen (vgl. Bild 32, rechts). Die Vorgehensweise bzw. der Aufbau für die HD-Reinigung ist in Bild 32 dargestellt. Aufgrund der Fließrichtung der Kanalhaltungen musste das Reinigungsfahrzeug hinter dem Versuchsstand stehen - und somit außerhalb der Versuchshalle.



Bild 34 Reinigungsfahrzeug (links) und Rohrverlängerung (rechts)

Nach Abschluss der HD-Reinigung wurden die Haltungen wiederum optisch inspiziert und die Ergebnisse bzw. etwaige Zustandsveränderungen aufgenommen. Diese finden sich in den einzelnen Abschnitten zur Stützensanierung (vgl. Abschnitt 3.3.2ff). Die zweimonatige Außenwasserdruckbelastung von 2,0 m Höhe des Grundwasserspiegels über Rohrscheitel wurde im Anschluss daran aufgebracht. In regelmäßigen (wöchentlichen) Kanalbefahrungen wurde der Zustand der einzelnen Stützen aufgenommen und ausgewertet. Nach Abschluss der Außenwasserdruckbelastungen begann der Rückbau des Versuchsstandes, bis die Haltungen nahezu vollständig freigelegt waren (vgl. Bild 35).



Bild 35 Freigelegte Haltung (links), Begrenzung des Prüfraumes im Hauptkanal durch Absperrblasen (rechts)

Die nunmehr freigelegten Stützen konnten somit von außen bei den abschließend durchgeführten Dichtheitsprüfungen mit Wasserinnendruck von 0,1 – 0,3 – 0,5 bar auf Wasseraustritt kontrolliert werden. Schließlich wurden die sanierten Leitungsabschnitte aus dem Versuchsstand ausgebaut und für eine weitere Inaugenscheinnahme geborgen.

3.3 Großversuche an linersanierten Hauptkanälen

3.3.1 Bautechnische Umsetzung

3.3.1.1 Ausgangssituation/Sanierungsaufgabe

Im Rahmen dieses Projektes werden schadhafte Anbindungsbereiche von Hausanschlussleitungen zum Hauptkanal von Sanierungsfirmen durch den Einsatz verschiedener Robotersysteme und Harze repariert. Die einzelnen Schäden sowie deren Herstellung und Aufbau sind in ihren Außenansichten bereits in Abschnitt 3.2.4 dargestellt. Die Ansicht der Schadstellen von innen – aus dem Blickwinkel des Mitarbeiters der Sanierungsfirma – und vor Ausführung der Stützensanierung ist nachfolgend in Tabelle 6 abgebildet. Nummerierte Stopfen im Schlauchliner in der Mitte der einzelnen Schadstellen zeigen dem Operateur die ihm zugewiesenen Stützenbereiche. Auf diese Weise konnten „Fehl-Fräsungen“ im Versuchsaufbau erfolgreich verhindert werden.

Tabelle 6: Innenansicht Hauptkanal auf zu sanierende Schadstellen vor Beginn der Fräsarbeiten in beiden Haltungen (GFK- und Nadelfilzliner, Beispiele)

	Schaden 1	Schaden 2	Schaden 3
Haltung mit Linertyp			
GFK-Liner			
NF-Liner			

3.3.1.2 Eingesetzte Frästechnik

Von den sechs an dieser Projekt-Sanierungsaufgabe beteiligten Firmen verfügten fünf über Robotertechnik der KA-TE System AG. Hier variierten im Wesentlichen das Alter der Roboter (nach Aussage der Firmenmitarbeiter von Baujahr 1992 bis 2011, vgl. Bild

36) und die Anzahl der jeweils eingesetzten bzw. verfügbaren Fräsköpfe (vgl. Bild 37). Die eingesetzten Fräsroboter von IBG sind aus dem Jahr 2012. Eine Zuordnung der Roboter zu den Sanierungsfirmen findet sich in Abschnitt 3.2.5.1.



Bild 36 Eingesetzte Fräsroboter von KA-TE und IBG (nur rechts unten) nach Baujahr – ältestes Baujahr (links oben) und jüngstes Baujahr (rechts unten)

Auf die Fräsroboter montierten die Sanierer überwiegend sogenannte Einlauf- und Tellerfräser mit und ohne Verlängerungsaufsatz. Vereinzelt wurden auch Nutfräser und Bürsten – diese insbesondere für Nacharbeiten, aber auch um den Schlauchliner anzurauen – eingesetzt. Bild 37 zeigt die Bandbreite der eingesetzten Fräswerkzeuge.



Bild 37 Fräskopf-Equipment, Beispiele für eingesetzte Fräs- und Bürstenköpfe: Pilzkopfräser (1), Einlaufnäser (2), Kegelnäser (3), Nutennäser (4), Scheiben-/Tellernäser (5), Scheiben-/Topfbürste (6) und Schleifscheibe (7)

Darüber hinaus wurden weitere Ausrüstungsgegenstände, wie z. B. Fräsaufsatz-Verlängerungen und Topfbürsten (vgl. Bild 38) verwendet.



Bild 38 Fräsroboter mit Fräsaufsatz-Verlängerung (links, roter Pfeil) und Bürste auf der Verlängerung (rechts)

Mit Blick auf die Durchführung der Fräsarbeiten waren keine wesentlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Sanierungsfirmen feststellbar. Um die Fräsarbeiten in den Kanälen des Versuchsstandes unmittelbar beobachten und dokumentieren zu können, wurden die Bilder auf den Monitoren der Sanierungsfahrzeuge abfotografiert. Im Einzelnen zeigten sich nachfolgende Arbeitsschritte, die an jedem Stutzen in vergleichbarer Weise wiederholt wurden (vgl. Bild 39):

1. Öffnen des Liners, überwiegend mit Einlauf-, Kegel- oder Pilzkopfräsern;
2. Fräsen der Beton- und Steinzeugrohre zur Aufweitung der Anschlussbereiche;
3. Fräsen einer umlaufenden Nut in den Beton (aufgeweitete Öffnung des Betonrohres);
4. Ggf. Nachbürsten/Schleifen/Entgraten des Fräsbereiches (siehe hierzu Tabellenangaben in den jeweiligen Firmen-Abschnitten).



Bild 39 Monitor zur Beobachtung der Fräsarbeiten (links), rotierender Einlauffräser (mittig) und Tellerfräser zur Herstellung einer umlaufenden Nut (rechts)

Die Ergebnisse der Fräsarbeiten jedes Stutzens sind als Bilder in den einzelnen Abschnitten zu den Sanierungsfirmen (3.3.2ff) enthalten.

3.3.1.3 Herstellen des Verpressraumes

Um in die Schadstellen an den defekten/undichten Rohranbindungen das Sanierungsharz einbringen zu können, muss ein begrenzter bzw. definierter Verpressraum im Hauptkanal hergestellt werden. Hierzu wird bei dem **KA-TE-Verfahren** in einem ersten Schritt die Schalungsmanschette in den Hauptkanal gesetzt – mittels Roboter, der nunmehr als Schalungssetzgerät (vgl. Bild 40, rechts) funktioniert – sodann ausgerichtet und verspannt. Die Öffnung in dieser Manschette liegt dann an der Anschlussleitung. In einem weiteren Schritt wird die Öffnung des Anschlusskanals und der Schalungsmanschette mit einem Absperrelement (Blase, vgl. Bild 40 und Bild 41) verschlossen.



Bild 40 Roboter mit aufgeblasenem Absperrelement (links) und Schalungsmanschette einschließlich Setzgerät (rechts)



Bild 41 Roboter mit Absperrlement und Schalungsmanschette (links) sowie Vorratsbehälter mit weiteren Absperrlementen (rechts)

Sind Schalungsmanschette und Absperrlement gesetzt, kann (auch parallel dazu) das Harz gemischt (vgl. Abschnitt 3.3.1.4) und in der Folge die Schadstelle verpresst werden (vgl. Abschnitt 3.3.1.5).

Die Vorgehensweise bei Einsatz der **Robotertechnik von IBG** unterscheidet sich insbesondere bei der Herstellung des Verpressraumes von der KA-TE-Verfahrenstechnik. Bild 42 zeigt die gesamte Fahrereinheit bestehend aus dem kuppelbaren Absperrlement-Schild-Wagen und dem Roboter mit vormontierter Kartuschenaufnahme.



Bild 42 Robotereinheit mit Kartuschenaufnahme und Fahrwagen mit Absperrlement sowie beheizbarem Schalungsschild

Die gesamte Fahrereinheit – einschließlich der montierten und mit Harz gefüllten Kartusche – wird zum Sanierungsobjekt gefahren. Das Schild wird in der Weise positioniert bzw. hochgefahren, dass das Absperrlement in den Anschlusskanal eingebracht und aufgeblasen werden kann. Unmittelbar im Anschluss kann der Verpressvorgang begonnen werden. Sofern eine weitere Harzkartusche für die Sanierung erforderlich ist, wird der Roboter vom Schildwagen abgekuppelt, zum Schacht gefahren und mit einer neuen Kartusche bestückt. Diese fährt er wiederum zum Schildwagen, koppelt an und das neue Material kann verpresst werden. Der Schildwagen verbleibt bis zur Aushär-

tion des Harzes an Ort und Stelle. Eine Übersicht, wie das Harz verarbeitet wird, findet sich im nachfolgenden Abschnitt.

3.3.1.4 Herstellen des Verpressgutes

Für die Sanierung der 36 schadhafte Stützenbereiche wurden Harze von vier Herstellern verwendet (vgl. Tabelle 4, Seite 44). Drei Hersteller konnten bereits auf eine DIBt-Zulassung ihrer Harze verweisen, ein Hersteller (resinnovation, Harz 10) hatte die Zulassung zum Zeitpunkt der Verwendung seines Harzes beantragt und verwies auf das laufende Prüfprogramm. Eine DIBt-Zulassung für das im Projekt verwendete Harz war bis zum Projektabschluss nicht vorhanden.

Bei allen verwendeten Harzen handelte es sich um Epoxidharze, bestehend aus zwei Komponenten (Harz und Härter). Beide Komponenten werden in zwei Gebinden (vgl. Bild 43, links) geliefert und müssen vor dem Abfüllen in die Kartusche nach den Vorgaben des Herstellers gemischt werden. Die Mitarbeiter rührten das Harz von Hand oder mittels Rührwerk an und bis auf eine Firma, die den Rührvorgang mittels Stoppuhr kontrollierte (IBG), verließen sich alle weiteren Mitarbeiter der Firmen auf ihre Erfahrung. Hier wird seitens der Materialhersteller in deren Technischen Merkblättern [24, 25, 26 und 27] vorgegeben, dass der Mischvorgang solange zu erfolgen hat, bis das Harz eine einheitliche Farbe angenommen hat, die zudem frei von Schlieren sein muss. Angaben zu Mischzeiten finden sich auf den Datenblättern von Epoxonic: Hier wird für das Harz Epoxonic Ex 1824 rapid eine Mischzeit von 2 bis 3 Minuten [24] und für die Harze Epoxonic Ex 1013 und 1355 eine Mischzeit von max. 10 Minuten angegeben [25, 26]. Die von IKT-Mitarbeitern stichprobenhaft ermittelten Mischzeiten lagen in einem Bereich von etwa drei bis fünf Minuten. Bei Einsatz eines druckluftbetriebenen Statikmischers – hierbei handelt es sich um ein stationäres Austragsgerät in dessen Kartuschen je nach Ausführung zwei oder vier Schläuche mit Harz und Härter eingesetzt werden – entfällt die Kontrolle von Durchmischung und Mischzeit. Auf Knopfdruck wird das Harz aus den Gebinden gedrückt und im Statikmischer automatisch vermischt. Aus dessen Spitze kann das Harz direkt in die Roboter-Kartusche gefüllt werden (vgl. Bild 44, rechts).



Bild 43 Gebinde mit den Komponenten A und B des Verpressmaterials (links) und Vorlegen beider Komponenten in einem Gefäß für nachfolgenden Rührvorgang (mittig), Konditionierung der Materialgebilde im Wasserbad für den Einsatz im Statkmischer (rechts)

Dieser Mischvorgang wurde seitens der Sanierungsfirmen im Wesentlichen auf zwei unterschiedliche Weisen durchgeführt:

1. Händisches (vgl. Bild 44, links) oder automatisches (vgl. Bild 44, mittig) Rühren der beiden Komponenten,
2. Einsatz eines mit Druckluft betriebenen Statkmischer (vgl. Bild 44, rechts).



Bild 44 Mischen der Komponenten A und B des Verpressmaterials von Hand (links) und mittels Rührwerk (mittig) sowie Statkmischer (rechts)

Sofern das Harz angerührt wurde – die Mitarbeiter verwendeten dazu üblicherweise die Blechdose einer Komponente – mussten sie es anschließend in die Roboterkartusche umfüllen (vgl. Bild 45, links). War ein Statkmischer vorhanden, konnte das Harz unmittelbar in die Kartusche abgefüllt werden (vgl. Bild 44, rechts). Nach deren Montage am Roboter war dieser somit einsatzbereit für den im Kanal anstehenden Verpressvorgang (vgl. Bild 45, rechts). Eine Darstellung des Verpressvorgangs findet sich im nachfolgenden Abschnitt.



Bild 45 Befüllen der Kartusche (links), Verbringen des mit der befüllten Kartusche versehenen Roboters in die Haltung (rechts)

3.3.1.5 Stutzenverpressung

Die Arbeitsschritte im Rahmen der Stutzenverpressung für das **KA-TE-Verfahren** wiederholten sich und waren in beiden Haltungen bzw. an jedem Stutzen nahezu gleich:

1. Einbau der Schalungsmanschette an dem zu sanierenden Stutzen mittels Schalungssetzgerät (vgl. Bild 40, rechts);
2. Einbringen der Dichtblase in den Anschlussbereich, Positionieren und Aufblasen (vgl. Bild 40f, links);
3. Mischen des Harzes (vgl. Bild 43ff);
4. Einbau der Kartusche mit Harz in den Roboter (vgl. Bild 45, rechts) und Fahrt zum Stutzen;
5. Andocken des Roboters an die Schalung und Verpressen des Harzes;
6. Entfernen der Schalungsmanschetten und Absperrelemente in Abhängigkeit der Aushärtezeit des Harzes;
7. Optionales Nacharbeiten, z. B. Abfräsen oder Schleifen von Randbereichen.

Die Stutzenanierung mit dem **IBG-System** erfordert nach dem Fräsen eine andere Vorgehensweise:

Aufgrund der Gesamtlänge des Robotergespansns von über einem Meter musste bei den Sanierungsarbeiten im IKT-Großversuchsstand zunächst der Roboter mit der Kartuschenaufnahme durch den Endschacht in die Haltung eingebracht werden, um daraufhin zum Startschacht gefahren zu werden. Hier wurde sodann der Schildwagen mit dem integrierten Absperrelement angekoppelt und die Kartusche mit dem zuvor zeitnah angemischten Harz in die Kartuschenaufnahme eingesetzt. Die weiteren Arbeitsschritte und der Vorgang jeder einzelnen Stutzenverpressung waren in beiden Haltungen nahezu gleich und wiederholten sich:

1. Fahrt des Robotergespansns zu dem entsprechenden Stutzen;

2. Einbringen bzw. Positionieren der Dichtblase in den Anschlussbereich;
3. Anheben des Schildes bis zum Anliegen an der Rohrwand;
4. Aufblasen des Absperrlements;
5. Verpressen des Harzes in den Anschlussbereich;
6. Aufheizen des Schildes zur Beschleunigung der Aushärtung des Harzes und Verbleib des Robotergespanns an der Sanierungsstelle für etwa 90 Minuten;
7. Entlüften der Absperrblase und Absenken des Schildes;
8. Ausfahrt des Robotergespanns zum Schacht;
9. Reinigung des Schildes und Absperrlements und ggf. Vorbereitung des Robotergespanns für neuen Einsatz.

Die Ergebnisse der Stützsanierungen sowie der Beanspruchungen dieser während des Prüfprogramms sind in den nachstehenden Abschnitten dargestellt.

3.3.2 Firma „ONYX“

Fräs- und Verpressarbeiten

Die Firma Onyx Rohr- und Kanal-Service GmbH setzte KA-TE-Roboter (Baujahr 1992) ein. Die beiden Mitarbeiter der Firma verwendeten zwei unterschiedliche Harze (vgl. Tabelle 7): Die Schadensbilder 2 und 3 in beiden Haltungen wurden mit dem Schallungsharz Epoxonic Ex 1824 Rapid verpresst. An Schadensbild 1 kam in beiden Haltungen der Muffenspachtel Epoxonic Ex 1355 zum Einsatz. Nach Ansicht der Sanierungsfirma eignet sich dieses Harz besser für Sanierungen in Bereichen mit eindringendem Wasser. Die eingesetzten Werkzeuge und Materialien sowie Zeitdauern für einzelne Arbeitsschritte sind in Tabelle 7 aufgelistet.

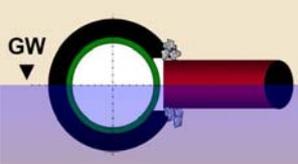
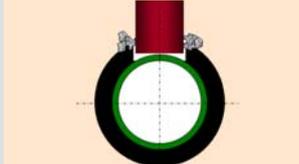
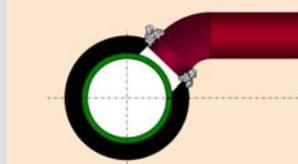
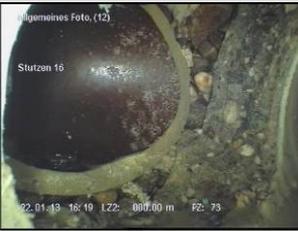
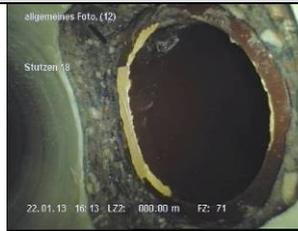
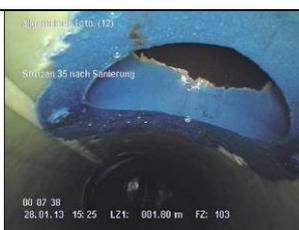
Tabelle 7: Fa. ONYX: Zusammenfassung der Fräs- und Verpressarbeiten

Haltung	GFK-Haltung			NF-Haltung		
zugeteilte Stutzen Nr.	16	17	18	34	35	36
Nummer Schaden	1	2	3	1	2	3
Vorarbeiten Fräsen						
Einsatz Einlaufräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Einsatz Tellerfräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Beseitigen Fräsrückstände	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Abbürsten der Fräsränder	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Zeitaufwand Vorarbeiten, gesamt [h]	ca. 1,2	ca. 1,0	ca. 1,1	ca. 1,3	ca. 1,3	ca. 1,3
Sanierung						
Öffnungsmaß Schalelement (Hausanschlussstutzen)	DN 125			DN 125		
Materialeinsatz	EPOXONIC EX 1355*	EPOXONIC EX 1824 rapid		EPOXONIC EX 1355*	EPOXONIC EX 1824 rapid	
Materialmenge	ca. 7 kg	ca. 3 kg	ca. 3 kg	ca. 7 kg	ca. 3 kg	ca. 3 kg
Zeitaufwand Sanierung [h] einschließlich Ziehen der Schalelemente	ca. 2,5	ca. 1,3	ca. 0,4	ca. 1,8	ca. 2,7	ca. 1,0
Einschalzeit / Aushärtezeit (über Nacht)	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.
Nacharbeiten Fräsen						
Fräsarbeiten durchgeführt	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Überschussmaterial entfernt / Kanten entgratet	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Zeitaufwand Nacharbeiten [h]	ca. 0,8	ca. 0,8	ca. 0,8	ca. 0,8	ca. 0,8	ca. 0,8
Zeitaufwand Sanierung						
Zeitaufwand je Stutzen [h]	ca. 4,5	ca. 3,1	ca. 2,4	ca. 3,9	ca. 4,8	ca. 3,1
Summe Zeitaufwand [d]	ca. 21,8 h netto bei 3,5 Sanierungstagen im IKT					

* Bei dem hier verwendeten Material war das Mindesthaltbarkeitsdatum ca. 15 Monate abgelaufen!

Die Bilder in Tabelle 8 zeigen das optische Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Hausanschlüsse vor Belastungsbeginn (vgl. Prüfprogramm).

Tabelle 8: Fa. ONYX: Optisches Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Stutzen vor Beginn der Belastungen gemäß Prüfprogramm

Fa. ONYX	Schaden 1	Schaden 2	Schaden 3
Haltung mit Linertyp			
GFK-Liner (nach Fräsen)	 <p>allgemeines Foto, (12) Stutzen 16 22.01.13 16:19 LZ: 000,00 m FZ: 73</p>	 <p>allgemeines Foto, (12) Stutzen 17 22.01.13 16:00 LZ: 000,00 m FZ: 51</p>	 <p>allgemeines Foto, (12) Stutzen 18 22.01.13 16:13 LZ: 000,00 m FZ: 71</p>
GFK-Liner (Stutzen saniert)	 <p>allgemeines Foto, (12) Stutzen 16 nach Sanierung 00:07:40 29.01.13 15:58 LZ: 003,20 m FZ: 116</p> <p>Auffälligkeit: Harznaht</p>	 <p>allgemeines Foto, (12) Stutzen 17 nach Sanierung 00:16:56 28.01.13 16:07 LZ: 003,20 m FZ: 129</p> <p>keine Auffälligkeit</p>	 <p>allgemeines Foto, (12) Stutzen 18 nach Sanierung 00:21:16 28.01.13 16:11 LZ: 003,20 m FZ: 144</p> <p>keine Auffälligkeit</p>
NF-Liner (nach Fräsen)	 <p>NF nach fräsen 00:05:22 24.01.13 11:28 LZ: 003,70 m FZ: 79</p>	 <p>allgemeines Foto, (03) Stutzen 35 nach Fräsen 00:10:41 24.01.13 11:33 LZ: 003,70 m FZ: 83</p>	 <p>allgemeines Foto, (03) Stutzen 36 nach Fräsen 00:16:19 24.01.13 11:39 LZ: 003,70 m FZ: 89</p>
NF-Liner (Stutzen saniert)	 <p>allgemeines Foto, (12) Stutzen 34 nach Sanierung 00:02:57 28.01.13 15:20 LZ: 002,00 m FZ: 89</p> <p>Auffälligkeit: Harznaht</p>	 <p>allgemeines Foto, (12) Stutzen 35 nach Sanierung 00:07:39 28.01.13 15:25 LZ: 001,80 m FZ: 103</p> <p>keine Auffälligkeit</p>	 <p>allgemeines Foto, (12) Stutzen 36 nach Sanierung 00:16:49 28.01.13 15:34 LZ: 001,40 m FZ: 114</p> <p>keine Auffälligkeit</p>

Auffälligkeiten bei der Stutzensanierung, Reaktion der Sanierungsfirma

Unmittelbar nach Abschluss der Sanierungsarbeiten zeigten sich geringfügige Auffälligkeiten an den beiden sanierten Stutzen an Schaden 1. So ist hier (vgl. Bild in Tabelle 8) deutlich eine „Naht“ im bildlich linken Kämpferbereich des Anschlusses zu erkennen – hier ist das verpresste Harz offensichtlich nicht vollständig zusammengefließen. Die Sanierungsfirma hat zeitnah nach Abschluss der Arbeiten schriftlich mit-

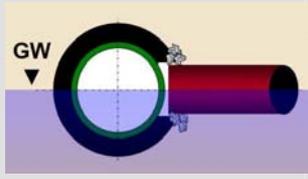
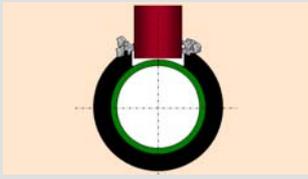
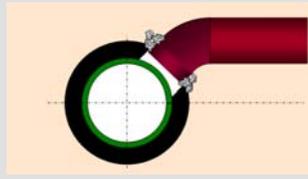
geteilt, dass von einer Dichtheit dieser sanierten Stutzen nicht ausgegangen werden kann. Unmittelbar nach Abschluss der Sanierungsarbeiten konnte hier jedoch kein Wassereindrang festgestellt werden. Des Weiteren kam es in drei Fällen zu Verklebungen der Schutzummantelung der Dichtblase mit dem Harz. Die Entfernung der Blasen und die erforderlichen Nachfräsarbeiten erhöhten somit die Sanierungsdauer.

Die **Inspektionsbilder der Sanierungen** in Abhängigkeit der Belastungen (vgl. Prüfprogramm in Abschnitt 3.2.5.1) sind im **Anhang** „Inspektionsergebnisse“ dargestellt.

Ergebnisübersicht zur (Außen-)Wasserdruckdichtheit

In Tabelle 9 sind Zustände und ggf. Veränderungen der (Außen-)Wasserdruckdichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über Rohrscheitel des Hauptkanals abgebildet. Die Belastung einzelner sanierten Stutzen wird unterschieden in Außen- (AWD) und Innenwasserdruck (IWD - hier bei Prüfung nach Freilegung im offenen Graben). Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt (rot = undicht mit Wasserein-/austritt, gelb = auffällig, grün = dicht und sofern vorhanden: blau = aus Wertung heraus genommen).

Tabelle 9: Fa. ONYX: (Außen-)Wasserdruckdichtheit sanierten Stutzen nach Prüfprogramm

Fa. ONYX	Schaden 1		Schaden 2		Schaden 3	
						
Prüfprogramm	GFK-Liner	NF-Liner	GFK-Liner	NF-Liner	GFK-Liner	NF-Liner
AWD 1 m	rot	rot	grün	grün	grün	grün
HD-Reinigung-Standard	rot	rot	grün	grün	grün	grün
AWD 2 m	rot	rot	grün	grün	grün	grün
AWD 2 m lang	rot	rot	grün	grün	gelb	gelb
HD-Reinigung Maximum	rot	rot	grün	grün	gelb	gelb
AWD 1m	rot	rot	grün	grün	gelb	gelb
AWD 2 m	rot	rot	grün	grün	gelb	gelb
AWD 3 m	rot	rot	grün	grün	rot	gelb
AWD 4,5 m	rot	rot	grün	grün	rot	gelb
AWD 4,5 m lang	rot	rot	grün	grün	rot	gelb
IWD* 1 m	rot	rot	grün	grün	grün	grün
IWD* 3 m	rot	rot	grün	grün	grün	rot
IWD* 5 m	rot	rot	grün	grün	grün	rot

* Prüfung nach Freilegen der Leitung mit Kontrolle auf Wasseraustritt aus der Sanierungsstelle
Farbuordnung: rot = undicht, gelb = auffällig, grün = dicht, blau = nicht gewertet

3.3.3 Firma „KATEC“

Fräs- und Verpressarbeiten

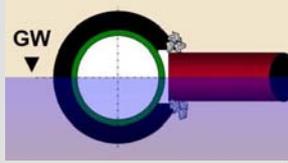
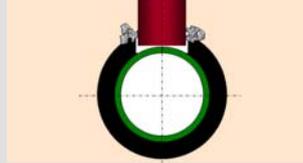
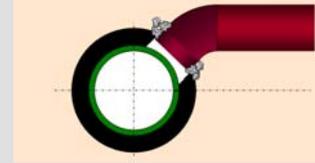
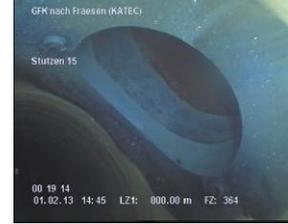
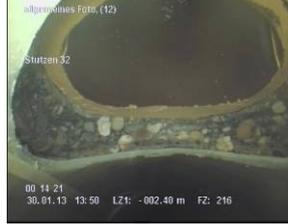
Der Firma KATEC – Kanaltechnik Müller & Wahl GmbH waren für die Sanierungen im GFK-Liner-Kanal die Stutzen mit den Nummern 13, 14 und 15 zugeteilt sowie im NF-Liner-Kanal die Stutzen mit den Nummern 31, 32 und 33. Die eingesetzten Roboter waren KA-TE-Produkte, Baujahr 2008 (Circa-Angabe). Die beiden Mitarbeiter der Firma setzten drei unterschiedliche Harze ein, die sich nach ihrer Erfahrung am besten für die jeweilige Sanierung eigneten. Die eingesetzten Werkzeuge und Materialien sowie Zeitdauern für einzelne Arbeitsschritte sind in Tabelle 10 aufgelistet.

Tabelle 10: Fa. KATEC: Zusammenfassung der Fräs- und Verpressarbeiten

Haltung	GFK-Haltung			NF-Haltung		
zugeteilte Stutzen Nr.	13	14	15	31	32	33
Nummer Schaden	1	2	3	1	2	3
Vorarbeiten Fräsen						
Einsatz Einlaufräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Einsatz Tellerfräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Beseitigen/Abspülen Fräs-rückstände	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Abbürsten der Fräsränder	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Zeitaufwand Vorarbeiten, gesamt [h]	ca. 1,2	ca. 0,5	ca. 0,7	ca. 0,7	ca. 0,8	ca. 0,7
Sanierung						
Öffnungsmaß Schalelement (Hausanschlussstutzen)	DN 120			DN 120		
Materialeinsatz	EPOXONIC EX 1013	EPOXONIC EX 1824 rapid		Konudur Robopox 10	EPOXONIC EX 1824 rapid	
Materialmenge	ca. 8 kg	ca. 3 kg	ca. 3 kg	ca. 10kg	ca. 4 kg	ca. 6 kg
Zeitaufwand Sanierung [h] einschließlich Ziehen der Schalelemente	ca. 0,9	ca. 0,9	ca. 0,9	ca. 1,5	ca. 0,9	ca. 1,1
Einschalzeit / Aushärtezeit (über Nacht)	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.
Nacharbeiten Fräsen						
Fräsarbeiten durchgeführt	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Überschussmaterial entfernt / Kanten entgratet	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Zeitaufwand Nacharbeiten [h]	ca. 0,5	ca. 0,5	ca. 0,5	ca. 0,2	ca. 0,2	ca. 0,2
Zeitaufwand Sanierung						
Zeitaufwand je Stutzen [h]	ca. 2,6	ca. 2,0	ca. 2,1	ca. 2,4	ca. 1,9	ca. 2,0
Summe Zeitaufwand [d]	ca. 13,0 h netto bei 3,5 Sanierungstagen im IKT					

Die Bilder in Tabelle 11 zeigen das optische Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Hausanschlüsse vor Belastungsbeginn (vgl. Prüfprogramm).

Tabelle 11: Fa. KATEC: Optisches Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Hausanschlüsse vor Beginn der Belastungen gemäß Prüfprogramm

Fa. KATEC	Schaden 1	Schaden 2	Schaden 3
Haltung mit Linertyp			
GFK-Liner (nach Fräsen)	 allgemeines Foto (09) Stutzen 13 00 05 03 29.01.13 13:38 LZt: 004,30 m FZ: 154	 allgemeines Foto (00) Stutzen 14 00 10 14 29.01.13 13:42 LZt: 003,90 m FZ: 173	 allgemeines Foto (03) Stutzen 15 00 16 08 29.01.13 13:48 LZt: 003,70 m FZ: 195
GFK-Liner (Stutzen saniert)	 GFK nach Fräsen (KATEC) Stutzen 13 00 11 58 01.02.13 14:38 LZt: 000,00 m FZ: 316 keine Auffälligkeit	 GFK nach Fräsen (KATEC) Stutzen 14 00 15 23 01.02.13 14:41 LZt: 000,00 m FZ: 336 keine Auffälligkeit	 GFK nach Fräsen (KATEC) Stutzen 15 00 19 14 01.02.13 14:45 LZt: 000,00 m FZ: 364 keine Auffälligkeit
NF-Liner (nach Fräsen)	 allgemeines Foto (03) Stutzen 31 00 12 28 30.01.13 13:48 LZt: -002,40 m FZ: 212	 allgemeines Foto (12) Stutzen 32 00 14 21 30.01.13 13:50 LZt: -002,40 m FZ: 216	 allgemeines Foto (12) Stutzen 33 00 21 26 30.01.13 13:57 LZt: -002,50 m FZ: 240
NF-Liner (Stutzen saniert)	 allgemeines Foto (03) Stutzen 31 00 06 13 01.02.13 13:41 LZt: 000,00 m FZ: 252 keine Auffälligkeit	 NF nach Sanierung (KATEC) Stutzen 32 00 08 36 01.02.13 13:44 LZt: 000,00 m FZ: 263 keine Auffälligkeit	 NF nach Sanierung (KATEC) Stutzen 33 00 15 45 01.02.13 13:51 LZt: 000,00 m FZ: 301 keine Auffälligkeit

Auffälligkeiten bei der Stutzensanierung, Reaktion der Sanierungsfirma

Bereits nach dem Öffnen des Liners merkte der Operateur an, dass an Stutzen 32 (NF-Liner-Haltung, Schaden 2) das Steinzeugrohr beschädigt ist (vgl. Abschnitt 1.2 des Anhangs „Inspektionsergebnisse“ zu diesem Bericht). Hier sind Risse bzw. Scherben vorhanden. Inwieweit diese durch Fräsarbeiten oder aber bereits beim Einbau der Rohre entstanden sind, konnte nicht zweifelsfrei ermittelt werden. Dennoch wurde der Stutzen 32 saniert. In einem Fall (Stutzen 31) entschied sich der Operateur die Schallungsmanschette und Dichtblase neu auszurichten, da er mit deren Positionierung nicht zufrieden war. Bei diesem Vorgang fiel der Roboter aufgrund eines Elektronikfeh-

lers - der Roboter bekommt kein Steuersignal - kurzzeitig aus. Diese Fehlfunktion konnte durch die Mitarbeiter kurzfristig behoben werden. Darüber hinaus fiel während des Verpressvorgangs an Stutzen 32 die Kamera aufgrund eines defekten Kabels, das am Folgetag durch die Mitarbeiter repariert werden konnte, aus. Der Verpressvorgang wurde nicht unter- bzw. abgebrochen. Weitere Auffälligkeiten wurden nicht festgestellt.

Die **Inspektionsbilder der Sanierungen** in Abhängigkeit der Belastungen (vgl. Prüfprogramm in Abschnitt 3.2.5.1) sind im **Anhang** „Inspektionsergebnisse“ dargestellt.

Ergebnisübersicht zur (Außen-)Wasserdruckdichtheit

In Tabelle 12 sind Zustände und ggf. Veränderungen der (Außen-)Wasserdruckdichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über Rohrscheitel des Hauptkanals abgebildet. Die Belastung einzelner sanierter Stutzen wird unterschieden in Außen- (AWD) und Innenwasserdruck (IWD - hier bei Prüfung nach Freilegung im offenen Graben). Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt (rot = undicht mit Wasserein-/austritt, gelb = auffällig, grün = dicht und sofern vorhanden: blau = aus Wertung heraus genommen).

Tabelle 12: Fa. KATEC: (Außen-)Wasserdruckdichtheit sanierter Stutzen nach Prüfprogramm

Fa. KATEC	Schaden 1		Schaden 2		Schaden 3	
Prüfprogramm	GFK-Liner	NF-Liner	GFK-Liner	NF-Liner	GFK-Liner	NF-Liner
AWD 1 m	Grün	Grün	Grün	Riss in HAS	Grün	Grün
HD-Reinigung-Standard	Grün	Grün	Grün	Riss in HAS	Grün	Grün
AWD 2 m	Grün	Grün	Grün	Riss in HAS	Grün	Grün
AWD 2 m lang	Gelb	Grün	Grün	Riss in HAS	Grün	Grün
HD-Reinigung Maximum	Gelb	Grün	Grün	Riss in HAS	Grün	Grün
AWD 1m	Rot	Grün	Grün	Riss in HAS	Grün	Grün
AWD 2 m	Rot	Grün	Grün	Riss in HAS	Grün	Grün
AWD 3 m	Rot	Grün	Grün	Riss in HAS	Grün	Grün
AWD 4,5 m	Rot	Grün	Grün	Riss in HAS	Grün	Grün
AWD 4,5 m lang	Rot	Grün	Grün	Riss in HAS	Grün	Grün
IWD* 1 m	Rot	Grün	Riss in HAS	Riss in HAS	Grün	Grün
IWD* 3 m	Rot	Grün	Riss in HAS	Riss in HAS	Grün	Grün
IWD* 5 m	Rot	Grün	Riss in HAS	Riss in HAS	Grün	Grün

* Prüfung nach Freilegung der Leitung mit Kontrolle auf Wasseraustritt aus der Sanierungsstelle
Farbuordnung: rot = undicht, gelb = auffällig, grün = dicht, blau = nicht gewertet

3.3.4 Firma „KUCHEM“

Fräs- und Verpressarbeiten

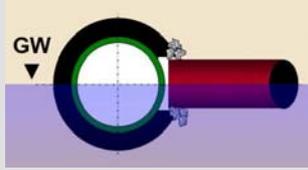
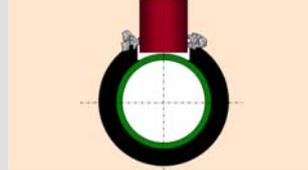
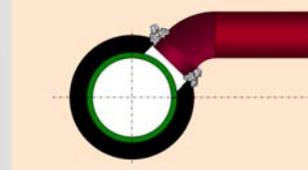
Der Firma Kuchem GmbH waren für die Sanierungen im GFK-Liner-Kanal die Stützen mit den Nummern 10, 11 und 12 zugeteilt sowie im NF-Liner-Kanal die Stützen mit den Nummern 28, 29 und 30. Die eingesetzten Roboter waren KA-TE Produkte, Baujahr ca. 1997. Die beiden Mitarbeiter der Firma setzten für die Sanierung aller Stützen das Schalungsharz Epoxonic Ex 1824 Rapid ein. Die eingesetzten Werkzeuge und Materialien sowie Zeitauern für einzelne Arbeitsschritte sind in Tabelle 13 aufgelistet.

Tabelle 13: Fa. KUCHEM: Zusammenfassung der Fräs- und Verpressarbeiten

Haltung	GFK-Haltung			NF-Haltung		
zugeteilte Stützen Nr.	10	11	12	28	29	30
Nummer Schaden	1	2	3	1	2	3
Vorarbeiten Fräsen						
Einsatz Einlaufräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Einsatz Tellerfräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Beseitigen Fräsrückstände	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Zeitaufwand Vorarbeiten, gesamt [h]	ca. 0,6	ca. 0,5	ca. 0,5	ca. 0,9	ca. 0,7	ca. 0,6
Sanierung						
Öffnungsmaß Schalelement (Hausanschlussstutzen)	DN 120	DN 150		DN 120	DN 150	
Materialeinsatz	EPOXONIC EX 1824 rapid			EPOXONIC EX 1824 rapid		
Materialmenge	ca. 3 kg	ca. 3 kg	ca. 3 kg	ca. 3kg	ca. 3 kg	ca. 3 kg
Zeitaufwand Sanierung [h] einschließlich Ziehen der Schalelemente	ca. 1,1	ca. 0,8	ca. 0,6	ca. 1,0	ca. 0,8	ca. 0,6
Einschalzeit / Aushärtezeit (über Nacht)	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.
Nacharbeiten Fräsen						
Fräsarbeiten durchgeführt	ja	nein	ja	ja	ja	nein
Überschussmaterial entfernt / Kanten entgratet	nein	nein	nein	nein	ja	nein
Zeitaufwand Nacharbeiten [h]	ca. 0,2	-	ca. 0,2	ca. 0,2	ca. 0,2	-
Zeitaufwand Sanierung						
Zeitaufwand je Stützen [h]	ca. 1,9	ca. 1,3	ca. 1,3	ca. 2,1	ca. 1,7	ca. 1,2
Summe Zeitaufwand [d]	ca. 9,5 h netto bei 2,5 Sanierungstagen im IKT					

Die Bilder in Tabelle 14 zeigen das optische Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Hausanschlüsse vor Belastungsbeginn (vgl. Prüfprogramm).

Tabelle 14: Fa. KUCHEM: Optisches Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Stützen vor Beginn der Belastungen gemäß Prüfprogramm

Fa. KUCHEM	Schaden 1	Schaden 2	Schaden 3
Haltung mit Linertyp			
GFK-Liner (nach Fräsen)			
GFK-Liner (Stützen saniert)	 <p data-bbox="459 1032 703 1088">Auffälligkeit (Kanten nicht entgratet)</p>	 <p data-bbox="831 1048 1002 1081">keine Auffälligkeit</p>	 <p data-bbox="1129 1032 1374 1088">Auffälligkeit (Kanten nicht entgratet)</p>
NF-Liner (nach Fräsen)			
NF-Liner (Stützen saniert)	 <p data-bbox="459 1576 703 1632">Auffälligkeit (Kanten nicht entgratet)</p>	 <p data-bbox="767 1576 1054 1632">Auffälligkeit (weißer Kratzer im Harz)</p>	 <p data-bbox="1129 1576 1374 1632">Auffälligkeit (Kanten nicht entgratet)</p>

Auffälligkeiten bei der Stützensanierung

In einem Fall platzte ein Absperrelement während des Aufpumpens an Stützen 10 und musste somit entfernt und ein anderes neu gesetzt werden. Bis auf einen weißen Kratzer über nahezu die gesamte Breite der Harzfläche am sanierten Stützen 2 im Nadelfilzliner - bedingt durch ein Abrutschen des Fräasers bei Nacharbeiten - waren im übrigen die nicht entgrateten Kanten an den weiteren fünf Stützen auffällig.

Die **Inspektionsbilder der Sanierungen** in Abhängigkeit der Belastungen des Prüfprogramms (vgl. Abschnitt 3.2.5.1) sind im **Anhang** „Inspektionsergebnisse“ dargestellt.

Ergebnisübersicht zur (Außen-)Wasserdruckdichtheit

In Tabelle 15 sind Zustände und ggf. Veränderungen der (Außen-)Wasserdruckdichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über Rohrscheitel des Hauptkanals abgebildet. Die Belastung einzelner sanierter Stutzen wird unterschieden in Außen- (AWD) und Innenwasserdruck (IWD - hier bei Prüfung nach Freilegung im offenen Graben). Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt (rot = undicht mit Wasserein-/austritt, gelb = auffällig, grün = dicht und sofern vorhanden: blau = aus Wertung heraus genommen).

Tabelle 15: Fa. KUCHEM: (Außen-)Wasserdruckdichtheit sanierter Stutzen nach Prüfprogramm

Fa. KUCHEM	Schaden 1		Schaden 2		Schaden 3	
Prüfprogramm	GFK-Liner	NF-Liner	GFK-Liner	NF-Liner	GFK-Liner	NF-Liner
AWD 1 m	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
HD-Reinigung-Standard“	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 2 m	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 2 m lang	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
HD-Reinigung Maximum	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 1m	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 2 m	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 3 m	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 4,5 m	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 4,5 m lang	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
IWD* 1 m	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
IWD* 3 m	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
IWD* 5 m	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün

* Prüfung nach Freilegung der Leitung mit Kontrolle auf Wasseraustritt aus der Sanierungsstelle
Farbzuordnung: rot = undicht, gelb = auffällig, grün = dicht, blau = nicht gewertet

3.3.5 Firma „PLITT“

Fräs- und Verpressarbeiten

Der Firma Plitt Rohrreparaturgesellschaft mbH waren für die Sanierungen im GFK-Liner-Kanal die Stutzen mit den Nummern 7, 8 und 9 zugeteilt sowie im NF-Liner-Kanal die Stutzen mit den Nummern 25, 26 und 27. Die eingesetzten Roboter waren KA-TE Produkte, deren Baujahr jedoch nicht bekannt ist. Die drei Mitarbeiter der Firma - ein Operateur (Geschäftsführer) und zwei Helfer - setzten für die Sanierung aller Stutzen das Harz Sika RoboTec-61 ein.

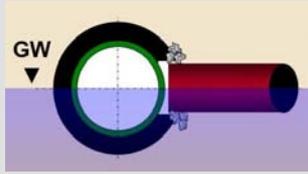
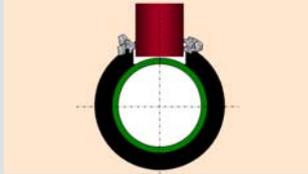
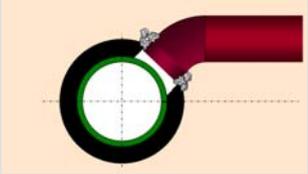
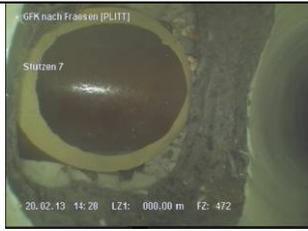
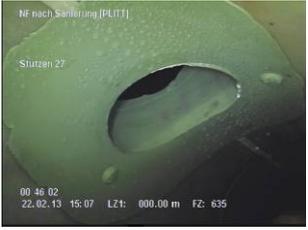
Tabelle 16: Fa. PLITT: Zusammenfassung der Fräs- und Verpressarbeiten

Haltung	GFK-Haltung			NF-Haltung		
zugeteilte Stutzen Nr.	7	8	9	25	26	27
Nummer Schaden	1	2	3	1	2	3
Vorarbeiten Fräsen						
Einsatz Einlaufräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Einsatz Tellerfräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Beseitigen Fräsrückstände	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Zeitaufwand Vorarbeiten, gesamt [h]	ca. 2,3	ca. 1,2	ca. 2,4	ca. 3,0	ca. 1,0	ca. 1,1
Sanierung						
Öffnungsmaß Schalelement (Hausanschlussstutzen)	DN 125			DN 125*	DN 125	
Materialeinsatz	Sika Robotec-61			Sika Robotec-61		
Materialmenge	ca. 15 kg	ca. 4 kg	ca. 6 kg	ca. 11kg	ca. 4 kg	ca. 6 kg
Zeitaufwand Sanierung [h] einschließlich Ziehen der Schalelemente	ca. 1,0	ca. 0,4	ca. 0,4	ca. 0,5	ca. 0,3	ca. 0,5
Einschalzeit / Aushärtezeit (über Nacht)	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.
Nacharbeiten Fräsen						
Fräsarbeiten durchgeführt	ja	ja	ja	nein	nein	nein
Überschussmaterial entfernt / Kanten entgratet	ja	ja	ja	nein	nein	nein
Zeitaufwand Nacharbeiten [h]	ca. 0,6	ca. 0,6	ca. 0,6	-	-	-
Zeitaufwand Sanierung						
Zeitaufwand je Stutzen [h]	ca. 3,9	ca. 2,2	ca. 3,4	ca. 3,5	ca. 1,3	ca. 1,6
Summe Zeitaufwand [d]	ca. 15,9 h netto bei 3,5 Sanierungstagen im IKT					

* Es wurden zwei Schalungselemente überlappend angeordnet, um aufgrund des vergleichsweise großen Fräsbereiches infolge des Schadensbildes eine bessere Abdichtung bei dem Verpressen zu ermöglichen.

Die Bilder in Tabelle 17 zeigen das optische Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Hausanschlüsse vor Belastungsbeginn (vgl. Prüfprogramm).

Tabelle 17: Fa. PLITT: Optisches Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Stutzen vor Beginn der Belastungen gemäß Prüfprogramm

Fa. PLITT	Schaden 1	Schaden 2	Schaden 3
Haltung mit Linertyp			
GFK-Liner (nach Fräsen)			
GFK-Liner (Stutzen saniert)	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit
NF-Liner (nach Fräsen)			
NF-Liner (Stutzen saniert)	 Auffälligkeit (vorstehendes Material am Harzrand)	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit

Auffälligkeiten bei der Stuzensanierung

An dem Stutzen mit dem Schadensbild 1 in der NF-Haltung beabsichtigte der Operateur, den Öffnungsbereich geringfügig weiter aufzufräsen als üblich und die Öffnung in Form eines Trichters herzustellen. Dabei nutzte er mit Blick auf die Frästiefe die maximal mögliche Reichweite des Roboters aus. An dieser Sanierungsstelle zeigt sich vorstehendes Harz am Randbereich.

Die **Inspektionsbilder der Sanierungen** in Abhängigkeit der Belastungen des Prüfprogramms (vgl. Abschnitt 3.2.5.1) sind im **Anhang** „Inspektionsergebnisse“ dargestellt.

Ergebnisübersicht zur (Außen-)Wasserdruckdichtheit

In Tabelle 18 sind Zustände und ggf. Veränderungen der (Außen-)Wasserdruckdichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über Rohrscheitel des Hauptkanals abgebildet. Die Belastung einzelner sanierter Stutzen wird unterschieden in Außen- (AWD) und Innenwasserdruck (IWD - hier bei Prüfung nach Freilegung im offenen Graben). Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt (rot = undicht mit Wasserein-/austritt, gelb = auffällig, grün = dicht und sofern vorhanden: blau = aus Wertung heraus genommen).

Tabelle 18: Fa. PLITT: (Außen-)Wasserdruckdichtheit sanierter Stutzen nach Prüfprogramm

Fa. PLITT	Schaden 1		Schaden 2		Schaden 3	
Prüfprogramm	GFK-Liner	NF-Liner	GFK-Liner	NF-Liner	GFK-Liner	NF-Liner
AWD 1 m	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
HD-Reinigung-Standard	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 2 m	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 2 m lang	Rot	Gelb	Gelb	Grün	Grün	Grün
HD-Reinigung Maximum	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 1m	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 2 m	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 3 m	Gelb	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 4,5 m	Gelb	Gelb	Gelb	Grün	Grün	Grün
AWD 4,5 m lang	Gelb	Grün	Gelb	Grün	Grün	Grün
IWD* 1 m	Blau (Riss in HAS)	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
IWD* 3 m	Blau (Riss in HAS)	Rot	Rot	Grün	Grün	Rot
IWD* 5 m	Blau (Riss in HAS)	Rot	Rot	Grün	Grün	Rot

* Prüfung nach Freilegung der Leitung mit Kontrolle auf Wasseraustritt aus der Sanierungsstelle
 Farbuordnung: rot = undicht, gelb = auffällig, grün = dicht, blau = nicht gewertet

3.3.6 Firma „IBG“

Fräs- und Verpressarbeiten

Der Firma IBG Hydro Tech GmbH waren für die Sanierungen im GFK-Liner-Kanal die Stutzen mit den Nummern 4, 5 und 6 zugeteilt sowie im NF-Liner-Kanal die Stutzen mit den Nummern 22, 23 und 24. Die eingesetzten Roboter waren IBG-Produkte, Baujahr 2012 (Circa-Angabe). Die Fräsarbeiten wurden durch einen Mitarbeiter und mit dem Equipment der Sanierungsfirma Horst Drzysga, Bremen, geleistet. Die drei Mitarbeiter der Firma setzten für die Sanierung aller Stutzen das Schalungsharz Epoxonic Ex 1824 Rapid ein. Die eingesetzten Werkzeuge und Materialien sowie Zeitdauern für einzelne Arbeitsschritte sind in Tabelle 19 aufgelistet.

Tabelle 19: Fa. IBG: Zusammenfassung der Fräs- und Verpressarbeiten

Haltung	GFK-Haltung			NF-Haltung		
zugeteilte Stutzen Nr.	4	5	6	22	23	24
Nummer Schaden	1	2	3	1	2	3
Vorarbeiten Fräsen						
Einsatz Einlaufräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Einsatz Tellerfräser	nein, jedoch Einsatz einer Bürste			ja		
Beseitigen Fräsrückstände	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Zeitaufwand Vorarbeiten, gesamt [h]	ca. 0,8	ca. 1,3	ca. 0,9	ca. 1,5	ca. 1,0	ca. 1,5
Sanierung						
Abwinklung Dichtblase vom Schild	45°	90°	90°	45°	90°	90°
Materialeinsatz	EPOXONIC EX 1824 rapid			EPOXONIC EX 1824 rapid		
Materialmenge	ca. 6 kg	ca. 3 kg	ca. 3 kg	ca. 3kg	ca. 6 kg	ca. 6 kg
Zeitaufwand Sanierung [h] einschließlich Ziehen der Schalelemente	ca. 5,0	ca. 2,5	ca. 2,0	ca. 3,0	ca. 2,8	ca. 4,0
Aushärtezeit [h]						
1. Verpressvorgang	ca. 2,5	ca. 2,0	ca. 1,7	ca. 2,3	ca. 0,8	ca. 1,5
2. Verpressvorgang (sofern erforderlich)	ca. 2,0	-	-	nicht erfolgt	ca. 1,5	ca. 2,0
Nacharbeiten Fräsen						
Fräsarbeiten durchgeführt	ja	ja	nein	nein	ja	nein
Überschussmaterial entfernt / Kanten entgratet	ja	ja	nein	nein	ja	nein
Zeitaufwand Nacharbeiten [h]	ca. 0,2	ca. 0,2	-	-	ca. 0,2	-
Zeitaufwand Sanierung						
Zeitaufwand je Stutzen [h]	ca. 6,0	ca. 4,0	ca. 2,9	ca. 4,5	ca. 4,0	ca. 5,5
Summe Zeitaufwand [d]	ca. 26,9 h netto bei 4,5 Sanierungstagen im IKT					

Die Bilder in Tabelle 20 zeigen das optische Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Hausanschlüsse vor Belastungsbeginn (vgl. Prüfprogramm).

Tabelle 20: Fa. IBG: Optisches Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Stützen vor Beginn der Belastungen gemäß Prüfprogramm

Fa. IBG	Schaden 1	Schaden 2	Schaden 3
Haltung mit Linertyp			
GFK-Liner (nach Fräsen)			
GFK-Liner (Stützen saniert)	 Auffälligkeit (Infiltration)	 Auffälligkeit (unregelmäßige Oberflächenstruktur in Anschlussöffnung)	 Auffälligkeit (unregelmäßige Oberflächenstruktur in Anschlussöffnung)
NF-Liner (nach Fräsen)			
NF-Liner (Stützen saniert)	 Auffälligkeit (Infiltration und sichtbarer Beton)	 Auffälligkeit (unregelmäßige Oberflächenstruktur in Anschlussöffnung)	 Auffälligkeit (unregelmäßige Oberflächenstruktur in Anschlussöffnung)

Auffälligkeiten bei der Stützensanierung

Die Fräsarbeiten in der GFK-Haltung wurden nur mit einem Einlaufräser ausgeführt. Vor Beginn der Verpressarbeiten in der NF-Haltung entschied sich der Operateur der

IBG Hydro-Tech GmbH, die Randbereiche der frei gefrästen Anschlussstutzen mit einer Bürste zu bearbeiten.

Während der Verpressarbeiten kam es mehrfach zu Unterbrechungen aufgrund von Defekten an den Geräten oder fehlerhaft abgelaufenen Verpressvorgängen (s. u.). Das bereits ausgehärtete Harz musste in der Folge an den entsprechenden Stutzen entfernt werden. Die Firma IBG Hydro-Tech GmbH setzte für diese Fräsarbeiten einen Roboter mit einem portablen Steuergerät ein. Die Dauer dieser zusätzlich erforderlichen Fräsarbeiten für fehlerbehaftete Stutzenverpressvorgänge wurde nicht erfasst.

Bei den Verpressvorgängen ist in zwei Fällen Verpressgut soweit in die Anschlussleitung gelangt, dass dieses nicht mit dem zur Verfügung stehenden Equipment entfernt werden konnte. In einem Fall (Stutzen 24, NF-Haltung, Schaden 3) ist die gefüllte Kartusche während des Verpressvorgangs aufgrund von Versagen des Kartuschenverschlusses schlagartig aufgeplatzt mit der Folge, dass sich der Kartuscheninhalt im Bereich des Hauptkanals und Hausanschlusses unkontrolliert verteilt hat. In einem weiteren Fall gelangte an Stutzen 4 (GFK-Haltung, Schaden 1) während des Verpressvorgangs Material hinter die Absperrblase und verteilte sich dort ebenso unkontrolliert.

Nach dem Verpressvorgang an Stutzen 22 stellte der Operateur fest, dass das Harz nur unzureichend in den Sanierungsbereich eingebracht werden konnte und hier eine Nachverpressung erforderlich ist. Diese wurde jedoch nicht durchgeführt.

Der Ausfall der Schildheizung während des Verpressvorgangs an Stutzen 23 erforderte schließlich eine Wiederholung der Verpressarbeiten einschließlich Freifräsen und Reinigen des Anschlussbereiches.

Unmittelbar nach Abschluss der Sanierungsarbeiten zeigten sich erhebliche Auffälligkeiten an den sanierten Stutzen mit Schaden 1 (vgl. Bild in Tabelle 20) bereits bei der Kamerabefahrung des Hauptkanals, z. B. sichtbarer Beton in der Öffnung des Stutzens 22 (NF-Liner) und eindringendes Wasser am Stutzen 4 (GFK-Liner).

Die Bilder (vgl. Anhang, Abschnitt 1.5) spiegeln im Wesentlichen die Probleme bzw. Auffälligkeiten während der Verpressarbeiten wider. Alle Stutzensanierungen zeigen visuell erkennbare Auffälligkeiten - im Wesentlichen strukturierte Oberflächen im Rohranschluss, z. T. mit fehlendem Material - in unterschiedlich starker Ausprägung. Der an den Stutzen 4 und 22 während der Sanierungsarbeiten planmäßig vorhandene Wassereindrang konnte nicht unterbunden werden.

Mit Blick auf die Gesamt-Sanierungszeit ist zu berücksichtigen, dass drei (von vier) Stutzen erneut verpresst worden sind. Diese Wiederholungen können weitgehend mit technischen Defekten an den Geräten bzw. Robotern begründet werden.

Die **Inspektionsbilder der Sanierungen** in Abhängigkeit der Belastungen des Prüfprogramms (vgl. Abschnitt 3.2.5.1) sind im **Anhang** „Inspektionsergebnisse“ dargestellt.

Ergebnisübersicht zur (Außen-)Wasserdruckdichtheit

In Tabelle 21 sind Zustände und ggf. Veränderungen der (Außen-)Wasserdruckdichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über Rohrscheitel des Hauptkanals abgebildet. Die Belastung einzelner sanierter Stutzen wird unterschieden in Außen- (AWD) und Innenwasserdruck (IWD - hier bei Prüfung nach Freilegung im offenen Graben). Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt (rot = undicht mit Wasserein-/austritt, gelb = auffällig, grün = dicht und sofern vorhanden: blau = aus Wertung heraus genommen).

Tabelle 21: Fa. IBG: (Außen-)Wasserdruckdichtheit sanierter Stutzen nach Prüfprogramm

Fa. IBG	Schaden 1		Schaden 2		Schaden 3	
Prüfprogramm	GFK-Liner	NF-Liner	GFK-Liner	NF-Liner	GFK-Liner	NF-Liner
AWD 1 m	rot	rot	rot	blau	rot	rot
HD-Reinigung-Standard“	rot	rot	rot	blau	rot	rot
AWD 2 m	rot	rot	rot	blau	rot	rot
AWD 2 m lang	rot	rot	rot	blau	rot	rot
HD-Reinigung Maximum	rot	rot	rot	blau	rot	rot
AWD 1m	rot	rot	rot	blau	rot	rot
AWD 2 m	rot	rot	rot	blau	rot	rot
AWD 3 m	rot	rot	rot	blau	rot	rot
AWD 4,5 m	rot	rot	rot	blau	rot	rot
AWD 4,5 m lang	rot	rot	rot	blau	rot	rot
IWD* 1 m	rot	rot	rot	blau	rot	rot
IWD* 3 m	rot	rot	rot	blau	rot	rot
IWD* 5 m	rot	rot	rot	blau	rot	rot

* Prüfung nach Freilegung der Leitung mit Kontrolle auf Wasseraustritt aus der Sanierungsstelle
 Farbzuoordnung: rot = undicht, gelb = auffällig, grün = dicht, blau = nicht gewertet

3.3.7 Firma „SWIETELSKY-FABER“

Fräs- und Verpressarbeiten

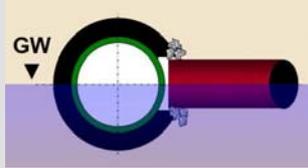
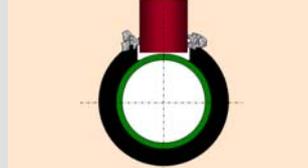
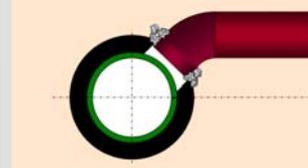
Der Firma Swietelsky-Faber GmbH Kanalsanierung waren für die Sanierungen im GFK-Liner-Kanal die Stutzen mit den Nummern 1, 2 und 3 zugeteilt sowie im NF-Liner-Kanal die Stutzen mit den Nummern 19, 20 und 21. Die eingesetzten Roboter waren KA-TE Produkte, Baujahr 2011 (Circa-Angabe). Die beiden Mitarbeiter der Firma setzten für die Sanierung aller sechs Stutzen das Harz 10 ein. Ein Bauleiter der Sanierungsfirma war stets anwesend. Die eingesetzten Werkzeuge und Materialien sowie Zeitdauern für einzelne Arbeitsschritte sind in Tabelle 22 aufgelistet.

Tabelle 22: Fa. SWIETELSKY-FABER: Zusammenfassung der Fräs- und Verpressarbeiten

Haltung	GFK-Haltung			NF-Haltung		
zugeteilte Stutzen Nr.	1	2	3	19	20	21
Nummer Schaden	1	2	3	1	2	3
Vorarbeiten Fräsen						
Einsatz Einlaufräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Einsatz Tellerfräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Beseitigen Fräsrückstände	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Zeitaufwand Vorarbeiten, gesamt [h]	ca. 1,5	ca. 1,5	ca. 1,5	ca. 1,5	ca. 1,5	ca. 1,5
Sanierung						
Öffnungsmaß Schalelement (Hausanschlussstutzen)	DN 125			DN 125		
Materialeinsatz	Harz 10			Harz 10		
Materialmenge	ca. 10 kg	ca. 5 kg	ca. 5 kg	ca. 10kg	ca. 5 kg	ca. 5 kg
Zeitaufwand Sanierung [h] einschließlich Ziehen der Schalelemente	ca. 1,0	ca. 0,8	ca. 0,8	ca. 2,1	ca. 0,8	ca. 0,8
Einschalzeit / Aushärtezeit (über Nacht)	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	ca. 4,5 Std.	ca. 4,0 Std.
Nacharbeiten Fräsen						
Fräsarbeiten durchgeführt	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Überschussmaterial entfernt / Kanten entgratet	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Zeitaufwand Nacharbeiten [h]	ca. 0,2	ca. 0,2	ca. 0,2	ca. 0,1	ca. 0,6	ca. 0,6
Zeitaufwand Sanierung						
Zeitaufwand je Stutzen [h]	ca. 2,7	ca. 2,5	ca. 2,5	ca. 3,7	ca. 2,9	ca. 2,9
Summe Zeitaufwand [d]	ca. 17,2 h netto bei 3 Sanierungstagen im IKT					

Die Bilder in Tabelle 23 zeigen das optische Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Hausanschlüsse vor Belastungsbeginn (vgl. Prüfprogramm).

Tabelle 23: Fa. SWIETELSKY-FABER: Optisches Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Stützen vor Beginn der Belastungen gemäß Prüfprogramm

Fa. SWIETELSKY-FABER	Schaden 1	Schaden 2	Schaden 3
Haltung mit Linertyp			
GFK-Liner (nach Fräsen)			
GFK-Liner (Stützen saniert)	 <p style="text-align: center;">keine Auffälligkeit</p>	 <p style="text-align: center;">keine Auffälligkeit</p>	 <p style="text-align: center;">keine Auffälligkeit</p>
NF-Liner (nach Fräsen)			
NF-Liner (Stützen saniert)	 <p style="text-align: center;">keine Auffälligkeit</p>	 <p style="text-align: center;">keine Auffälligkeit</p>	 <p style="text-align: center;">keine Auffälligkeit</p>

Auffälligkeiten bei der Stützensanierung

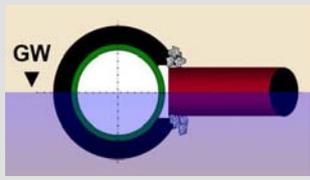
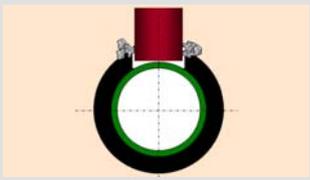
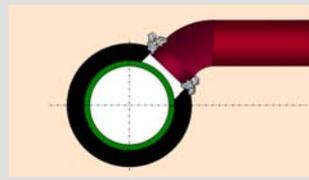
In beiden Haltungen (GFK- und NF-Liner) rauten die Mitarbeiter den Bereich der Rohranschlüsse mit einer Bürste an. Darüber hinaus schliffen sie die Oberflächen des NF-Liners in der Umgebung der Anschlussöffnungen ab. In zwei Fällen verrutschten die bereits fixierten Absperrelemente, so dass sie erneut eingesetzt werden mussten.

Die **Inspektionsbilder der Sanierungen** in Abhängigkeit der Belastungen des Prüfprogramms (vgl. Abschnitt 3.2.5.1) sind im **Anhang** „Inspektionsergebnisse“ dargestellt.

Ergebnisübersicht zur (Außen-)Wasserdruckdichtheit

In Tabelle 24 sind Zustände und ggf. Veränderungen der (Außen-)Wasserdruckdichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über Rohrscheitel des Hauptkanals abgebildet. Die Belastung einzelner sanierter Stutzen wird unterschieden in Außen- (AWD) und Innenwasserdruck (IWD - hier bei Prüfung nach Freilegung im offenen Graben). Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt (rot = undicht mit Wasserein-/austritt, gelb = auffällig, grün = dicht und sofern vorhanden: blau = aus Wertung heraus genommen).

Tabelle 24: Fa. SWIETELSKY-FABER: (Außen-)Wasserdruckdichtheit sanierter Stutzen nach Prüfprogramm

Fa. SWIETELSKY- FABER	Schaden 1		Schaden 2		Schaden 3	
						
Prüfprogramm	GFK-Liner	NF-Liner	GFK-Liner	NF-Liner	GFK-Liner	NF-Liner
AWD 1 m	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
HD-Reinigung-Standard	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 2 m	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 2 m lang	Gelb	Grün	Grün	Grün	Gelb	Grün
HD-Reinigung Maximum	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 1m	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 2 m	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 3 m	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 4,5 m	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 4,5 m lang	Gelb	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün
IWD* 1 m	Rot	Grün	Grün	Rot	Grün	Rot
IWD* 3 m	Rot	Grün	Grün	Rot	Grün	Rot
IWD* 5 m	Rot	Grün	Grün	Rot	Grün	Rot

* Prüfung nach Freilegung der Leitung mit Kontrolle auf Wasseraustritt aus der Sanierungsstelle
Farbzuordnung: rot = undicht, gelb = auffällig, grün = dicht, blau = nicht gewertet

3.3.8 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Im Folgenden werden die Versuchsergebnisse in chronologischer Reihenfolge mit Blick auf das Prüfprogramm (vgl. Abschnitt 3.2.5) zusammenfassend dargestellt.

Wasserstand 1 m über Rohrscheitel (Kurzzeit)

Der Zustand der Anschlussstutzen nach der Sanierung bei einem Wasserstand von einem Meter über Rohrscheitel des Hauptkanals ist zusammenfassend Bild 46 zu entnehmen. Bereits hier konnten einige Sanierungen als undicht identifiziert werden. Zwei der Schadensbilder II in der Nadelfilzliner-Haltung (NF-Haltung) wiesen allerdings Risse in der Anschlussleitung auf, durch die Wasser eindringt. Die Ursache dieser Risse ist nicht bekannt. Diese Stutzen werden daher nicht weiter betrachtet und auch nicht bewertet (vgl. blaue Markierung).

Sanierungs- aufgabe	GFK-Haltung			NF-Haltung		
	Schaden I	Schaden II	Schaden III	Schaden I	Schaden II	Schaden III
Anbieter						
IBG	mit Infiltration	mit Infiltration	mit Infiltration	mit Infiltration	[1]	mit Infiltration
KATEC	Keine	Keine	Keine	Keine	[1]	Keine
Kuchem	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine
Onyx	mit Infiltration	Keine	Keine	mit Infiltration	Keine	Keine
Plitt	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine
Swietelsky- Faber	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine

Legende:

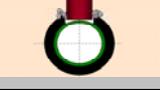
[1] Steinzeug-Anschlussleitung weist Risse auf

Auffälligkeiten	Keine	mit Infiltration	Feuchtigkeit/ Verfärbung	Nicht bewertbar
-----------------	-------	------------------	-----------------------------	-----------------

Bild 46 Wasserstand: 1 m über Rohrscheitel (Kurzzeit)

HD-Reinigungs-Standard

Vor der HD-Reinigung mit max. 80 bar Druck an der Düse wurde das Wasser bis auf Rohrsohle des Hauptkanals abgesenkt. Es wurden insgesamt 15 Reinigungs-Zyklen durchgeführt. Die beobachteten Veränderungen sind im Bild 47 zusammengestellt. Beispiele, wie z. B. ein Materialabtrag an den Harzrändern sind im Bild 48 dargestellt.

Sanierungs- aufgabe	GFK-Haltung			NF-Haltung		
	Schaden I	Schaden II	Schaden III	Schaden I	Schaden II	Schaden III
Anbieter						
IBG	0	0	0	0	0	X*
KATEC	X	0	X	X	X	X
Kuchem	0	0	0	X	X	X
Onyx	0	0	0	X	X	X
Plitt	0	0	0	X	X	X
Swietelsky-Faber	0	0	0	0	0	0

* Materialüberschuss im Anschlussrohr entfernt

Bemerkung	Keine Veränderung	Veränderung nach Reinigung
Darstellung	0	X

Bild 47 Ergebnisse der TV-Inspektion nach der ersten HD-Reinigung

Deutlich ist zu erkennen, dass überwiegend ein Abtrag des Sanierungsmaterials in der Haltung mit dem Nadelfilzliner auftrat. Betroffen waren hier diejenigen Sanierungsfirmen, die die Oberflächen des Schlauchliners nicht behandelt haben. Exemplarisch sind in Bild 48 einige Veränderungen infolge dieser ersten Kanalreinigung dargestellt.

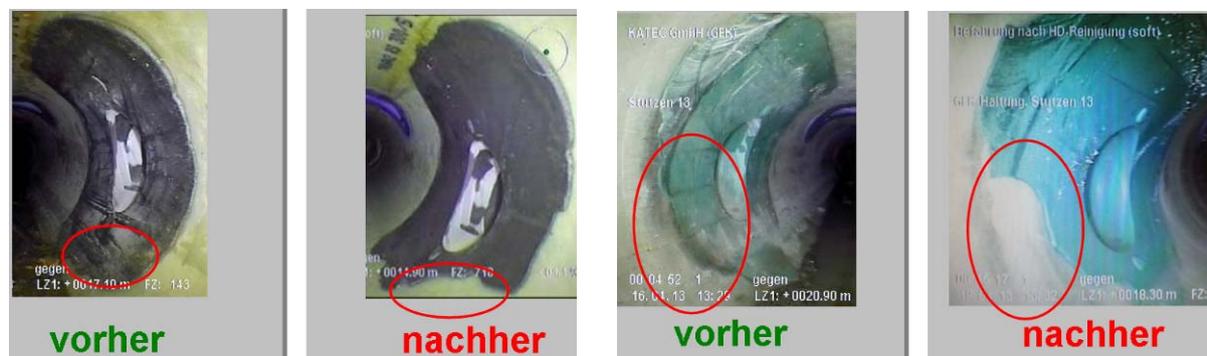


Bild 48 Exemplarisch dargestellte Veränderungen infolge der HD-Reinigung: NF-Haltung Schaden 1 (links) und GFK-Haltung Schaden 1 (rechts)

Wasserstand 2 m über Rohrscheitel (Kurzzeit)

Im Anschluss an die Kanalreinigung wurde der Wasserstand zunächst wieder auf 1 m über Rohrscheitel angehoben. Es zeigte sich, dass bezüglich der Dichtheit keine nachteiligen Auswirkungen infolge der Veränderungen aus der Kanalreinigung festzustellen waren. Erst nach dem Anheben des Wasserstandes auf 2 m zeigte sich an einem Schaden 1 in der GFK-Haltung eine neue Undichtigkeit (vgl. Bild 49).

Sanierungs- aufgabe	GFK-Haltung			NF-Haltung		
	Schaden I	Schaden II	Schaden III	Schaden I	Schaden II	Schaden III
Anbieter						
IBG					[1]	
KATEC					[1]	
Kuchem						
Onyx						
Plitt						
Swietelsky- Faber						

Legende:

[1] Steinzeug-Anschlussleitung weist Risse auf

Auffälligkeiten	Keine	mit Infiltration	Feuchtigkeit/ Verfärbung	Nicht bewertbar
-----------------	-------	------------------	-----------------------------	-----------------

Bild 49 Wasserstand: 2 m über Rohrscheitel (Kurzzeit) nach HD-Reinigung

Wasserstand 2 m über Rohrscheitel (Langzeit, 8 Wochen)

In dem 8-wöchigen Beobachtungszeitraum (vgl. Bild 50) zeigten sich keine weiteren gravierenden Undichtigkeiten, jedoch traten an fünf sanierten Stützen Auffälligkeiten in Form von Feuchtigkeit oder Verfärbung auf. Diese sind in Bild 50 gelb markiert.

Sanierungs- aufgabe	GFK-Haltung			NF-Haltung		
	Schaden I	Schaden II	Schaden III	Schaden I	Schaden II	Schaden III
Anbieter						
IBG					[1]	
KATEC					[1]	
Kuchem						
Onyx						
Plitt						
Swietelsky- Faber						

Legende:

[1] Steinzeug-Anschlussleitung weist Risse auf

Auffälligkeiten	Keine	mit Infiltration	Feuchtigkeit/ Verfärbung	Nicht bewertbar
-----------------	-------	------------------	-----------------------------	-----------------

Bild 50 Wasserstand: 2 m über Rohrscheitel (Langzeit, schlechtester Zustand innerhalb des 8-wöchigen Beobachtungszeitraums)

Wasserstand 2 m über Rohrscheitel (Langzeit, 16 Wochen)

In dem nunmehr 16-wöchigen Beobachtungszeitraum (vgl. Bild 51) zeigten sich keine weiteren, gravierenden Undichtigkeiten. Zwei sanierte Stutzen zeigten jedoch erstmals Auffälligkeiten, d. h. Feuchtigkeit oder Verfärbungen und sind nun gelb markiert (vgl. Bild 51). Darüber hinaus war in zwei Fällen erkennbar, dass die Verschlusssteller der Anschlussleitungen (vgl. Bild 17, rechts) undicht geworden sind und einen Wassereindrang zur Folge hatten. Die sanierten Stutzen an diesen Hausanschlüssen waren allerdings weiterhin dicht.

Sanierungsaufgabe	GFK-Haltung			NF-Haltung		
	Schaden I	Schaden II	Schaden III	Schaden I	Schaden II	Schaden III
Anbieter						
IBG	rot	rot	rot	rot	[1]	rot
KATEC	gelb	grün	grün	grün	[1]	grün
Kuchem	grün	grün	grün	[2]	grün	grün
Onyx	rot	grün	gelb	rot	grün	gelb
Plitt	rot	gelb	grün	gelb	grün	grün
Swietelsky-Faber	gelb	grün	gelb	[2]	grün	grün

Legende:

[1] Steinzeug-Anschlussleitung weist Risse auf

[2] Verschlusssteller ist undicht

Auffälligkeiten	Keine	mit Infiltration	Feuchtigkeit/Verfärbung	Nicht bewertbar
-----------------	-------	------------------	-------------------------	-----------------

Bild 51 Wasserstand: 2 m über Rohrscheitel (Langzeit, schlechtester Zustand innerhalb des 16-wöchigen Beobachtungszeitraums)

HD-Reinigung-Maximum

Vor der HD-Reinigung mit max. 100 bar Druck an der Düse wurde das Wasser bis auf Rohrsohle des Hauptkanals abgesenkt. Es wurden insgesamt 5 Reinigungs-Zyklen durchgeführt. Die beobachteten Veränderungen, auch unter Berücksichtigung der Ergebnisse nach der ersten HD-Reinigung, sind im Bild 52 zusammengestellt.

Sanierungs- aufgabe	GFK-Haltung			NF-Haltung		
	Schaden I	Schaden II	Schaden III	Schaden I	Schaden II	Schaden III
Anbieter						
IBG	0	0	0	0	0	X*
KATEC	X	XX	XXX	XXX	X	X
Kuchem	XX	XX	XX	XXX	XXX	XXX
Onyx	0	0	0	X	XXX	X
Plitt	0	0	XX	XXX	X	XXX
Swietelsky-Faber	0	0	0	0	0	0

Legende:

* Materialüberschuss im Anschlussrohr entfernt

Bemerkung	Keine Veränderung	Veränderung nach 1.Reinigung	Veränderung nach 2.Reinigung	Veränderung nach 3.Reinigung
Darstellung	0	X	XX	XXX

Bild 52 Ergebnisse der TV-Inspektion nach der HD-Reinigung-Maximum mit Berücksichtigung der Ergebnisse nach der ersten HD-Reinigung-Standard

Den Ergebnissen in Bild 52 ist zu entnehmen, dass infolge der zweiten Kanalreinigung an 13 sanierten Stutzen Zustandsveränderungen aufgetreten sind. Mit Blick auf den NF-Liner zeigen weitere 7 von 12 Sanierungen Veränderungen an ihrem optischen Erscheinungsbild, bei dem GFK-Liner sind fünf Sanierungen erstmalig auffällig und eine Sanierung bereits zum zweiten Mal.

Die Sanierungsergebnisse von zwei Firmen weisen nach der zweiten Kanalreinigung nahezu keine Zustandsveränderungen auf. Hier bewirkte offensichtlich die Vorbehandlung der Schlauchliner-Oberflächen ein besseres Haftvermögen des Verpressharzes als an den unbehandelten Stellen.

Wasserstand 4,5 m über Rohrscheitel (Langzeit, 8 Wochen)

In dem 8-wöchigen Beobachtungszeitraum (vgl. Bild 53) ist zu erkennen, dass die Erhöhung des Wasserstandes um weitere 2,5 Meter bei einer maximalen Haltedauer von zwei Monaten lediglich in zwei Fällen (Schaden 1 und 3 im GFK-Kanal) zu einer weiteren Zustandsverschlechterung geführt hat (vgl. dazu auch Bild 51, Farbwechsel von gelb auf rot). Hier ist nunmehr ein eindeutiger Wassereindrang vorhanden.

Im Gegensatz zu der o. g. Verschlechterung einiger Stutzensanierungen zeigen sich auch vermeintliche „Verbesserungen“ einzelner Stutzen. Vor diesem Hintergrund ist die vorangegangene HD-Reinigung zu berücksichtigen. Diese hatte offensichtlich zur Folge, dass insbesondere die Verfärbungen an den Sanierungen entfernt wurden und somit nicht mehr als Auffälligkeit erkannt werden konnten.

Sanierungs- aufgabe	GFK-Haltung			NF-Haltung		
	Schaden I	Schaden II	Schaden III	Schaden I	Schaden II	Schaden III
Anbieter						
IBG					[1]	
KATEC					[1]	
Kuchem				[2]		
Onyx						
Plitt	[2]					
Swietelsky- Faber				[2]		

Legende:

[1] Steinzeug-Anschlussleitung weist Risse auf

[2] Verschlusssteller ist undicht

Auffälligkeiten	Keine	mit Infiltration	Feuchtigkeit/ Verfärbung	Nicht bewertbar
-----------------	-------	------------------	-----------------------------	-----------------

Bild 53 Wasserstand: 4,5 m über Rohrscheitel (Langzeit, schlechtester Zustand innerhalb des 8-wöchigen Beobachtungszeitraums)

Innendruck-Prüfungen mit Wasser (Wassersäule von 1, 3 und 5 Metern, nach Freilegen der Leitungen)

Die Ergebnisse der Innendruck-Prüfungen mit Wasser bei Überdrücken von 0,1 – 0,3 – 0,5 bar sind in Bild 54 dargestellt. Sämtliche Prüfungen fanden nach Freilegen der Leitungen statt. Es sind auch die Füllstandshöhen angegeben, bei denen eine Exfiltration aus dem (sanieren) Anschluss sichtbar war. Einige Stutzen zeigten bereits bei Befüllen erkennbare Undichtigkeiten.

Sanierungs- aufgabe Anbieter	GFK-Haltung			NF-Haltung		
	Schaden I	Schaden II	Schaden III	Schaden I	Schaden II	Schaden III
IBG	Befüllen [1]	Befüllen [1]	Befüllen [3]	Befüllen [1]	[2]	Befüllen [3]
KATEC	Befüllen	[2]			[2]	
Kuchem	3 m					
Onyx	Befüllen [1]			Befüllen [3]		3 m
Plitt	[2]	3 m		3 m		3 m
Swietelsky- Faber	Befüllen				1 m	1 m

Legende:

Auffälligkeiten	Keine	Exfiltration	Nicht bewertbar	[1] nicht komplett saniert; Prüfung nicht erforderlich (Undichtigkeit ersichtlich) [2] Steinzeugrohr gerissen keine Prüfung möglich [3] zu stark undicht bei Befüllung
-----------------	-------	--------------	-----------------	--

Bild 54 Ergebnisse der Innendruck-Dichtheitsprüfungen mit Angabe der Füllstandshöhe im Falle einer beobachteten Undichtigkeit, Prüfung nach Freilegung der Leitung

Fazit

Folgende Erkenntnisse lassen sich aus den Versuchen ableiten:

- Stützsanierungen mit offensichtlich unzureichender Menge Verpressgut in der Schadstelle oder mit stark strukturierten Oberflächen (hier 7 von 34 Sanierungen, ca. 20 %) waren von Beginn an undicht.
- Sofern ein schadhafter Anschluss optisch ansprechend saniert und zu Beginn dicht ist, bleibt er es i. d. R. auch (20 von 34 Sanierungen, ca. 59 %, zeigen bis zum Versuchsende keine Infiltrationen).
- Selbst bei nennenswertem Grundwasseranstieg waren bis zum Ende der Außenwasserdruckbelastungen nur zwei weitere Zustandsverschlechterungen mit Infiltrationen zu verzeichnen. Zum Ende des Prüfprogramms zeigten 9 von 34 sanierten Hausanschlüssen (ca. 26 %) Infiltrationen.
- Auffälligkeiten in Form von Verfärbung oder Feuchtigkeit zeigten 5 von 34 Stützen (ca. 15 %). Hier ist zu berücksichtigen, dass eine HD-Reinigung diese Auffälligkeiten weitgehend beseitigt und diese in der Folge nicht erkannt werden können.
- Materialabtrag durch HD-Kanalreinigung (insbesondere bei Linern mit Innenfolie) kann durch Verbesserung der Haftwirkung des Harzes durch entsprechende Oberflächenvorbereitung, z. B. Anfräsen oder Anschleifen, vorgebeugt werden.
- Ein geringerer Düsendruck bei der HD-Reinigung mit gleichzeitig höherer Anzahl von Reinigungszyklen verändert den Zustand der Sanierungen offensicht-

lich weniger als ein höherer Düsendruck mit einer geringeren Anzahl von Reinigungszyklen.

- Die Ergebnisse der Innendruck-Prüfungen sind nicht „deckungsgleich“ mit denen der Außenwasserdruck-Prüfungen. Zum Teil versagen die Sanierungsstellen bei deutlich niedrigerem Innen- als Außenwasserdruck. Inwieweit hier die Belastungsgeschichte sowie die besonderen Prüfbedingungen an einer freigelegten Leitung die Prüfergebnisse beeinflussen, kann abschließend nicht beurteilt werden.

Auch bei Kombinationen aus verschiedenen Rohr- bzw. Sanierungswerkstoffen (Betonrohr, Schlauchliner, Steinzeugrohr, Verpressharz und Bettung) kann die Sanierung von schadhaften Hausanschlüssen mit Epoxidharzen bei guter Ausführung einen Beitrag zur infiltrationsdichten Fremdwassersanierung leisten.

3.4 Großversuche an unsanierten Hauptkanälen

3.4.1 Bautechnische Umsetzung

3.4.1.1 Ausgangssituation/Sanierungsaufgabe

Im Rahmen dieses Projektteils werden schadhafte Anbindungsbereiche von Hausanschlussleitungen zum unsanierten Hauptkanal von Sanierungsfirmen durch den Einsatz verschiedener Robotersysteme und Harze repariert. Die einzelnen Schäden sowie deren Herstellung und Aufbau sind in ihren Außenansichten bereits in Abschnitt 3.2.4 dargestellt. Die Ansicht der Schadstellen von innen – aus dem Blickwinkel des Mitarbeiters der Sanierungsfirma – und vor Ausführung der Reparaturarbeiten ist nachfolgend in Tabelle 25 abgebildet.

Tabelle 25: Innenansicht Hauptkanal auf zu sanierende Schadstellen vor Beginn der Fräsarbeiten (Beton- und Steinzeugrohr, Beispiele)

	Schaden 1	Schaden 2	Schaden 3
Rohrmaterial Hauptkanal			
Beton			
Steinzeug			

3.4.1.2 Eingesetzte Frästechnik

Von den sechs an dieser Projekt-Sanierungsaufgabe beteiligten Firmen verfügten vier ausschließlich über Robotertechnik der KA-TE System AG. Hier variierten im Wesentlichen das Alter der Fräsroboter (nach Aussage der Firmenmitarbeiter von Baujahr 1997 bis 2013, vgl. Bild 55) und die Anzahl der jeweils eingesetzten bzw. verfügbaren Fräsköpfe (vgl. Bild 56). Die eingesetzten Fräsroboter von ProKASRO Mechatronik

GmbH und IBG HydroTech GmbH sind aus den Jahren 2012 und 2013. Eine Zuordnung der Roboter zu den Sanierungsfirmen findet sich in Abschnitt 3.2.5.2.



Bild 55 Eingesetzte Fräsroboter von KA-TE, ProKASRO und IBG (beide in der unteren Zeile) nach Baujahr – ältestes Baujahr (links oben) und jüngstes Baujahr (rechts unten)

Auf die Fräsroboter montierten die Sanierer überwiegend sogenannte Einlauf- und Tellerfräser mit und ohne Verlängerungsaufsatz. Auch kamen Bürsten zum Einsatz, hier insbesondere um das verpresste und ausgehärtete Harz nachzubearbeiten. Die Bandbreite der eingesetzten Fräswerkzeuge ist bereits in Bild 37f (vgl. Abschnitt 3.3.1.2) dargestellt, nunmehr lediglich um einen Trapezfräser ergänzt (vgl. Bild 56).



Bild 56 Beispiel für einen im Rahmen dieser Versuche bisher nicht eingesetzten Trapezfräser

Die Fräsarbeiten wurden analog zu der bereits in Abschnitt 3.3.1.2 dargestellten Weise durchgeführt, lediglich der Arbeitsschritt zur Öffnung der Schlauchliner entfiel.

3.4.1.3 Herstellen des Verpressraumes

Um in die Schadstellen an den defekten/undichten Rohranbindungen das Sanierungsharz einbringen zu können, muss ein begrenzter bzw. definierter Verpressraum im Hauptkanal hergestellt werden. Hierzu wird bei dem **KA-TE-Verfahren** (siehe dazu Bild 40f in Abschnitt 3.3.1.3) und auch bei Einsatz des Roboters von **ProKASRO** in einem ersten Schritt die Schalungsmanschette in den Hauptkanal gesetzt (vgl. Bild 57, links), ausgerichtet und verspannt. Die Öffnung in dieser Manschette liegt dann an der Anschlussleitung. In einem weiteren Schritt wird die Öffnung des Anschlusskanals und der Schalungsmanschette mit einem Absperrelement (Blase, vgl. Bild 57, rechts) verschlossen.



Bild 57 Roboter wird mit Schalungsmanschette bestückt (links) und aufgepumptes Absperrelement als Verschluss der Manschettöffnung und des Hausanschlusses (rechts)

Sind Schalungsmanschette und Absperrelement gesetzt, kann (auch parallel dazu) das Harz gemischt (vgl. Abschnitt 3.3.1.4) und in der Folge die Schadstelle verpresst werden (vgl. Abschnitt 3.3.1.5).

Die Vorgehensweise bei Einsatz der **Robotertechnik von IBG** unterscheidet sich insbesondere bei der Herstellung des Verpressraumes von der KA-TE-/ProKASRO-Verfahrenstechnik und ist bereits in Abschnitt 3.3.1.3 erläutert. Auf eine erneute Darstellung wird an dieser Stelle daher verzichtet.

3.4.1.4 Herstellen des Verpressgutes

Für die Sanierung der 36 schadhafte Stützenbereiche wurden Harze von vier Herstellern verwendet (vgl. Tabelle 5, Seite 50). Drei Hersteller konnten bereits auf eine DIBt-Zulassung ihrer Harze verweisen, ein Hersteller (resinnovation, Harz 10) nicht. Das Mischen der Harze erfolgte mit denselben Hilfsmitteln bzw. Mischeinrichtungen, wie sie bereits in Abschnitt 3.3.1.4 aufgeführt sind.

3.4.1.5 Stützenverpressung

Auch mit Blick auf die Verpressung der Anschlussbereiche ist an dieser Stelle kein neues Verfahren bzw. Abweichen von bereits in Abschnitt 3.3.1.5 dargestellten Ar-

beitsschritten zu beschreiben. Dies gilt auch für den Einsatz des Roboters von Pro-KASRO.

3.4.2 Firma „GEIGER“

Fräs- und Verpressarbeiten

Die Firma Geiger Kanaltechnik GmbH & Co. KG sanierte die sechs Stützen des dritten Aufbaus von Versuchsstand 2. Die Roboter waren KA-TE Produkte, Baujahr 2003 (Circa-Angabe). Die beiden Mitarbeiter der Firma setzten für die Sanierung aller Hausanschlüsse das Schalungsharz Epoxonic Ex 1824 Rapid ein. Die verwendeten Werkzeuge und Materialien sowie Zeitauern für einzelne Arbeitsschritte sind in Tabelle 26 aufgelistet.

Tabelle 26: Fa. GEIGER: Zusammenfassung der Fräs- und Verpressarbeiten

Rohrwerkstoff	Beton			Steinzeug		
Nummer Schaden	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Vorarbeiten Fräsen						
Einsatz Einlaufräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Einsatz Tellerfräser	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Beseitigen Fräsrückstände	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Abbürsten der Fräsränder	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Zeitaufwand Vorarbeiten, gesamt [h]	ca. 0,9	ca. 0,5	ca. 0,4	ca. 1,2	ca. 0,3	ca. 0,4
Sanierung						
Öffnungsmaß Schalelement (Hausanschlussstutzen)	DN 125			DN 125		
Materialeinsatz	EPOXONIC EX 1824 rapid			EPOXONIC EX 1824 rapid		
Materialmenge	ca. 10,5kg	ca. 3kg	ca. 3kg	ca. 8,5 kg	ca. 1,5kg	ca. 1,5 kg
Zeitaufwand Sanierung [h] einschließlich Ziehen der Schalelemente	ca. 1,2	ca. 0,4	ca. 0,3	ca. 1,8	ca. 0,4	ca. 0,3
Einschalzeit / Aushärtezeit (über Nacht)	ca. 2,5 h	ca. 2,5 h	ca. 2,5 h	ca. 2,5 h	ca. 2,5 h	ca. 2,5 h
Nacharbeiten Fräsen						
Fräsarbeiten durchgeführt	ja	ja	ja	ja	nein	nein
Überschussmaterial entfernt / Kanten entgratet	nein	nein	nein	ja	nein	nein
Zeitaufwand Nacharbeiten [h]	ca. 0,3	ca. 0,1	ca. 0,1	ca. 0,8	0,0	0,0
Zeitaufwand Sanierung						
Zeitaufwand je Stutzen [h]	ca. 2,4*	ca. 1,0	ca. 0,8	ca. 3,8*	ca. 0,6	ca. 0,6
Summe Zeitaufwand [d]	ca. 9,4 h netto bei 2 Sanierungstagen im IKT					

* Stutzen wurde zweimal verpresst

Die Bilder in Tabelle 27 zeigen das optische Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Hausanschlüsse vor Belastungsbeginn (vgl. Prüfprogramm).

Tabelle 27: Fa. GEIGER: Optisches Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Stutzen vor Beginn der Belastungen gemäß Prüfprogramm

Fa. GEIGER	Schaden 1	Schaden 2	Schaden 3
Rohrwerkstoff Hauptkanal			
Beton (nach Fräsen)	<p>00 01 53 01.09.14 10:23 LZ1: -0004,00 m FZ: 870 +04,8 %</p>	<p>00 02 10 01.09.14 10:24 LZ1: -0004,60 m FZ: 871 +03,3 %</p>	<p>00 03 00 01.09.14 10:24 LZ1: -0004,90 m FZ: 888 +04,7 %</p>
Beton (Stutzen saniert)	<p>00 02 12 11.09.14 07:46 LZ1: -0004,20 m FZ: 392 +03,5 %</p> <p>Auffälligkeit: Infiltration</p>	<p>00 02 31 11.09.14 07:47 LZ1: -0004,80 m FZ: 393 +03,4 %</p> <p>keine Auffälligkeit</p>	<p>00 03 31 11.09.14 07:48 LZ1: -0005,20 m FZ: 413 +01,6 %</p> <p>keine Auffälligkeit</p>
Steinzeug (nach Fräsen)	<p>00 05 01 01.09.14 10:24 LZ1: -0005,80 m FZ: 922 +02,7 %</p>	<p>00 05 16 01.09.14 10:27 LZ1: -0006,40 m FZ: 923 +02,3 %</p>	<p>00 06 21 01.09.14 10:28 LZ1: -0006,70 m FZ: 943 +02,2 %</p>
Steinzeug (Stutzen saniert)	<p>00 07 16 11.09.14 07:51 LZ1: -0005,90 m FZ: 467 +02,5 %</p> <p>keine Auffälligkeit</p>	<p>00 07 39 11.09.14 07:52 LZ1: -0006,70 m FZ: 468 +02,6 %</p> <p>keine Auffälligkeit</p>	<p>00 08 59 11.09.14 07:53 LZ1: -0007,10 m FZ: 495 +00,2 %</p> <p>keine Auffälligkeit</p>

Auffälligkeiten bei der Stutzensanierung

Während der Sanierungsarbeiten konnten als Schwachpunkt die eingesetzten Absperrlemente (Blasen) ausgemacht werden. In zwei Fällen platzten diese – einmal

bei dem Einsetzen in eine Anschlussleitung, im zweiten Fall während der Verpressung. In einem dritten Fall stellte der Operateur einen Druckverlust im Absperrlement während der Aushärtephase des Harzes fest. In diesem Fall konnte er die Blase mit Hilfe des Roboters wieder aufpumpen. Das Platzen der Blase während der Aushärtephase des Harzes an Schaden 1 im Betonrohr führte zu einer „Verschmierung“ des Harzes mindestens mit optischen Auffälligkeiten, die daher Nachfräsarbeiten erforderten. Der Operateur entschied sich, diesen Stutzen zu fräsen und erneut zu verpressen. Nachfräsarbeiten am verpressten Schaden 1 im Steinzeugrohr führten dazu, dass die Hausanschlussleitung aus Steinzeug geschädigt wurde und hier ebenfalls neu verpresst werden musste. Einen kurzfristigen Ausfall der Schieberstangen-Steuerung konnten die Mitarbeiter erfolgreich beheben.

Die **Inspektionsbilder der Sanierungen** in Abhängigkeit der Belastungen des Prüfprogramms (vgl. Abschnitt 3.2.5.2) sind im **Anhang** „Inspektionsergebnisse“ dargestellt.

Ergebnisübersicht zur (Außen-)Wasserdruckdichtheit

In Tabelle 28 sind Zustände und ggf. Veränderungen der (Außen-)Wasserdruckdichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über Rohrscheitel des Hauptkanals abgebildet. Die Belastung einzelner sanierter Stutzen wird unterschieden in Außen- (AWD) und Innenwasserdruck (IWD - hier bei Prüfung nach Freilegung im offenen Graben). Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt (rot = undicht mit Wasserein-/austritt, gelb = auffällig, grün = dicht und sofern vorhanden: blau = aus Wertung heraus genommen).

Tabelle 28: Fa. GEIGER: (Außen-)Wasserdruckdichtheit sanierter Stutzen nach Prüfprogramm

Fa. GEIGER	Schaden 1		Schaden 2		Schaden 3	
	Beton	Steinzeug	Beton	Steinzeug	Beton	Steinzeug
AWD 1 m	rot	rot	grün	grün	grün	grün
HD-Reinigungs-Standard	rot	rot	grün	grün	grün	grün
AWD 2 m	rot	rot	grün	grün	grün	grün
AWD 2 m lang	rot	rot	grün	grün	grün	grün
IWD* 1 m	rot	rot	grün	grün	grün	grün
IWD* 3 m	rot	rot	grün	grün	grün	grün
IWD* 5 m	rot	rot	grün	grün	grün	grün

* Prüfung nach Freilegung der Leitung mit Kontrolle auf Wasseraustritt aus der Reparaturstelle
 Farbzunordnung: rot = undicht, gelb = auffällig, grün = dicht, blau = nicht gewertet

3.4.3 Firma „KATEC“

Fräs- und Verpressarbeiten

Die Firma KATEC – Kanaltechnik Müller & Wahl GmbH sanierte die sechs Stutzen des ersten Aufbaus von Versuchsstand 1. Die Roboter waren KA-TE-Produkte, Baujahr 2008 (Circa-Angabe). Die beiden Mitarbeiter der Firma setzten zwei unterschiedliche Harze ein, die sich nach ihrer Erfahrung am besten für die jeweilige Sanierung eigneten. Die verwendeten Werkzeuge und Materialien sowie Zeitauern für einzelne Arbeitsschritte sind in Tabelle 29 aufgelistet.

Tabelle 29: Fa. KATEC: Zusammenfassung der Fräs- und Verpressarbeiten

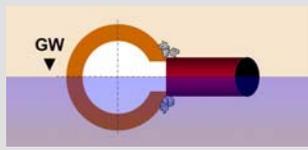
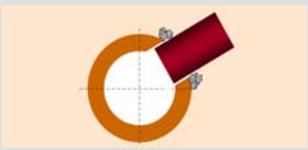
Rohrwerkstoff	Beton			Steinzeug		
Nummer Schaden	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Vorarbeiten Fräsen						
Einsatz Einlaufräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Einsatz Nutfräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Beseitigen Fräsrückstände	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Zeitaufwand Vorarbeiten, gesamt [h]	ca. 1,2	ca. 0,3	ca. 0,6	ca. 0,4	ca. 0,3	ca. 0,5
Sanierung						
Öffnungsmaß Schalelement (Hausanschlussstutzen)	DN 120			DN 120		
Materialeinsatz	Konudur Robopox 10	EPOXONIC EX 1824 rapid	Konudur Robopox 10	Konudur Robopox 10	EPOXONIC EX 1824 rapid	Konudur Robopox 10
Materialmenge	ca.8,0kg	ca.3,0kg	ca.3,0kg	ca.3,8kg	ca.3,0kg	ca.3,0kg
Zeitaufwand Sanierung [h] einschließlich Ziehen der Schalelemente	ca. 1,1	ca. 0,4	ca. 0,5	ca. 0,7	ca. 0,3	ca. 0,6
Einschalzeit / Aushärtezeit (über Nacht)	> 8 Std.	ca. 4 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	ca. 4 Std.	> 8 Std.
Nacharbeiten Fräsen						
Fräsarbeiten durchgeführt	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Überschussmaterial entfernt / Kanten entgratet	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Zeitaufwand Nacharbeiten [h]	ca. 0,4	ca. 0,1	ca. 0,1	ca. 0,1	ca. 0,2	ca. 0,2
Zeitaufwand Sanierung						
Zeitaufwand je Stutzen [h]	ca. 2,7*	ca. 0,8 ^x	ca. 1,2	ca. 1,2	ca. 0,8 ^x	ca. 1,3
Summe Zeitaufwand [d]	ca. 8,0 h netto bei 4 Sanierungstagen im IKT					

* Stutzen wurde zweimal verpresst

^x Stutzen wurde nachgespachtelt

Die Bilder in Tabelle 30 zeigen das optische Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Hausanschlüsse vor Belastungsbeginn (vgl. Prüfprogramm).

Tabelle 30: Fa. KATEC: Optisches Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Stutzen vor Beginn der Belastungen gemäß Prüfprogramm

Fa. KATEC	Schaden 1	Schaden 2	Schaden 3
Rohrwerkstoff Hauptkanal			
Beton (nach Fräsen)			
Beton (Stutzen saniert)	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit
Steinzeug (nach Fräsen)			
Steinzeug (Stutzen saniert)	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit

Auffälligkeiten bei der Stutzensanierung

Während der Sanierungsarbeiten gab es zwei geringfügige technische Probleme, die allerdings von den Mitarbeitern behoben werden konnten:

1. Bildausfall am Steuerstand,
2. Ausfall des Scheibenwischers an der Roboterkamera.

Darüber hinaus zeigte sich bei den Nacharbeiten (Fräsen bzw. Entgraten des Harzes) an Schaden 1 im Betonrohr noch der frei liegende Rohrspiegel der Hausanschlussleitung. Hier entschied sich der Operateur, diesen Stutzen neu zu verpressen. Mit dem dabei nicht verbrauchten Material spachtelte er Unebenheiten und kleinere Löcher an beiden Stutzen mit Schadensbild 2 zu.

Die **Inspektionsbilder der Sanierungen** in Abhängigkeit der Belastungen des Prüfprogramms (vgl. Abschnitt 3.2.5.2) sind im **Anhang** „Inspektionsergebnisse“ dargestellt.

Ergebnisübersicht zur (Außen-)Wasserdruckdichtheit

In Tabelle 31 sind Zustände und ggf. Veränderungen der (Außen-)Wasserdruckdichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über Rohrscheitel des Hauptkanals abgebildet. Die Belastung einzelner sanierter Stutzen wird unterschieden in Außen- (AWD) und Innenwasserdruck (IWD - hier bei Prüfung nach Freilegung im offenen Graben). Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt (rot = undicht mit Wasserein-/austritt, gelb = auffällig, grün = dicht und sofern vorhanden: blau = aus Wertung heraus genommen).

Tabelle 31: Fa. KATEC: (Außen-)Wasserdruckdichtheit sanierter Stutzen nach Prüfprogramm

Fa. KATEC	Schaden 1		Schaden 2		Schaden 3	
	Beton	Steinzeug	Beton	Steinzeug	Beton	Steinzeug
AWD 1 m	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
HD-Reinigungs-Standard	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 2 m	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
AWD 2 m lang	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
IWD* 1 m	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
IWD* 3 m	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
IWD* 5 m	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün

* Prüfung nach Freilegung der Leitung mit Kontrolle auf Wasseraustritt aus der Reparaturstelle
 Farbzuoordnung: rot = undicht, gelb = auffällig, grün = dicht, blau = nicht gewertet

3.4.4 Firma „KUCHEM“

Fräs- und Verpressarbeiten

Die Firma Kuchem GmbH sanierte die sechs Stutzen des ersten Aufbaus von Versuchsstand 2. Die Roboter waren KA-TE-Produkte, Baujahr 1997 (Circa-Angabe). Die beiden Mitarbeiter der Firma setzten für die Sanierung aller Stutzen das Schalungsharz Epoxonic Ex 1824 Rapid ein. Die verwendeten Werkzeuge und Materialien sowie Zeitdauern für einzelne Arbeitsschritte sind in Tabelle 32 aufgelistet.

Tabelle 32: Fa. KUCHEM: Zusammenfassung der Fräs- und Verpressarbeiten

Rohrwerkstoff	Beton			Steinzeug		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Vorarbeiten Fräsen						
Einsatz Einlaufräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Einsatz Nutfräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Beseitigen Fräsrückstände	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Zeitaufwand Vorarbeiten, gesamt [h]	ca. 0,7	ca. 0,4	ca. 0,3	ca. 0,6	ca. 0,3	ca. 0,3
Sanierung						
Öffnungsmaß Schalelement (Hausanschlussstutzen)	DN 150			DN 150		
Materialeinsatz	EPOXONIC EX 1824 rapid			EPOXONIC EX 1824 rapid		
Materialmenge	ca. 4 kg	ca. 3 kg	ca. 2 kg	ca. 3kg	ca. 2 kg	ca. 2 kg
Zeitaufwand Sanierung [h] einschließlich Ziehen der Schalelemente	ca. 0,8	ca. 0,2	ca. 0,5	ca. 0,4	ca. 0,4	ca. 0,4
Einschalzeit / Aushärtezeit (über Nacht)	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.
Nacharbeiten Fräsen						
Fräsarbeiten durchgeführt	ja	nein	nein	nein	nein	nein
Überschussmaterial entfernt / Kanten entgratet	ja	nein	nein	nein	nein	nein
Zeitaufwand Nacharbeiten [h]	ca. 0,2	-	-	-	-	-
Zeitaufwand Sanierung						
Zeitaufwand je Stutzen [h]	ca. 1,7	ca. 0,6	ca. 0,8	ca. 1,0	ca. 0,7	ca. 0,7
Summe Zeitaufwand [d]	ca. 5,5 h netto bei 1,5 Sanierungstagen im IKT					

Die Bilder in Tabelle 33 zeigen das optische Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Hausanschlüsse vor Belastungsbeginn (vgl. Prüfprogramm).

Tabelle 33: Fa. KUCHEM: Optisches Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Stutzen vor Beginn der Belastungen gemäß Prüfprogramm

Fa. KUCHEM	Schaden 1	Schaden 2	Schaden 3
Rohrwerkstoff Hauptkanal			
Beton (nach Fräsen)			
Beton (Stutzen saniert)	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit
Steinzeug (nach Fräsen)			
Steinzeug (Stutzen saniert)	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit

Auffälligkeiten bei der Stutzensanierung

Während der Fräsarbeiten löste sich ein Hinterrad von der Achse des Roboters. Die Mitarbeiter konnten diese Panne zügig beheben.

Die **Inspektionsbilder der Sanierungen** in Abhängigkeit der Belastungen des Prüfprogramms (vgl. Abschnitt 3.2.5.2) sind im **Anhang** „Inspektionsergebnisse“ dargestellt.

Ergebnisübersicht zur (Außen-)Wasserdruckdichtheit

In Tabelle 34 sind Zustände und ggf. Veränderungen der (Außen-)Wasserdruckdichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über Rohrscheitel des Hauptkanals abgebildet. Die Belastung einzelner sanierter Stutzen wird unterschieden in Außen- (AWD) und Innenwasserdruck (IWD - hier bei Prüfung nach Freilegung im offenen Graben). Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt (rot = undicht mit Wasserein-/austritt, gelb = auffällig, grün = dicht und sofern vorhanden: blau = aus Wertung heraus genommen).

Tabelle 34 Fa. KUCHEM: (Außen-)Wasserdruckdichtheit sanierter Stutzen nach Prüfprogramm

Fa. KUCHEM	Schaden 1		Schaden 2		Schaden 3	
	Beton	Steinzeug	Beton	Steinzeug	Beton	Steinzeug
AWD 1 m	grün	grün	grün	grün	grün	grün
HD-Reinigungs-Standard	gelb	grün	grün	grün	grün	grün
AWD 2 m	gelb	grün	grün	grün	grün	grün
AWD 2 m lang	gelb	grün	grün	grün	grün	grün
IWD* 1 m	grün	grün	grün	grün	grün	grün
IWD* 3 m	grün	grün	grün	grün	grün	grün
IWD* 5 m	grün	grün	grün	grün	grün	grün

* Prüfung nach Freilegung der Leitung mit Kontrolle auf Wasseraustritt aus der Reparaturstelle
 Farbuordnung: rot = undicht, gelb = auffällig, grün = dicht, blau = nicht gewertet

3.4.5 Firma „PLITT“

Fräs- und Verpressarbeiten

Die Firma Plitt Rohr-sanierungsgesellschaft mbH sanierte die sechs Stutzen des zweiten Aufbaus von Versuchsstand 2. Die Roboter waren KA-TE-Produkte, deren Baujahr nicht bekannt ist. Die drei Mitarbeiter der Firma - ein Operateur (Geschäftsführer) und zwei Helfer - setzten für die Sanierung aller Stutzen das Harz Sika RoboTec-61 ein. Die verwendeten Werkzeuge und Materialien sowie Zeitauern für einzelne Arbeitsschritte sind in Tabelle 35 aufgelistet.

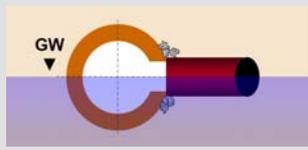
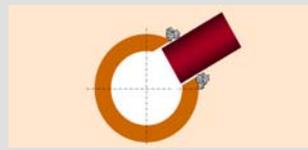
Tabelle 35: Fa. PLITT: Zusammenfassung der Fräs- und Verpressarbeiten

Rohrwerkstoff	Beton			Steinzeug		
Nummer Schaden	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Vorarbeiten Fräsen						
Einsatz Einlaufräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Einsatz Tellerfräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Beseitigen Fräsrückstände	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Zeitaufwand Vorarbeiten, gesamt [h]	ca. 2,1	ca. 0,6	ca. 0,5	ca. 0,8	ca. 0,5	ca. 0,5
Sanierung						
Öffnungsmaß Schalelement (Hausanschlussstutzen)	DN 125			DN 125		
Materialeinsatz	Sika RoboTec-61			Sika RoboTec-61		
Materialmenge	ca. 9 kg	ca. 6 kg	ca. 3 kg	ca. 12 kg	ca. 4,5 kg	ca. 13,5 kg
Zeitaufwand Sanierung [h] einschließlich Ziehen der Schalelemente	ca. 1,0	ca. 0,6	ca. 0,7	ca. 1,4	ca. 0,7	ca. 1,2
Einschalzeit / Aushärtezeit (über Nacht)	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.
Nacharbeiten Fräsen						
Fräsarbeiten durchgeführt	ja	ja	nein	ja	nein	nein
Überschussmaterial entfernt / Kanten entgratet	ja	ja	nein	ja	nein	nein
Zeitaufwand Nacharbeiten [h]	ca. 0,3	ca. 0,3	-	ca. 0,3	-	-
Zeitaufwand Sanierung						
Zeitaufwand je Stutzen [h]	ca. 3,4x	ca. 1,5	ca. 1,2	ca. 2,5x	ca. 1,2	ca. 1,7
Summe Zeitaufwand [d]	ca. 11,5 h netto bei 2,5 Sanierungstagen im IKT					

^x Stutzen wurde nachgespachtelt

Die Bilder in Tabelle 36 zeigen das optische Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Hausanschlüsse vor Belastungsbeginn (vgl. Prüfprogramm).

Tabelle 36: Fa. PLITT: Optischer Eindruck der gefrästen und sanierten Stutzen vor Beginn der Belastungen gemäß Prüfprogramm

Fa. PLITT	Schaden 1	Schaden 2	Schaden 3
Rohrwerkstoff Hauptkanal			
Beton (nach Fräsen)			
Beton (Stutzen saniert)	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit
Steinzeug (nach Fräsen)			
Steinzeug (Stutzen saniert)	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit

Auffälligkeiten bei der Stutzensanierung

Einen Ausfall der Drehkopf-Steuerung des Fräsroboters konnten die Mitarbeiter kurzfristig beheben. Während der Sanierungsarbeiten platzten zwei Absperrelemente (Blasen). In einem Fall geschah dies bei dem Einsetzen in den Hausanschluss, in dem zweiten Fall zu Beginn des Verpressvorgangs. Hier stoppte der Operateur das weitere Verpressen von Harz und entleerte die Kartusche an einem anderen, für das Verpressen bereits vorbereiteten Anschluss. Danach setzte er ein neues Absperrelement ein und führte die Sanierung des Anschlusses durch.

Die beiden Stützensanierungen an Schadensbild 1 veranlassten den Operateur, die Randbereiche mit einem Spachtelroboter nachzuarbeiten.

Die **Inspektionsbilder der Sanierungen** in Abhängigkeit der Belastungen des Prüfprogramms (vgl. Abschnitt 3.2.5.2) sind im **Anhang** „Inspektionsergebnisse“ dargestellt.

Ergebnisübersicht zur (Außen-)Wasserdruckdichtheit

In Tabelle 37 sind Zustände und ggf. Veränderungen der (Außen-)Wasserdruckdichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über Rohrscheitel des Hauptkanals abgebildet. Die Belastung einzelner sanierter Stützen wird unterschieden in Außen- (AWD) und Innenwasserdruck (IWD - hier bei Prüfung nach Freilegung im offenen Graben). Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt (rot = undicht mit Wasserein-/austritt, gelb = auffällig, grün = dicht und sofern vorhanden: blau = aus Wertung heraus genommen).

Tabelle 37: Fa. PLITT: (Außen-)Wasserdruckdichtheit sanierter Stützen nach Prüfprogramm

Fa. PLITT	Schaden 1		Schaden 2		Schaden 3	
	Beton	Steinzeug	Beton	Steinzeug	Beton	Steinzeug
AWD 1 m	grün	rot	grün	grün	grün	grün
HD-Reinigungs-Standard	gelb	rot	grün	grün	grün	grün
AWD 2 m	gelb	rot	grün	grün	grün	grün
AWD 2 m lang	gelb	rot	grün	grün	grün	grün
IWD* 1 m	rot	rot	grün	grün	grün	grün
IWD* 3 m	rot	rot	grün	grün	grün	grün
IWD* 5 m	rot	rot	grün	grün	grün	grün

* Prüfung nach Freilegung der Leitung mit Kontrolle auf Wasseraustritt aus der Reparaturstelle
 Farbuordnung: rot = undicht, gelb = auffällig, grün = dicht, blau = nicht gewertet

3.4.6 Firma „IBG“

Fräs- und Verpressarbeiten

Die Firma Hydro Tech GmbH sanierte die sechs Stutzen des dritten Aufbaus von Versuchsstand 1. Die Roboter waren IBG-Produkte, Baujahr 2013 (Circa-Angabe). Die beiden Mitarbeiter der Firma setzten für die Sanierung aller Stutzen das Harz 10 ein. Die verwendeten Werkzeuge und Materialien sowie Zeitauern für einzelne Arbeitsschritte sind in Tabelle 38 aufgelistet.

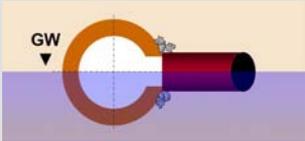
Tabelle 38: Fa. IBG: Zusammenfassung der Fräs- und Verpressarbeiten

Rohrwerkstoff	Beton			Steinzeug		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Vorarbeiten Fräsen						
Einsatz Einlaufräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Einsatz Nutfräser	nein	ja	nein	nein	nein	nein
Beseitigen Fräsrückstände	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Zeitaufwand Vorarbeiten, gesamt [h]	ca. 1,1	ca. 1,0	ca. 0,9	ca. 0,8	ca. 0,4	ca. 0,5
Sanierung						
Öffnungsmaß Schalelement (Hausanschlussstutzen)	systembedingt nicht vorhanden (vgl. Abschnitt 3.3.1.3)			systembedingt nicht vorhanden (vgl. Abschnitt 3.3.1.3)		
Materialeinsatz	Harz 10			Harz 10		
Materialmenge	ca. 5,5 kg	ca. 2,8 kg	ca. 3,5 kg	ca. 4,0 kg	ca. 2,0 kg	ca. 4,0 kg
Zeitaufwand Sanierung [h] einschließlich Ziehen der Schalelemente	ca. 1,0	ca. 0,6	ca. 0,3	ca. 0,3	ca. 0,2	ca. 0,8
Einschalzeit / Aushärtezeit (mit Heizschild)	ca. 1,5 h	ca. 1,5 h	ca. 1,5 h	ca. 1,5 h	ca. 1,5 h	ca. 1,5 h
Nacharbeiten Fräsen						
Fräsarbeiten durchgeführt	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Überschussmaterial entfernt / Kanten entgratet	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Zeitaufwand Nacharbeiten [h]	ca. 0,4	ca. 0,4	ca. 0,4	ca. 0,6	ca. 0,8	ca. 0,6
Zeitaufwand Sanierung						
Zeitaufwand je Stutzen [h]	ca. 2,5*	ca. 2,0*	ca. 1,6*	ca. 1,7*	ca. 1,4	ca. 1,9*
Summe Zeitaufwand [d]	ca. 11,1 h netto bei 4 Sanierungstagen im IKT					

* Stutzen wurde zweimal verpresst

Die Bilder in Tabelle 39 zeigen das optische Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Hausanschlüsse vor Belastungsbeginn (vgl. Prüfprogramm).

Tabelle 39: Fa. IBG: Optisches Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Stützen vor Beginn der Belastungen gemäß Prüfprogramm

Fa. IBG	Schaden 1	Schaden 2	Schaden 3
Rohrwerkstoff Hauptkanal			
Beton (nach Fräsen)			
Beton (Stützen saniert)	 <p data-bbox="451 1070 724 1126">Auffälligkeit (strukturierte Oberfläche, vgl. Anhang)</p>	 <p data-bbox="794 1070 1067 1126">Auffälligkeit (strukturierte Oberfläche, vgl. Anhang)</p>	 <p data-bbox="1117 1070 1390 1126">Auffälligkeit (strukturierte Oberfläche, vgl. Anhang)</p>
Steinzeug (nach Fräsen)			
Steinzeug (Stützen saniert)	 <p data-bbox="451 1688 724 1744">Auffälligkeit (strukturierte Oberfläche, vgl. Anhang)</p>	 <p data-bbox="794 1688 1067 1744">Auffälligkeit (strukturierte Oberfläche, vgl. Anhang)</p>	 <p data-bbox="1117 1688 1390 1744">Auffälligkeit (strukturierte Oberfläche, vgl. Anhang)</p>

Auffälligkeiten bei der Stützsanierung

Während der Sanierungsarbeiten musste nach einem Verpressvorgang ein Stromkabel an dem Roboter ausgetauscht werden. In einem weiteren Fall entdeckten die Mitarbeiter einen Riss im Schalungsschild, woraufhin dieses ausgetauscht wurde.

Bei der Nachkontrolle der Stutzen kam der Operateur zu dem Schluss, dass in fünf Fällen (vgl. Tabelle 38) der Stutzen nachverpresst werden muss. Hier reichten die bereits verpressten Materialmengen offensichtlich nicht aus, um das jeweilige Schadensbild mit einer ausreichenden Menge an Material zu umgeben. In der Folge versuchte der Operateur, die Stutzen derart anzufräsen, dass das Material durch die Schildöffnungen auch in den Sanierungs- bzw. Verpressbereich gelangen konnte.

Die **Inspektionsbilder der Sanierungen** in Abhängigkeit der Belastungen des Prüfprogramms (vgl. Abschnitt 3.2.5.2) sind im **Anhang** „Inspektionsergebnisse“ dargestellt.

Ergebnisübersicht zur (Außen-)Wasserdruckdichtheit

In Tabelle 40 sind Zustände und ggf. Veränderungen der (Außen-)Wasserdruckdichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über Rohrscheitel des Hauptkanals abgebildet. Die Belastung einzelner sanierter Stutzen wird unterschieden in Außen- (AWD) und Innenwasserdruck (IWD - hier bei Prüfung nach Freilegung im offenen Graben). Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt (rot = undicht mit Wasserein-/austritt, gelb = auffällig, grün = dicht und sofern vorhanden: blau = aus Wertung heraus genommen).

Tabelle 40: Fa. IBG: (Außen-)Wasserdruckdichtheit sanierter Stutzen nach Prüfprogramm

Fa. IBG	Schaden 1		Schaden 2		Schaden 3	
	Beton	Steinzeug	Beton	Steinzeug	Beton	Steinzeug
AWD 1 m	grün	grün	rot	rot	gelb	grün
HD-Reinigung-Standard	gelb	grün	rot	rot	gelb	grün
AWD 2 m	gelb	grün	rot	rot	gelb	grün
AWD 2 m lang	gelb	grün	rot	rot	rot	grün
IWD* 1 m	grün	grün	rot	rot	rot	grün
IWD* 3 m	rot	grün	rot	rot	rot	grün
IWD* 5 m	rot	grün	rot	rot	rot	grün

* Prüfung nach Freilegung der Leitung mit Kontrolle auf Wasseraustritt aus der Reparaturstelle
 Farbzuordnung: rot = undicht, gelb = auffällig, grün = dicht, blau = nicht gewertet

3.4.7 Firma „SWIETELSKY-FABER“

Fräs- und Verpressarbeiten

Die Firma Swietelsky-Faber GmbH Kanalsanierung sanierte die sechs Stutzen des zweiten Aufbaus von Versuchsstand 1. Die Roboter waren ProKASRO-Produkte, Baujahr 2012 (Circa-Angabe). Die beiden Mitarbeiter der Firma setzten für die Sanierung aller Stutzen das Harz Konudur Robopox CI ein. Die verwendeten Werkzeuge und Materialien sowie Zeitauern für einzelne Arbeitsschritte sind in Tabelle 41 aufgelistet.

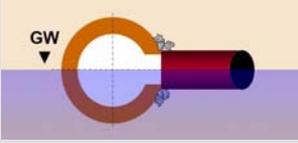
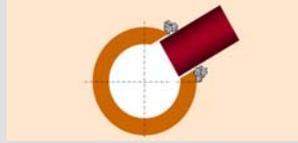
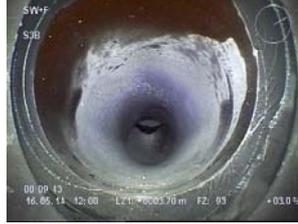
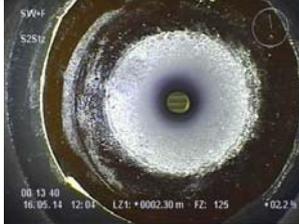
Tabelle 41: Fa. SWIETELSKY-FABER: Zusammenfassung der Fräs- und Verpressarbeiten

Rohrwerkstoff	Beton			Steinzeug		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Nummer Schaden						
Vorarbeiten Fräsen						
Einsatz Einlaufräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Einsatz Tellerfräser	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Beseitigen Fräsrückstände	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Zeitaufwand Vorarbeiten, gesamt [h]	ca. 2,3	ca. 0,9	ca. 1,0	ca. 1,1	ca. 1,7	ca. 1,0
Sanierung						
Öffnungsmaß Schalelement (Hausanschlussstutzen)	DN 150			DN 150		
Materialeinsatz	Konudur Robopox CI			Konudur Robopox CI		
Materialmenge	ca. 12,5 kg	ca. 5 kg	ca. 5 kg	ca. 10 kg	ca. 12,5 kg	ca. 10 kg
Zeitaufwand Sanierung [h] einschließlich Ziehen der Schalelemente	ca. 1,3	ca. 0,6	ca. 0,7	ca. 1,0	ca. 1,2	ca. 0,8
Einschalzeit / Aushärtezeit (über Nacht)	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.	> 8 Std.
Nacharbeiten Fräsen						
Fräsarbeiten durchgeführt	nein	ja	nein	ja	nein	ja
Überschussmaterial entfernt / Kanten entgratet	nein	ja	nein	ja	nein	ja
Zeitaufwand Nacharbeiten [h]	-	ca. 0,1	-	ca. 0,1	-	ca. 0,1
Zeitaufwand Sanierung						
Zeitaufwand je Stutzen [h]	ca. 3,6*	ca. 1,6	ca. 1,7	ca. 2,2	ca. 2,9*	ca. 1,9
Summe Zeitaufwand [d]	ca. 13,9 h netto bei 2 Sanierungstagen im IKT					

* Stutzen wurde zweimal verpresst

Die Bilder in Tabelle 42 zeigen das optische Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Hausanschlüsse vor Belastungsbeginn (vgl. Prüfprogramm).

Tabelle 42: Fa. SWIETELSKY-FABER: Optisches Erscheinungsbild der gefrästen und sanierten Stutzen vor Beginn der Belastungen gemäß Prüfprogramm

Fa. SWIETELSKY-FABER	Schaden 1	Schaden 2	Schaden 3
Rohrwerkstoff Hauptkanal			
Beton (nach Fräsen)			
Beton (Stutzen saniert)	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit
Steinzeug (nach Fräsen)			
Steinzeug (Stutzen saniert)	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit	 keine Auffälligkeit

Auffälligkeiten bei der Stutzensanierung

Während der Sanierungsarbeiten traten keine technischen Probleme auf. Bei der Kontrolle der verpressten Stutzen entdeckte der Operateur an zwei Stellen, dass diese nicht in ausreichender Menge mit Harz umgeben waren. Daraufhin entschloss er sich, diese Stutzen erneut zu verpressen.

Die **Inspektionsbilder der Sanierungen** in Abhängigkeit der Belastungen des Prüfprogramms (vgl. Abschnitt 3.2.5.2) sind im **Anhang** „Inspektionsergebnisse“ dargestellt.

Ergebnisübersicht zur (Außen-)Wasserdruckdichtheit

In Tabelle 43 sind Zustände und ggf. Veränderungen der (Außen-)Wasserdruckdichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über Rohrscheitel des Hauptkanals abgebildet. Die Belastung einzelner sanierter Stutzen wird unterschieden in Außen- (AWD) und Innenwasserdruck (IWD - hier bei Prüfung nach Freilegung im offenen Graben). Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt (rot = undicht mit Wasserein-/austritt, gelb = auffällig, grün = dicht und sofern vorhanden: blau = aus Wertung heraus genommen).

Tabelle 43: Fa. SWIETELSKY-FABER: (Außen-)Wasserdruckdichtheit sanierter Stutzen nach Prüfprogramm

Fa. SWIETELSKY- FABER	Schaden 1		Schaden 2		Schaden 3	
	Beton	Steinzeug	Beton	Steinzeug	Beton	Steinzeug
Prüfprogramm						
AWD 1 m	grün	grün	grün	grün	grün	grün
HD-Reinigung- Standard	grün	grün	grün	grün	grün	grün
AWD 2 m	gelb	rot	grün	grün	gelb	grün
AWD 2 m lang	gelb	rot	grün	grün	gelb	grün
IWD* 1 m	grün	rot	grün	grün	grün	grün
IWD* 3 m	grün	rot	grün	grün	grün	grün
IWD* 5 m	grün	rot	grün	grün	grün	grün

* Prüfung nach Freilegung der Leitung mit Kontrolle auf Wasseraustritt aus der Reparaturstelle
 Farbuordnung: rot = undicht, gelb = auffällig, grün = dicht, blau = nicht gewertet

3.4.8 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Im Folgenden werden die Versuchsergebnisse in chronologischer Reihenfolge mit Bezug auf das Prüfprogramm (vgl. Abschnitt 3.2.5) zusammenfassend dargestellt.

Wasserstand 1 m über Rohrscheitel (Kurzzeit)

Der Zustand der Anschlussstutzen nach der Sanierung bei einem Wasserstand von einem Meter über Rohrscheitel des Hauptkanals ist zusammenfassend Bild 58 zu entnehmen. Bereits hier konnten einige Sanierungen als undicht identifiziert werden.

Sanierungs- aufgabe Anbieter	Betonrohr			Steinzeugrohr		
	Schaden I	Schaden II	Schaden III	Schaden I	Schaden II	Schaden III
Geiger						
IBG						
KATEC						[1]
Kuchem						[1]
Plitt						
Swietelsky-Faber						

Legende:

[1] Wassereindrang außerhalb des Sanierungsbereichs

Auffälligkeiten	Keine	Infiltration	Feuchtigkeit/ Verfärbung
-----------------	-------	--------------	-----------------------------

Bild 58 Wasserstand: 1 m über Rohrscheitel (Kurzzeit)

HD-Reinigungs-Standard

Vor der HD-Reinigungs-Standard mit max. 80 bar Druck an der Düse wurde das Wasser bis auf Rohrsohle des Hauptkanals abgesenkt. Es wurden insgesamt 15 Reinigungs-Zyklen durchgeführt. Bild 59 zeigt, dass keine Veränderungen durch die HD-Reinigung an den Sanierungen aufgetreten sind.

Sanierungs- aufgabe	Betonrohr			Steinzeugrohr		
	Schaden I	Schaden II	Schaden III	Schaden I	Schaden II	Schaden III
Anbieter						
GEIGER	0	0	0	0	0	0
IBG	0	0	0	0	0	0
KATEC	0	0	0	0	0	0
KUCHEM	0	0	0	0	0	0
PLITT	0	0	0	0	0	0
SWIETELSKY- FABER	0	0	0	0	0	0

Legende:

Bemerkung	unverändert	verändert
Darstellung	0	X

Bild 59 Ergebnisse der TV-Inspektion nach der HD-Reinigung-Standard

Wasserstand 2 m über Rohrscheitel (Kurzzeit)

Nach dem Anheben des Wasserstandes auf 2 m über Rohrscheitel – nach der Kanalreinigung – zeigten sich kurzfristig zwei weitere Undichtigkeiten sowie eine höhere Anzahl von Auffälligkeiten, wie etwa Feuchtigkeit oder Verfärbung (vgl. Bild 58 und Bild 60).

Sanierungs- aufgabe	Betonrohr			Steinzeugrohr		
	Schaden I	Schaden II	Schaden III	Schaden I	Schaden II	Schaden III
Anbieter						
Geiger						[1]
IBG						
KATEC						[1]
Kuchem						[1]
Plitt			[1]	[1]		[1]
Swietelsky- Faber				[1]		[1]

Legende:

[1] Wassereindrang außerhalb des Sanierungsbereichs

Auffälligkeiten	Keine	Infiltration	Feuchtigkeit/ Verfärbung

Bild 60 Wasserstand: 2 m über Rohrscheitel (Kurzzeit) nach HD-Reinigung

Wasserstand 2 m über Rohrscheitel (Langzeit, 8 Wochen)

In dem 8-wöchigen Beobachtungszeitraum (vgl. Bild 61) zeigten sich keine gravierenden Veränderungen bzw. Zustandsverschlechterungen im Vergleich zur Kurzzeitbelastung mit 2 m Wassersäule (vgl. Bild 60).

Sanierungsaufgabe Anbieter	Betonrohr			Steinzeugrohr		
	Schaden I	Schaden II	Schaden III	Schaden I	Schaden II	Schaden III
Geiger						
Geiger	Red	Green	Green	Red	Green	[1]
IBG	Yellow	Red	Red	Green	Red	Green
KATEC	Green	Green	Green	Green	Green	[1]
Kuchem	Yellow	Green	Green	Green	Green	[1]
Plitt	Yellow	Green	[1]	[1]	Green	[1]
Swietelsky-Faber	Yellow	Green	Yellow	[1]	Green	[1]

Legende:

[1] Wassereindring außerhalb des Sanierungsbereichs

Auffälligkeiten	Keine	Infiltration	Feuchtigkeit/Verfärbung
-----------------	-------	--------------	-------------------------

Bild 61 Wasserstand: 2 m über Rohrscheitel (Langzeit, schlechtester Zustand innerhalb des 8-wöchigen Beobachtungszeitraums)

Innendruck-Prüfungen mit Wasser (Wassersäule von 1, 3 und 5 Meter nach Freilegen der Leitungen)

Die Ergebnisse der Innendruck-Prüfungen mit Wasser bei Überdrücken von 0,1 – 0,3 – 0,5 bar sind in Bild 62 dargestellt. Sämtliche Prüfungen fanden nach Freilegen der Leitungen statt. Es sind auch die Füllstandshöhen angegeben, bei denen eine Exfiltration aus dem (sanieren) Anschluss sichtbar war. Zwei Stutzen zeigten bereits bei Befüllen erkennbare Undichtigkeiten.

Sanierungsaufgabe Anbieter	Betonrohr			Steinzeugrohr		
	Schaden I	Schaden II	Schaden III	Schaden I	Schaden II	Schaden III
Geiger	Befüllen					
IBG	3m	1m	1m		Befüllen	
KATEC						
Kuchem						
Plitt	1m			1m		
Swietelsky-Faber				1m		

Legende:

Auffälligkeiten	Kein Wasseraustritt	Wasseraustritt	nicht Prüfbar
-----------------	---------------------	----------------	---------------

Bild 62 Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen mit Angabe der Füllstandshöhe im Falle einer beobachteten Undichtigkeit

Fazit

Folgende Erkenntnisse lassen sich aus den Versuchen ableiten:

- Stützsanierungen mit offensichtlich unzureichender Menge Verpressgut in der Schadstelle oder mit stark strukturierten Oberflächen (hier mindestens 3 von 36 Sanierungen, ca. 8 %) können ein Indiz für eine Undichtigkeit sein.
- Sofern ein schadhafter Anschluss optisch ansprechend saniert und zu Beginn dicht ist, bleibt er es i. d. R. auch (24 von 36 Sanierungen, ca. 67 %, zeigen bis zum Versuchsende keine Infiltrationen).
- Selbst bei nennenswertem Grundwasseranstieg waren bis zum Ende der Außenwasserdruckbelastungen lediglich drei weitere Zustandsverschlechterungen mit Infiltrationen zu verzeichnen. Zum Ende des Prüfprogramms zeigten 7 von 36 sanierten Hausanschlüssen (ca. 19 %) Infiltrationen.
- Auffälligkeiten in Form von Verfärbung oder Feuchtigkeit zeigten 5 von 36 Stützen (ca. 14 %). Hier ist zu berücksichtigen, dass eine HD-Reinigung diese Auffälligkeiten weitgehend beseitigt und diese in der Folge nicht erkannt werden können.
- Die HD-Reinigung zeigte keinerlei Auswirkungen auf das optische Erscheinungsbild der Sanierungen – hier waren keine Materialabplatzungen o. ä. vorhanden.
- Auffälligkeiten an den sanierten Hausanschlüssen traten im unsanierten Betonkanal zumeist erst während der längeren Belastungsdauer auf, wohingegen im

Hauptkanal aus Steinzeug die Schäden bzw. Auffälligkeiten bereits zu Beginn des Prüfprogramms erkennbar waren und sich im Rahmen des Prüfprogramms nur unwesentlich verschlechterten.

- Die Ergebnisse der Innendruck-Prüfungen sind nicht „deckungsgleich“ mit denen der Außenwasserdruck-Prüfungen. Zum Teil versagen die Reparaturstellen bei deutlich niedrigerem Innen- als Außenwasserdruck. Inwieweit hier die Belastungsgeschichte sowie die besonderen Prüfbedingungen an einer freigelegten Leitung die Prüfergebnisse beeinflussen, kann abschließend nicht beurteilt werden.

Auch bei Kombinationen aus verschiedenen Rohr- bzw. Sanierungswerkstoffen (Betonrohr, Steinzeugrohr, Verpressharz und Bettung) kann die Sanierung von schadhaften Hausanschlüssen mit Epoxidharzen bei guter Ausführung einen Beitrag zur infiltrationsdichten Fremdwassersanierung leisten.

3.5 Qualitätssicherung / Baustellenuntersuchung

Die Baustellenuntersuchungen dienten der Erfassung der grundsätzlichen Handhabbarkeit der Sanierungsverfahren unter Praxisbedingungen. Entsprechend wurde durch die Baustellenuntersuchungen die Plausibilität der Einsätze in den IKT-Versuchsständen überprüft. Zudem wurde überprüft, ob das jeweilige Verfahrenshandbuch seitens der Anbieter vorgelegt werden kann.

Insgesamt wurde der Einsatz von zehn der 12 getesteten Verfahren auf Baustellen der Kanalnetzbetreiber begleitet. Bei zwei Verfahren konnten keine Praxis Einsätze begleitet werden. Der Anbieter „Onyx Rohr- und Kanal-Service GmbH“ plant nach eigenen Aussagen im Nachgang zu den Einsätzen im IKT eine Neuanschaffung seiner Robotertechnik und führt in der Übergangsphase keine weiteren Sanierungen mit dem alten Gerät mehr aus. Die Fa. „IBG HydroTech GmbH“ konnte im Betrachtungszeitraum keinen Termin für eine Baustellenuntersuchung benennen.

Im Wesentlichen war der Gesamteindruck bei den beobachteten Sanierungsarbeiten positiv. Die Anbieter führten in der Praxis die Sanierungen prinzipiell auch so wie in den IKT-Versuchsständen gemäß Verfahrenshandbuch durch. Entsprechend konnte dann auch die grundsätzliche Praxistauglichkeit der eingesetzten Verfahren bestätigt werden.

Zudem konnten sämtliche Anbieter das Verfahrenshandbuch hinsichtlich der Sanierung mittels Roboterverfahren vorlegen.

Darüber hinaus wurden im Rahmen der Baustellenuntersuchung der eingesetzte Roboter und das Material dokumentiert. Die nachfolgende Tabelle 44 gibt einen Überblick über das eingesetzte Robotersystem und die auf dem Fahrzeug befindlichen Materialien für die Durchführung der Stützsanierung.

Tabelle 44: Überblick über das eingesetzte Robotersystem und die auf dem Fahrzeug befindlichen Materialien

Anbieter	Robotertechnik	Verpressharze
Geiger Kanaltechnik GmbH, Oberstdorf, NL Bochum	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: KA-TE ▪ Verpresseinheit: KA-TE 	<ul style="list-style-type: none"> • Epoxonic Ex 1824 rapid
KATEC - Kanaltechnik Müller & Wahl GmbH, Jünkerath	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: KA-TE ▪ Verpresseinheit: KA-TE 	<ul style="list-style-type: none"> • Epoxonic Ex 1824 rapid • MC Konudur Robopox 10
Kuchem GmbH, Neunkirchen-Seelscheid	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: KA-TE ▪ Verpresseinheit: KA-TE 	<ul style="list-style-type: none"> • Epoxonic Ex 1824 rapid
PLITT- ROHRSANIERUNGSGESELL- SCHAFT mbH, Langenhagen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: KA-TE ▪ Verpresseinheit: KA-TE 	<ul style="list-style-type: none"> • Sika RoboTech-61
Swietelsky-Faber GmbH Kanalsanierung, Schlierschied	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fräse: KA-TE ▪ Verpresseinheit: KA-TE 	<ul style="list-style-type: none"> • Epoxonic Ex 1824 rapid

Alle Anbieter haben im Zuge der Sanierungsarbeiten einen KA-TE-Roboter mit einem Epoxidharz eingesetzt. Im Vergleich zu den Sanierungen in den IKT-Versuchsständen setzte der Anbieter „Swietelsky-Faber“ das Material Epoxonic Ex 1824 rapid anstatt Resinnovation Harz 10 bzw. MC BAUCHEMIE Konudur Robopox CI ein. Des Weiteren hatten sämtliche Materialien für die Stutzensanierung eine DIBt-Zulassung.

3.6 Bewertung der durchgeführten Untersuchungen

Im Rahmen des durchgeführten Projektes konnten zahlreiche Stutzensanierungen sowohl im Labor, als auch vor Ort begleitet werden. Es zeigte sich, dass die Sanierung von schadhafte Hausanschlüssen mit Verpressverfahren auch bei komplexen Werkstoffkombinationen einen Beitrag zur infiltrationsdichten Fremdwassersanierung leisten kann. Bei der Anfrage an Anbieter von Gerätetechnik zur Sanierung der durch den Lenkungskreis aus Netzbetreibern erarbeiteten Schadensbilder war allerdings eine extreme Zurückhaltung festzustellen. Mit Einbeziehung von am Markt agierenden Dienstleistern konnten aber alle sechs Sanierungslose vergeben werden. Einzelne Dienstleister lieferten auch sehr gute Sanierungsergebnisse mit vollständiger und dauerhafter Abdichtung gegenüber hohem Außenwasserdruck ab.

Es zeigte sich aber auch, dass die Roboterverfahren technisch sehr aufwändig und in der Anwendung empfindlich sind. Die Dienstleister im Test zeigten hohe Professionalität. Zum Einsatz kam überwiegend das KA-TE-Verfahren. Der Zustand direkt nach der Sanierung war von entscheidender Bedeutung. Insbesondere optisch ansprechende Sanierungen zeigten auch bei den Außenwasserdruckbelastungen gute Ergebnisse. Die Dauer der Außenwasserdruckbelastung scheint aber von untergeordneter Bedeutung zu sein, so dass eine frühzeitige Abnahme durch optische Inspektion bei hohen Grundwasserständen durchaus sinnvoll sein kann.

Bei den beiden in den Versuchen eingesetzten Schlauchlinern (GFK und Nadelfilz) war der Verbund der eingesetzten Harze zum Liner offensichtlich unterschiedlich. Dies zeigten die Kanalreinigungsbelastungen mit deutlichen Ablöseerscheinungen des

Harzes vom Nadelfilz-Liner. Vermutlich liegt dies an der Innenfolie; eine Oberflächenvorbereitung durch z.B. Abfräsen ist hier dringend zu empfehlen.

Für die Bauabnahme eingesetzte Kamerasysteme sollten eine Querschnittsvermessung ermöglichen, um Querschnittsreduzierungen quantifizieren zu können. Dies umso mehr, da in der Praxis anders als im Laborversuch ein Freilegen der Sanierungsstellen und Nachmessen von Hand nicht möglich ist. Außerdem erscheint es sinnvoll die sanierten Stützen auch aus dem Seitenzulauf heraus zu begutachten. Dies böte den Vorteil Hindernisse oder Ablösungen von der späteren Anströmrichtung heraus beurteilen zu können.

Etwa 20% der untersuchten Stützsanierungen zeigten Auffälligkeiten in Form von Verfärbungen oder Feuchtigkeit. Eine HD-Reinigung kann jedoch diese „Spuren“ beseitigen und die Auffälligkeiten sind dann nicht mehr erkennbar. Auch wurde im Rahmen der Untersuchungen kein Abwasser durch den Versuchsaufbau geleitet. In situ können erhebliche Verfärbungen an Liner und saniertem Stützen durch den Betrieb auftreten, welche eine Identifikation solcher Auffälligkeiten erschweren bzw. unmöglich machen können. Signifikante Undichtigkeiten können aber auch dann im Rahmen der optischen Inneninspektion erkannt werden.

4 Schachtanbindungen linersanierter Hauptkanäle

4.1 Stand der Technik: Anbindung von Linern an Schächte

Mit Blick auf eine infiltrationsdichte Sanierung von Abwassernetzen hat sich im Laufe der Zeit ein Bereich als vergleichsweise kompliziert herausgestellt – der Anschluss von (un)sanierten Rohren an Schachtbauwerke. Hier lassen sich u. U. auf engstem Raum eine Vielzahl von Werkstoffwechselln bzw. Anschlusskombinationen vorfinden. Zusätzlich zu den eingebauten Werkstoffen von Schacht (z. B. Beton oder Mauerwerk) und Haltung (Beton, Guss, PVC, Steinzeug, etc.) sind je nach vorgesehener oder vorhandener Renovierung – z. B. mittels Schlauch- oder Close-Fit-Lining – weitere „Multiplikatoren“ vorhanden, die einen Einfluss auf die infiltrationsdichte Anbindung derselben besitzen.

Neben den vorhandenen Werkstoffen muss auch die Lage des Liners im Schacht berücksichtigt werden. Wurde der Liner bspw. durch den Schacht hindurchgezogen und lediglich im Gerinnebereich aufgeschnitten oder ragt er nur am Rohranschluss mit ggf. kurzem Überstand zur Schachtwandung hinein? Unabhängig von den vorab genannten möglichen Randbedingungen stellt sich bei der Fremdwassersanierung in nahezu jedem Fall die Frage nach der infiltrationsdichten Anbindung der Liner an die Schächte.

Aufgrund der guten Zugänglichkeit werden schadhafte Schachtanschlüsse oftmals mittels händischen Reparaturverfahren saniert [2]. Zur Sanierung werden oftmals Kurzliner, Handlamine oder Injektionsverfahren eingesetzt. Des Weiteren gibt es Liner-End-Manschetten für die Anbindung von Schlauchlinern an Schachtbauwerke. Diese sind je nach Produkt und Hersteller unterschiedlich und werden auch in Kapitel 4.2 detailliert beschrieben.

Anschlussanierung mit Injektionsverfahren

Zur Abdichtung von schadhafte Schachtanschlüssen werden u. a. Injektionsverfahren eingesetzt. Als Injektionsmaterialien dienen elastische Polyurethane sowie Harze auf Epoxid- oder Acrylatbasis. Zur Auswahl des geeigneten Injektionsmaterials sollte beachtet werden, dass die Schachtfutter normalerweise aus Kunststoffen (z. B. GfK) bestehen [2].

Zur Reparatur wird das Injektionsmaterial in den Ringraum zwischen Alrohr und Schachtfutter injiziert. Dort soll das Injektionsmaterial nach der Aushärtung die Funktion der ursprünglichen Dichtung übernehmen. Da potentiell zu späteren Zeitpunkten Setzungen auftreten können, sollten elastische Injektionsmaterialien ausgewählt werden. Um eine Anschlussanierung mit Injektionsverfahren erfolgreich ausführen zu können, ist es zwingend erforderlich, dass eine Mindestnennweite des Ringspalts vorhanden ist. Andernfalls kann nicht genug Injektionsmaterial eingebracht werden [2].

Zu Beginn des Reparaturvorganges wird eine offenporige Hinterfüllschnur in den Fugenspalt eingelegt und der Fugenspalt mit EP-Harzmörtel oder Betonkleber bündig zur Rohrwand verschlossen. Dies dient zur Verdämmung und verhindert, dass wäh-

rend der Injektion Teile des Injektionsmaterials über undichte Bereiche im Schachtfutter in den Schacht eintreten [2].

Im Anschluss werden in Sohle, Kämpfer und Scheitel Bohrungen angebracht. Dort werden Bohrpacker für die Harzinjektion eingesetzt. Über den untersten Packer erfolgt die Injektion des Polyurethanharzes. Die übrigen Packer werden i. d. R. zur Kontrolle der Umläufigkeit des Harzes genutzt und bei Materialaustritt verschlossen. Danach muss das eingebrachte Harz aushärten. Nach der Aushärtung werden die Packer entfernt und die Bohrlöcher mit EP-Harzmörtel verschlossen [2].

Anschlussanierung mit Kurzlinern

Kurzliner werden zur Reparatur von Rohrabschnitten begrenzter Länge eingesetzt. Sie bestehen aus einem Trägermaterial mit Reaktionsharz, welches ein- oder mehrlagig aufgebaut werden kann. Als Trägermaterial dienen Glasfasergewebe oder Polyester-nadelfilze. Als Reaktionsharz kommen Epoxid-, Polyurethan- und Silikatharze zum Einsatz. Stark schrumpfende Harze sind hingegen nicht geeignet [19].

Der Kurzliner wird mit einem pneumatischen Packer definierter Größe in den Kanalan-schluss gefahren. Der Packer wird im Vorfeld mit einer Folienlage oder geeigneten Trennmitteln vor dem Verkleben mit dem Kurzliner geschützt. Das Reaktionsharz wird währenddessen angemischt. Das Glasfasergewebe oder Polyester-nadelfilz wird gleichmäßig und vollständig im Reaktionsharz getränkt. Die einzelnen Lagen werden nach und nach um den Packer gewickelt. Der Packer wird zur Schadensstelle gefahren und dort unter Kamerabeobachtung positioniert. Mit einem verfahrensabhängigen Anpressdruck wird der Kurzliner formschlüssig an die Rohrwand gepresst. Bei Schachtanschlüssen muss ein Teil des Kurzliners in den Schacht einragen. Dieser Teil wird händisch über den Ringraum zwischen Rohr und Liner an die Schachtwand geklebt. Innerhalb des Rohres wird der Druck solange aufrechterhalten, bis das Reaktionsharz ausgehärtet ist. Der ausgehärtete Kurzliner ist kraftschlüssig mit der Kanal- und Schachtwand verklebt und bildet eine ausreichende Eigenstabilität [19].

Das durch Anpressen des Kurzliners in Risse, Scherben und Muffen eindringende Reaktionsharz bildet zusätzlich eine mechanische Verkrallung des Kurzliners mit dem Altrohr [19].

Anschlussanierung mit Handlaminaten

Handlaminat aus GFK werden insbesondere zur Schachtanschlussanierung benutzt, wenn der Schacht bereits mit einem Innenschacht-System aus GFK saniert wurde. Dabei werden die Anschlussbereiche zwischen Rohr oder Liner und den GFK-Platten mit dem Handlaminat angebunden. Es wird ein Haftverbund erzeugt, der den Schachtanschluss wasserdicht verbindet [23], [28].



Bild 63 Anschlussanierung mit Handlaminaten der Fa. Aarsleff Rohrsanierung GmbH [28]

Systeme für die Anbindung von Schlauchlinern an Schachtbauwerke

Systeme zur Anbindung von Schlauchlinern an Schachtbauwerke unterscheiden sich je nach Hersteller und Produkt und werden nachfolgend beschrieben.

DEIV-Muffe

Die DEIV-Muffe der Firma NEIS Kunststoff-Beschichtungs-Technik GmbH ist eine dauerelastische Inliner-Verbindung [29]. Ein hochelastisches Laminat (orange) wird als Verbindung des Inliners zum Schacht eingebracht. Im Kompressions- und Spannungsbereich wird ein Flexgummi (grün) eingesetzt. Zusätzlich können Fehlstellen oder Übergänge zum Schacht beigespachtelt werden. Das System kann statische Spannungen und Ausdehnungen bis 10 mm übertragen und bei bis zu 20 % Untergrundfeuchte sowie in Temperaturbereichen von +3° bis +35° Celsius eingebaut werden. Das Laminat besitzt eine sehr hohe Chemikalienbeständigkeit, eine hohe Abriebfestigkeit und ist nach ca. 30 bis 60 Minuten wasserbelastbar [29].

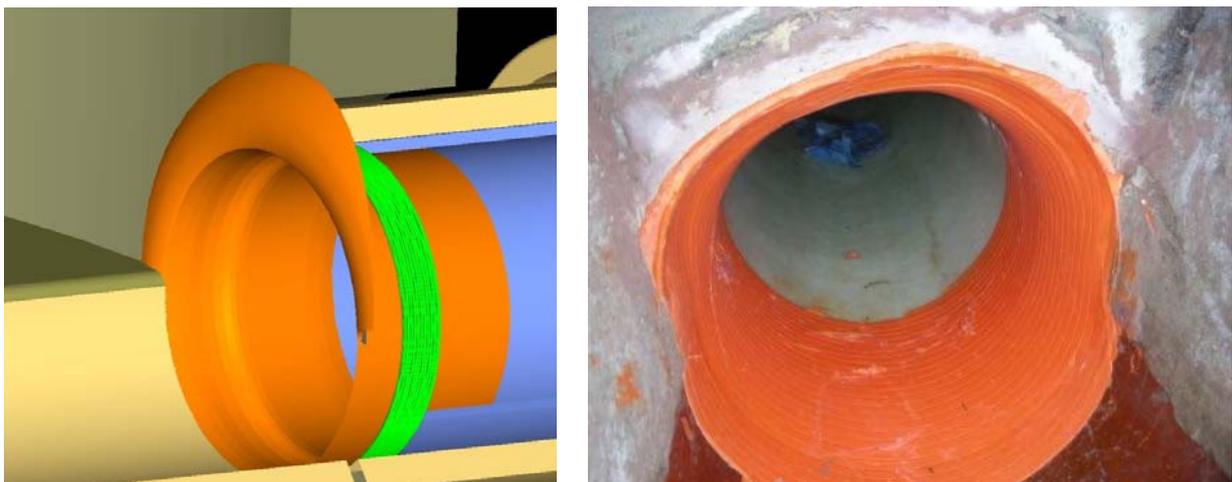


Bild 64 Systemskizze (links) und eingebaute DEIV-Muffe der Fa. NEIS Kunststoffbeschichtungstechnik GmbH (rechts) [29]

Liner-Endmanschette

Liner-Endmanschetten bestehen aus einer EPDM-Gummidichtung mit integrierten Edelstahlspannbändern und werden als abschließende Enddichtung im Bereich zwi-

schen Linerende und Rohrwand eingebaut. Mit den Edelstahlbändern wird die Liner-Endmanschette mechanisch fixiert, wodurch Undichtigkeiten zwischen Altrohr und Linerende verhindert werden. Zusätzlich werden somit mögliche Schäden durch Hochdruckspülungen an der Linerkante vermieden [30], [31].

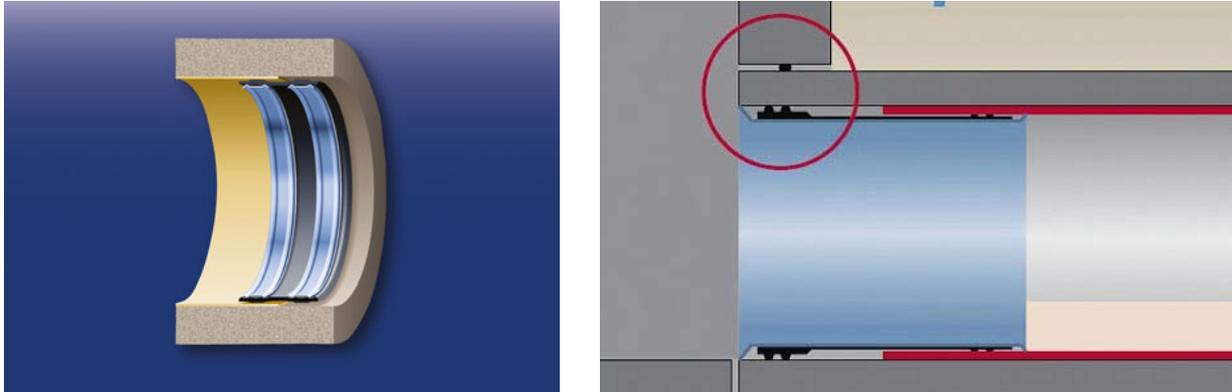


Bild 65 Systemskizze der Linerendmanschette der Fa. Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH (links) [30] und der QUICKLOCK Liner-Endmanschette der Fa. Uhrig Kanaltechnik GmbH (rechts) [31]

Hersteller von Linerendmanschetten sind die Fa. Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH mit dem Produkt epros Drain Liner End Seal [30] und die Fa. Uhrig Kanaltechnik GmbH mit dem Produkt QUICKLOCK Liner-Endmanschette [31].

PE-HD-Stutzen „STÜPE“

Der PE-HD-Stutzen STÜPE der Fa. Schacht + Trumme ist ein wasserdichter Stutzen zum Anschluss von PE-HD-Linern an Schachtbauwerke. Durch zwei SBR-Keildichtungen und einer Dichtlippe aus wasserquellfähigem Material ist der Stutzen nach Herstellerangaben wasserdicht. Darüber hinaus wird durch die angeschrägte Innenwandung des Stutzens der Rohrdurchmesser sehr wenig reduziert [32].

4.2 Untersuchungsprogramm

4.2.1 Vorgehensweise

In den nachfolgenden Abschnitten sind unterschiedliche Möglichkeiten von Liner-Schachtanbindungen beispielhaft anhand von Baustellenuntersuchungen beschrieben. Wesentliche Ergebnisse münden schließlich in dem in Abschnitt 4.3 dargestellten Abnahmekatalog. Die Abdichtung von undichten Rohranschlüssen ohne Linersysteme (d. h. unsaniert) ist nicht Gegenstand von Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes. Erkenntnisse dazu finden sich in [54]. In den folgenden Abschnitten werden zunächst Anbindungsmöglichkeiten von Linern an Schächte aus demselben Material (materialkonform) dargestellt. Diese Vorgehensweise ist insbesondere dann vorzufinden, wenn Schächte und Haltungen gemeinsam einer Renovierung unterzogen werden. Im Anschluss daran finden sich Liner-Schacht-Anbindungen mit unterschiedlichsten Materialien und Werkstoffkombinationen.

4.2.2 Materialkonforme Anbindungen

Im Rahmen einer „ganzheitlichen“ Sanierung haben Netzbetreiber die Renovierung ihrer Rohrleitungen und Schächte unter Verwendung einer Materialgruppe ausführen lassen. Sowohl das „neue“ Rohr als auch der ausgekleidete Schacht wurden in diesen Fällen mit glasfaserverstärkten Kunststoffen saniert. Der wesentliche Unterschied beider Ausführungsbeispiele liegt hier in der Schachtauskleidung: In dem ersten Fall wurde der GFK-Liner an eine rückverankerte GFK-Auskleidung anlamiert, im zweiten Fall an eine adhäsiv befestigte.

1. GFK-Liner angebunden an rückverankerte GFK-Schachtauskleidung

Der zuständige Netzbetreiber ließ im Rahmen der Fremdwassersanierung einen Hauptsammler mit einem Schlauchliner aus GFK renovieren. Das Gebiet liegt in Küstennähe, der Grundwasserspiegel ist schwankend und liegt zeitweise oberhalb der Haltung. Aus diesem Grund sah die Planung vor, die schadhaften Haltungen und Schächte materialkonform zu sanieren, d. h. „aus einem Guss“. Nachdem die Schlauchliner in die Haltungen eingebaut und mit geringem Überstand an der Schachtwandung abgeschnitten worden waren, baute die Schachtsanierer-Kolonne die GFK-Auskleidungen in die Schächte ein (vgl. Bild 66f).



Bild 66 Mit angeschraubten GFK-Platten versehener Schacht (links) und Bestreichen der Platten und des Gewebes mit Harz (mittig); Teilansicht der GFK-Auskleidung mit bereits überlamierten Schraubenköpfen und Stoßfugen (rechts)

Hierzu wurden vorgefertigte GFK-Platten an die Schachtwandung angeschraubt. Sind die Platten an der Schachtwandung fixiert, werden sie durch Aufbringen von Harz und Glasfasermatten überlamiert. Auf diese Weise werden die Stoßfugen der Platten sowie die Löcher der Schraubverbindungen vollständig verschlossen. Diese Vorgehensweise betrifft ebenfalls die Bermen und Rohranschlussbereiche der Schächte.



Bild 67 Laminieren der Berme (links) und Kontrolle der Auskleidung (rechts)

Nachdem die Schachtauskleidungen vollständig eingebaut worden waren, führten Mitarbeiter des IKT optische Inspektionen durch und untersuchten die Auskleidungen – insbesondere die Anschlussbereiche – auf Fehlstellen oder Auffälligkeiten. Im Ergebnis waren bei den im Rahmen der Bauabnahme durchgeführten Inspektionen keine Mängel festzustellen.

Vor diesem Hintergrund wurden nach Ablauf von etwa zwei Jahren im Verlauf dieses Projektes die Anbindebereiche dieser Schächte erneut optisch inspiziert, um ggf. Zustandsveränderungen erfassen zu können.

In der Summe sind drei Schächte, deren Zustand von der Bauabnahme her bekannt war, erneut untersucht worden. Hierbei kontrollierte der Mitarbeiter die Anbindebereiche optisch (vgl. Bild 68) und akustisch durch Abklopfen mit einem Hammer. Darüber hinaus stellte er auch durch erneutes Messen der Barcol-Härte (vgl. Bild 68, rechts) fest, dass sich am Zustand der Auskleidung keine Veränderungen während der vergangenen zwei Jahre eingestellt hat. Die Messwerte befanden sich in einem ähnlichen Größenbereich.



Bild 68 Beispiele für den Zustand der Auskleidungen nach zwei Jahren Betriebsbelastung: Ansicht des Anbindungsbereichs am Zulauf (links) und als Detailaufnahme (mittig); Beispiel für das Messen der Barcol-Härte (rechts) zum Vergleich

Des Weiteren sind an den drei untersuchten Schächten mit insgesamt sechs Anbindebereichen keine Undichtigkeiten vorzufinden.

2. GFK-Liner angebunden an adhäsiv befestigte GFK-Schachtauskleidung

Der zuständige Netzbetreiber ließ im Rahmen der Fremdwassersanierung einen Hauptsammler mit einem Schlauchliner aus GFK renovieren. Die Schachtunterteile wurden vor dem Aufbringen des Laminats mit einem Mörtel (Produktname nicht bekannt) reprofiliert. Die Schächte liegen überwiegend im Grundwasser, eine durchgeführte Haftzugprüfung (vgl. Bild 69, rechts) zeigte an der Prüfstelle eindringendes Wasser. Vor dieser Prüfung waren Schachtwandung und Rohranschlussbereiche dicht.



Bild 69 Inspektion der Auskleidung und Lineranbindung bei Bauabnahme (links), eindringendes Grundwasser (roter Pfeil, rechts) nach Haftzugprüfung

Diese durch die Prüfung hervor gerufene Undichtigkeit konnte beseitigt werden. Das Loch wurde verschlossen und die Fläche überlaminiert.



Bild 70 Beispiele für den Zustand der Auskleidungen nach ca. drei Jahren Betriebsbelastung: Ansicht des Anbindungsbereichs am Zulauf (links) und als Detailaufnahme (mittig und rechts)

Auch in diesem Fall zeigt die erneute Kontrolle der sechs Rohranschlüsse nach etwa drei Jahren, dass eine infiltrationsdichte Anbindung von Auskleidung und Schlauchliner möglich ist.

4.2.3 Werkstoffwechsel bei der Anbindung

4.2.3.1 Allgemeines

Mit Blick auf die Sanierungsstrategie vieler Netzbetreiber, zunächst in renovierungsbedürftige Haltungen Liner einzubauen und später dann ggf. die Schächte instand zu setzen, werden i.d.R. andere Verfahren bzw. Materialien und somit ein Werkstoffwechsel für die nachfolgende Linieranbindung erforderlich. In diesen Fällen ist das Linierende meist entweder bündig zur (sanierten) Schachtwandung oder aber wenige Zentimeter hervorstehend (vgl. Bild 71, links und mittig). Bild 71, rechts, zeigt einen bereits zurück geschnittenen Liner, der für den Einbau einer Manschette vorbereitet bzw. gekürzt worden ist.



Bild 71 Beispiele für die Lage des Liners im Rohranbindebereich für weitergehende Anbindungsmaßnahmen, aus dem Rohr heraus stehend (links und mittig) und bereits zurückgeschnitten innerhalb des Rohres (rechts)

Wenige Zentimeter im Rohr findet sich im besten Fall noch ein Quellband zwischen Liner und Altrohr, das einen potenziellen Wassereindrang durch den Ringspalt in den Schacht unterbinden möge (vgl. Bild 72). Zumindest in dem in Bild 72 dargestellten Fall konnte das Eindringen von Wasser durch den mittels Quellband versehenen Ringraum nicht verhindert werden.



Bild 72 Blaues Quellband um Preliner bei Einbau (links) und seine ungefähre Lage im Ringspalt zwischen Liner und Altrohr (mittig, rote Pfeile); geringfügiger Wassereindrang trotz eingelegetem Quellband (rechts, roter Pfeil)

Die in Bild 71 dargestellten Beispiele zeigen somit mögliche Ausgangssituationen für weitergehende Maßnahmen zur Anbindung der Liner. Hier stehen im Wesentlichen

eine Verspachtelung, die Liner-End-Manschette und Stutzen zur Verfügung. Nachfolgend wird der Einsatz dieser Produktgruppen vorgestellt.

4.2.3.2 Verspachtelung

Verspachtelung von Liner und Schacht mit Mörtel

Eine Möglichkeit, den herausragenden Schlauchliner an die Schachtwandung „anzubinden“, besteht darin, ihn mit einem Zementmörtel unmittelbar zu verspachteln (vgl. Bild 73, links) oder aber ihn im Rahmen einer Schachtbeschichtung mit Mörtel zu umgeben (vgl. Bild 73, rechts). Hier ist deutlich zu erkennen, dass ein Spalt zwischen Mörtel und Liner vorhanden ist, in den ein Zollstock ca. ein bis zwei Zentimeter einbracht werden kann. Inwieweit eine dauerhafte und infiltrationsdichte Anbindung erzielt werden konnte, kann abschließend nicht bewertet werden. Zum Zeitpunkt der Inspektionen war kein eindringendes Grundwasser erkennbar. Zumindest kann durch die Verspachtelung mit Mörtel die Schnittkante des Liners gegenüber mechanischen Beanspruchungen (z. B. Schlag durch Herablassen einer Kanalreinigungsdüse) geschützt werden.



Bild 73 Bündige Anbindung des Schlauchliners mit einem Zementmörtel (links) und unvollständig eingebundener Liner mittels Mörtelbeschichtung (rechts)

Eine weitere Möglichkeit der Abdichtung des wasserführenden Ringraums von Linern – hier am Beispiel eines PE-Liners – kann durch Einbringen einer Mörtelpackung in den etwa zwei Zentimeter tief aufgestemmtten Ringraum erfolgen. Die Ausgangssituation kann Bild 74, links, entnommen werden. Weitere Arbeitsschritte finden sich in den nachfolgenden Bildern.



Bild 74 Hervorstehender PE-Liner mit Wassereindrang aus Ringraum (links, siehe Zollstock), Aufstemmen des Ringraums für die Aufnahme einer Stopfmörtel-Packung (rechts)



Bild 75 Anbindung des PE-Liners mit einem schnell abbindendem Stopfmörtel (links) und abgedichteter Ringraum des PE-Liners (rechts)

Die vier Tage später durchgeführte Nachkontrolle des abgedichteten PE-Liners zeigte keinen Wassereindrang im unmittelbaren Einbindebereich. Jedoch infiltrierte Grundwasser in den Schacht durch die Fuge zwischen Beton und Mauerwerk sowie flächig durch die Fugen des Mauerwerks (vgl. Bild 76).



Bild 76 Nachkontrolle des mit Stopfmörtel erfolgreich abgedichteten Ringraums eines PE-Liners in der Gesamtansicht (links) und im Detail am Liner-Scheitel (rechts)

Verspachtelung von Liner und Schacht mit Harzen

Anbindung von Schlauchlinern mit Epoxidharz

Zur Verspachtelung von Schacht-Liner-Anbindungen gibt es für diesen Anwendungsfall eine Vielzahl von Epoxidharzen. Im Rahmen dieser Untersuchungen setzten Netzbetreiber das „Harz 8“ des Herstellers resinovation GmbH, Rülzheim, ein. Für dieses Harz liegt eine DIBt-Zulassung vor. Die Verwendung des Harzes zur Anbindung der Liner an die Schächte und die Ergebnisse der Nachkontrollen sind nachfolgend dargestellt.

Fall 1 – Anbindung eines GFK-Schlauchliners an einen Startschacht:

Die Ausgangssituation stellt sich wie folgt dar: Wie in Bild 77 (links) zu sehen ist, ragt der Schlauchliner am Ablauf in einen gemauerten Schacht mit einem Steinzeuggerinne. Um den vollständigen Liner-Rohrumfang anbinden zu können, wurde eine Durchlaufblase in den Zulauf gesetzt. Auf diese Weise war sicher gestellt, dass die Arbeiten am Anbindebereich im Trockenen und ohne eindringendes Grundwasser ausgeführt werden konnten. Im Wesentlichen wurden die vorgesehenen Auftragsbereiche mit Tüchern getrocknet, der Liner angeraut und die Schleifrückstände anschließend wiederum mit Tüchern weggewischt. Das mittels druckluftbetriebenen Statikmischer (siehe hierzu auch Abschnitt 3.3.1.4) hergestellte Harz wurde von dem Mitarbeiter der Sanierungsfirma von Hand bzw. mit einer Kelle auf den Anschlussbereich gedrückt und geglättet. Das Ergebnis kann Bild 77 (mittig) entnommen werden. Nach einer Aushärtezeit von etwa einer Stunde wurde der Schacht wieder in Betrieb genommen und die Absperrblase aus dem Zulauf entfernt (vgl. Bild 77, rechts).



Bild 77 *Gesäuberter Anschlussbereich mit entgratetem Liner vor der Verspachtelung mit Harz 8 (links), vollständig verspachtelter Anschlussbereich während der Aushärtezeit (mittig) und nach ca. einer Stunde Aushärtezeit mit Wasserbelastung (rechts)*

Etwa 18 Monate nach der Anbindung des Schlauchliners mit Harz 8 erfolgte die Nachuntersuchung: Oberhalb der Wasserlinie war erkennbar, dass das Material in gleicher Weise am Liner und Schacht haftete wie am Tag der Anbindungsausführung (vgl. Bild 77f). Unterhalb der Wasserlinie war der Zustand nicht eindeutig feststellbar, auch wenn in kurzen Momenten mit Klarwasserabfluss keine Auffälligkeiten an der Anbindung erkannt werden konnten. Lediglich am Übergangsbereich von Berme, Gerinne und linker Kämpferseite des Lineranschlusses löste sich das Harz ab (vgl. Bild 78, rechts).



Bild 78 *Blick in den Schacht (links) mit Lineranschlus am Ablauf links, Detailansicht des Ablaufs (mittig) und Materialablösung am Klinkerstein der Berme (rechts)*

Ein Zollstock konnte hier ca. vier Zentimeter tief eingebracht werden. Eine Undichtigkeit bzw. infiltrierendes Wasser konnte hier jedoch nicht festgestellt werden.

Fall 2 – Anbindung eines durchlaufenden GFK-Schlauchliners an ein Schachtgerinne:

Ein weiterer Anwendungsfall von Harz 8 besteht in der Anbindung eines durchlaufenden Schlauchliners an Gerinne und/oder Berme sowie der Scheitelhalbschalen an Zu- und Ablauf des Schachtes (vgl. Bild 79). Als Ausgangssituation stellt sich der geöffnete Liner wie folgt dar: Mit den Bermen bildet der aufgeschnittene und etwa zwei bis drei Zentimeter überstehende Liner eine v-förmige Öffnung, in die das Harz eingebracht werden kann. Im Bereich von Zu-/Ablauf steht der Liner (Scheitelhalbschale)

ebenfalls etwa zwei bis drei Zentimeter hervor und bietet somit ebenfalls die Möglichkeit für das Harz, flächig anhaften zu können.



Bild 79 Durchlaufender und geöffneter Liner im Schachtgerinne (links) und Detailaufnahme des Rohranschlussbereichs (mittig); Anbindung der Kontaktflächen des Liners mit den Schacht- und Gerinnewandungen (rechts)

Auch in diesem Fall sorgte die Sanierungsfirma für einen aufgerauten, sauberen und trockenen Untergrund, darüber hinaus war kein Wassereindrang vorhanden. Nach Aussage des Netzbetreibers ist das auf die vergleichsweise regenarme Zeit vor der Sanierung mit geringem Fremdwasseranfall zurückzuführen. Das Harz wurde wiederum händisch mit einer Kelle in die o. g. Bereiche eingedrückt und anschließend geglättet. Der Wasserfluss im Kanal ist während der Arbeiten nicht unterbunden worden.

Nach ca. 18 Monaten wurde diese Liner-Schacht-Anbindung erneut untersucht. Diese Nachuntersuchung – bestehend aus optischer und akustischer Inspektion (vgl. Bild 80) – zeigte keine Auffälligkeiten.



Bild 80 Abklopfen des Harzes mit einem Schraubendreher (links) und Dokumentieren des Sanierungszustandes (rechts)

Der Liner war immer noch vollständig mit Harz umgeben und ohne Wassereindrang an die Bermen- und Schachtwandung angebunden.



Bild 81 Nachuntersuchung des mit Harz 8 angebondenen Liners im Schachtgerinne (links) und Detailaufnahmen der Rohranschlussbereiche (mittig und rechts)

Ein Abklopfen des Harzes mit einem metallischen Gegenstand (Schraubendreher) zeigte keine Ablösung oder Hohllagen des Harzes (vgl. Bild 81).

Fall 3 – Anbindung eines PE-Liners an einen Schacht:

Ein PE-Liner wurde in die Haltung eingebaut und ragte etwa 15 Zentimeter in den Schacht hinein. Der Anschlussbereich des Liners mit dem Schacht wurde mit einem Zementmörtel (Produkt ist nicht weiter bekannt), wie in Bild 82 dargestellt, ausgeführt und stellt somit die Ausgangssituation für die nachfolgende Anbindung mit dem Harz 8 dar. Ein geringer Spalt zwischen Mörtel und der Liner-Außenseite ist vorhanden.



Bild 82 Ausgangs- und Anschlusssituation des mit Mörtel umgebenen PE-Liners (links); weggestemmter Mörtel und hergestellte Ringnut zwischen Mörtel und PE-Liner (rechts)

Nach Aussage des vor Ort anwesenden Materialherstellers kann mit dem Harz, sofern es als Packung in die Nut zwischen Liner und „Altwandung“ eingedrückt wird (vgl. dazu Bild 82), auch der Ringraum eines Liners aus PE dauerhaft abgedichtet werden. Zwingende Voraussetzung hier ist jedoch, dass kein drückendes Wasser zum Zeitpunkt der Aufbringung des Harzes vorhanden ist. Das war hier zum Zeitpunkt der Arbeitsausführung nicht der Fall. Jedoch zeigt ein Vergleich mit Bild 74, links, das Wasser zumindest am Tiefpunkt dieser Haltung ansteht. Der hier mittels Harz 8 angebundene PE-Liner liegt am Hochpunkt der Haltung.

Nach etwa einer halben Stunde Härtezeit des Harzes konnte der Schacht wieder in Betrieb genommen und die Rohreinbindung mit Abwasser belastet werden. Das Harz war zu diesem Zeitpunkt nicht ausreagiert und somit von plastischer Konsistenz – es konnte mit einem Finger eingedrückt werden.



Bild 83 Anbinden des PE-Liners an den Schacht mit Harz 8 durch den Materialhersteller (links); optisches Erscheinungsbild der Anbindung unmittelbar nach Fertigstellung (rechts)

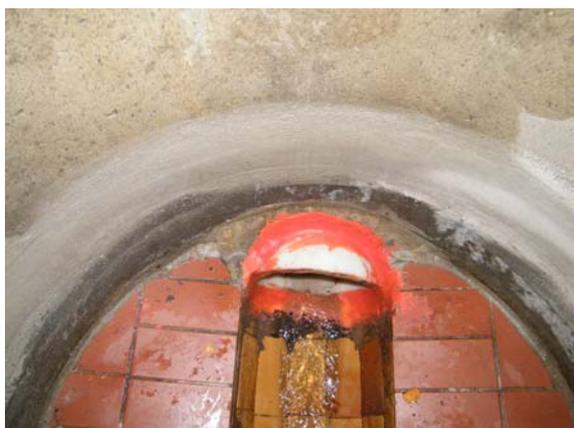


Bild 84 Kontrolle der Anbindung des PE-Liners nach vier Tagen, Ansicht im Schacht (links) und im Detail (rechts)

Bei einer Kontrolle nach vier Tagen war die Anbindung des PE-Liners an die Schachtwandung mit dem Harz 8 ohne Auffälligkeiten. Dies zeigt auch der Vergleich von Bild 83 und Bild 84 (jeweils rechts). Die Aushärtung des Harzes war offensichtlich weiter voran geschritten, es konnte mit einem Finger nicht mehr verformt bzw. eingedrückt werden.

Anbindung von Schlauchlinern mittels DEIV-Muffe

Eine weitere Möglichkeit einer elastischen Anbindung von (insbesondere) GFK-Linern an Schächte kann mit dem Einbau einer DEIV-Muffe (DEIV = dauerhafte, elastische Inliner-Verbindung) erfolgen. Die im Rahmen dieses Projektes dokumentierte Vorgehensweise bei dem Einbau ist vergleichbar der eines Kurzliners. Ein Spezialvlies wird mit dem Harz auf Basis von Methylmethacrylaten getränkt, gefaltet und um einen

Packer gewickelt. Im Anschluss wird der Packer in den trockenen, gereinigten sowie ggf. zuvor angerauten Rohr-Einbindungsbereich gesetzt und aufgestellt. Bild 85 zeigt die Ausgangssituation in dem für die Anbindungsarbeiten ausgewählten Schacht.



Bild 85 Schacht vor dem Einbau der DEIV-Muffen im Zu- und Ablauf des Hauptgerinnes (links), exemplarische Ansicht eines Anbindebereichs (rechts)

Nach Aussage des vor Ort anwesenden Materialherstellers kann die DEIV-Muffe auch als Handlaminat ohne Verwendung eines Packers eingebaut werden. Diese Vorgehensweise ermöglicht somit auch den Einbau bspw. in Eiprofilen. Zwingend erforderlich für den Einbau ist Trockenheit und ggf. das Unterbinden von Grundwasserzufluss an der Reparaturstelle. Beides war zum Zeitpunkt der Arbeitsausführung gegeben.



Bild 86 Angerautes Gerinne aus Steinzeug, sauber und trocken (links); eingeseetzte und mit Packern aufgestellte Muffen im Zu- und Ablauf (rechts)

Bevor die mit Harz getränkten Vliese in den Rohranbindungen mit den Packern aufgestellt werden, werden mineralische Untergründe (z. B. Mörtel, Steinzeug, etc.) mit einer Grundierung zur Verbesserung des Haftgrundes eingestrichen (dunkler Bereich oberhalb der orangefarbenen Muffe, siehe Bild 87, links). Bild 87, rechts, zeigt den Schacht in Betrieb etwa eine Stunde nach dem Setzen der Packer.



Bild 87 Ansicht der DEIV-Muffe unmittelbar vor (links) und nach der Inbetriebnahme des Schachtes (rechts)

Zuvor hatte der Monteur die lichte Weite der Stutzen kontrolliert und in das Rohr hängendes Material mit einem Messer entfernt. Anschließend rampte er den Übergang von Schachtgerinne (Sohle) und neuer Lineranbindung durch Verstreichen von Harz an (vgl. Bild 87, links).

4.2.3.3 Liner-End-Manschetten

Kontrolle einer Liner-End-Manschette, Typ „AMEX-10“, acht Jahre nach Einbau

Im Jahr 2006 ließ der zuständige Netzbetreiber einen Schlauchliner in einem Kanal der Nennweite DN 1100 mit einer AMEX-10-Liner-End-Manschette an den Schacht anbinden. Während des Einbaus der Manschette war nach Aussage des Netzbetreibers der Ringraum zwischen Liner und Altrohr nicht wasserführend. Wesentliche Arbeitsschritte, die den Einbau nachvollziehbar machen, können Bild 88 exemplarisch entnommen werden:

- Unterbinden des Abwasserflusses,
- Zurückschneiden des Liners in das Rohr hinein (vgl. Bild 88, links),
- Einsetzen der Manschette (vgl. Bild 88, mittig) und
- Inbetriebnahme des Schachtes (vgl. Bild 88, rechts).



Bild 88 Abwasserfreier Schacht und bereits zurück geschnittener Schlauchliner (links) mit eingesetzter Manschette (mittig) sowie Lineranbindung mittels Manschette in Betrieb (rechts)

Zu erkennen ist hier, dass der Manschettenrand weitgehend bündig am Rohr anliegt. Diese Einbausituation sowie das Strömungsbild des Abflusses können als Dokumentation der Ausgangssituation festgehalten werden.

Bei der Nachkontrolle lassen sich diese beiden Bilder, auch bei Teilfüllung des Kanals, sodann mit Bildern der aktuellen Situation vergleichen.



Bild 89 Ansicht der Manschette nach Einbau mit geringfügigen Deformationen (vgl. rote Pfeile, links) und Kontrolle des Zustands etwa 8 Jahre nach Einbau mit wieder erkennbarer, geringfügiger Deformation (roter Pfeil, rechts)

Im Ergebnis zeigt Bild 89, rechts, eine geringfügige Vorwölbung der Manschette. Diese war jedoch auch schon unmittelbar nach dem Einbau vorhanden (vgl. Bild 89, links). Nach Aussage des Netzbetreibers und des Monteurs können diese Beulen entstehen, wenn die Ringe nacheinander aufgespannt werden. Bei der Nachkontrolle zeigten sich keine Auffälligkeiten an diesen Vorwölbungen.

Einbaubegleitungen von Liner-End-Manschetten, System „Quick-Lock“

Zur Anbindung der vorhandenen Nadelfilzliner in Rohren der Nennweite DN 300 entschied sich der zuständige Netzbetreiber, Liner-End-Manschetten einbauen zu lassen. Die Ausgangssituation für den Einbau dieser Anbindungsvariante ist hier als günstig anzusehen, da Altrohre und Schlauchliner vergleichsweise glatte Oberflächen besitzen und somit gute geometrische Randbedingungen für den Einbau der Manschetten vorliegen (vgl. Bild 90, links). Eindringendes Grundwasser war während des Einbaus der Manschetten nicht vorhanden.



Bild 90 Für einen Manschetten-Einsatz vorbereiteter Bereich mit etwa 14 Zentimeter zurückgeschnittenem Nadelfilzliner (links); Vorbereitung der Spannhülse und Einreiben der Gummi-Manschetten mit Talkum (rechts)

Für den Einbau der vorbereiteten Manschetten (vgl. Bild 91, links) werden die Liner in Abhängigkeit ihrer Nennweite zurückgeschnitten (vgl. Bild 90, links) und der Einbaubereich gesäubert. Im Anschluss daran wird die Manschette im Rohranbindebereich positioniert und mit dem mittels Druckluft aufgepumpten Packer (vgl. Bild 91, rechts) aufgestellt und dauerhaft fixiert.



Bild 91 Für den Einbau vorbereitete Manschette (links) und Packer zum Aufstellen der Manschette im Kanal (rechts)

Die eingesetzten Liner-End-Manschetten (vgl. Bild 92) sind, sofern sie bei ihrem Einbau keinen Schaden nehmen, somit fest eingebaut. Dieser Einbauzustand kann daher aufgenommen werden und für zukünftige Kontrollen bzw. Vergleiche bzgl. etwaiger Lageveränderungen als Ausgangszustand dienen.



Bild 92 Eingebaute Liner-End-Manschette mit nur sichtbarer Edelstahlhülse (links) in der Detailansicht; sanierte Liner-Schacht-Anbindungen im Zu- und Ablauf (rechts) unmittelbar vor Inbetriebnahme

Nach dem Einsetzen der Manschetten kann der Übergangsbereich von der Schachtwand auf den aufgebördelten Edelstahlrand der Manschette aus optischen Gründen mit Mörtel verfüllt werden, um einen bündigen Anschluss zu erzielen.

4.2.3.4 Stutzen

PE-HD-Stutzen

Ein GFK-Liner mit durch den Ringraum eindringendem Wasser wird in einem ersten Arbeitsschritt mit einem Stutzen (Stüpe der Fa. Schacht + Trumme, Ahrensburg) aus PE-HD versehen (vgl. Bild 93). Im weiteren Verlauf wird der zugehörige Schacht mit einer Auskleidung aus PE-HD renoviert. Da der Wassereindrang durch den Ringraum zwischen Liner und Altrohr minimal war und die Arbeiten zur Renovierung des Schachtes nicht behindern, war eine Vorabdichtung, z. B. durch Injektionen oder Stopfmörtel, nicht erforderlich.



Bild 93 Undichtigkeit in Linersohle (vgl. roter Pfeil, links), Anpassen der Stüpe auf den vorhandenen Durchmesser (mittig), Stüpe nach Einschieben in den Liner und vor dem Verschweißen mit der Schacht- und Gerinneauskleidung aus PE-HD (rechts)

Zunächst musste der Stutzen an die geometrischen Randbedingungen vor Ort angepasst werden. Dazu wurde ein Streifen von ca. zwei Zentimetern in Längsrichtung aus dem Stutzen herausgeschnitten und die beiden Schnittoberflächen miteinander verschweißt. Sodann konnte er passgenau in den Liner eingesetzt werden (vgl. Bild

93, rechts). Im Anschluss daran wurden die Bauteile aus PE-HD für Gerinne und Auftritte in den Schacht eingebaut und verschweißt (vgl. Bild 94). In einem weiteren Arbeitsgang sind die Zwischenräume von Altschacht und PE-HD-Auskleidung mit einem speziellen Vergussmörtel verfüllt worden.



Bild 94 Im Rohranschluss eingesetzte Stüpe (links), mit angeschweißter Gerinnehalbschale (mittig) sowie Auftritten und Übergangsring (rechts)

Im Ergebnis bleibt festzuhalten, dass Stutzen und renovierter Schacht keine weiteren Infiltrationen über einen Zeitraum von sechs Monaten zeigten.

4.3 Abnahmekatalog – Sanierung von Schachtanschlüssen

Die in Abschnitt 4.2 dargestellten Möglichkeiten einer (infiltrationsdichten) Anbindung von Linern unterschiedlicher Materialien (Nadelfilz, GFK und PE-HD) an Schächte aus Beton und Mauerwerk zeigen, dass derzeit für nahezu alle Werkstoffkombinationen Verfahren und Materialien zur Verfügung stehen. Es obliegt an dieser Stelle den zuständigen Netzbetreibern, die Sanierungsstrategie festzulegen und somit auch das Verfahren bzw. Material für eine Lineranbindung auszuwählen.

Der nachfolgend aufgeführte Abnahmekatalog (vgl. Tabelle 45) soll helfen, Maßnahmen zur Lineranbindung und deren Abnahme sinnvoll zu begleiten und so zur Fehlervermeidung beizutragen. Diese beginnt bei der Verarbeitung der Materialien unter Berücksichtigung der vom Hersteller herausgegebenen technischen Merkblätter. Auch klimatische Randbedingungen, sofern sie Auswirkungen auf das zu verarbeitende Produkt besitzen, bedürfen der Beachtung. Werden Reaktionsharze verarbeitet, bietet es sich an, mit Blick auf die Haltbarkeit das Produktionsdatum zu überprüfen. Auch kann die Kontrolle der zulässigen Lagerungsbedingungen, z. B. Schutz vor Frost auf dem Baustellenfahrzeug (Klimakammer!), Hinweise zur potenziellen Sanierungsqualität geben. Bei dem Einbau von „Hardware“ – in diesem Fall die Liner-Endmanschetten – sind die Einbauanweisungen zu befolgen. Sofern Harze zur Anbindung von Liner und Schacht eingesetzt werden und eine Vorabdichtung aufgrund von drückendem Grundwasser erforderlich ist, sollten die Hersteller die Materialverträglichkeit von Harz, Stopfmörtel oder Injektionsgut sicherstellen. Materialunverträglichkeiten können den Abdichtungserfolg bzw. die langfristige Infiltrationsdichtheit der Schachtanschlüsse u. U. negativ beeinflussen. Beispielsweise wurde von einem Hersteller erläutert, dass sein kunststoffvergüteter Stopfmörtel Zusätze aus PE enthält. Diese würden sich ggf. negativ auf das Haftvermögen des Harzes an der Kontaktfläche zur Vorabdichtung des Stopfmörtels auswirken.

Tabelle 45: Abnahmekatalog I: Übersicht von vor Ort untersuchten Verfahren zur Liner-Schacht-Anbindung unter Berücksichtigung vorherrschender Randbedingungen; Eingangstabelle für Tabelle 46

Zeilen-Nr.	Randbedingungen		Art der Anbindung	
	Schachtwerkstoff	Rohrwerkstoff / saniert mit Liner aus	„Materialkonform“	„mit Werkstoffwechsel“
1	Beton, Mauerwerk	Nicht bekannt / GFK	Schacht-Auskleidung angebunden mit GFK-Laminat	-
2		Nicht bekannt / GFK	Schacht-Auskleidung angebunden mit GFK-Laminat	-
3	Mauerwerk	Beton / PE-HD	-	Stopfmörtel (für kurzfristige Abdichtung)
4	Mauerwerk	Steinzeug / GFK	-	Epoxidharz
5	Mauerwerk	Steinzeug, Mauerwerk / GFK-Gerinne	-	Epoxidharz
6	Beton	Steinzeug, Klinker / PE-HD	-	Epoxidharz
7	Beton, beschichtet mit kunststoffmodifiziertem Mörtel	Steinzeug, Klinker / NF	-	DEIV-Muffe
8	Mauerwerk	Beton / Linertyp nicht bekannt	-	AMEX-LEM
9	Mauerwerk	Betongerinne und -rohr / NF	-	Quick-Lock-LEM
10	Beton mit PE-HD-Auskleidung	Beton / GFK	-	Stüpe

Hinweise für die Abnahme in Tabelle 46 zu Zeilen-Nr. 1 bis 10 mit Art der Anbindung (**M** oder **W**) in obiger Tabelle.

Tabelle 46: Abnahmekatalog II: Hinweise für die Abnahme bei Einsatz von Verfahren zur Liner-Schacht-Anbindung aus Tabelle 45

Zeile und Art der Anbindung aus Tabelle 45	Hinweise für die Abnahme
1 - M	<ul style="list-style-type: none"> • Optische Inspektion des Laminats auf Fehlstellen (Bildnachweise von z. B. Spalten, Rissen) • Abklopfen der Auskleidung zur Feststellung, ob Grundwasser ansteht • Prüfung der Barcol-Härte für Vergleichszwecke • Bei Abwasserfluss: Kontrolle und Dokumentation des Strömungsbildes für Vergleichszwecke
2 - M	<ul style="list-style-type: none"> • Optische Inspektion des Laminats auf Fehlstellen (Bildnachweise von z. B. Spalten, Rissen) • Prüfung der Barcol-Härte für Vergleichszwecke • Bei Abwasserfluss: Kontrolle und Dokumentation des Strömungsbildes für Vergleichszwecke
3 - W	<ul style="list-style-type: none"> • Maßnahme i.d.R. im Vorfeld weiterer Renovierungsarbeiten, daher zeitnahe Feststellung der Dichtheit (Bildnachweis)
4 - W	<ul style="list-style-type: none"> • Optische Inspektion des aufgetragenen Materials mit Bildnachweis (nicht „Auslaufen“ auf glatter Fläche sondern „verankert“ in Kerbe) • Abklopfen zur Feststellung eines Haftverbundes/Hohllage • Kontrolle der Aushärtung des Harzes durch Eindrücken mit einem Finger (Handschuh)
5 - W + 6 - W	<ul style="list-style-type: none"> • Optische Inspektion des aufgetragenen Materials mit Bildnachweis (nicht „Auslaufen“ auf glatter Fläche sondern „verankert“ in Kerbe) • Abklopfen zur Feststellung eines Haftverbundes/Hohllage • Kontrolle der Aushärtung des Harzes durch Eindrücken mit einem Finger (Handschuh)
7 - W	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrolle, ob Material in das Rohr hineinhängt – ggf. entfernen • Kontrolle des Übergangs von Harz und Gerinne auf Spalte – ggf. Nachspachteln • Bildnachweis
8 - W + 9 - W	<ul style="list-style-type: none"> • Lage der Manschette einmessen und dokumentieren für Vergleiche • Kontrolle und Dokumentation des Abflussbildes für Vergleiche • Kontrolle der Ebenmäßigkeit der Anliegeflächen (keine Falten im Liner, Materialausbrüche im Altrohr) • Ausnahmefälle: Liner mit großer Wandstärke – hier kann der Nennweitenunterschied zwischen Altrohr und Liner nicht dicht überbrückt werden • Bildnachweise
10 - W	<ul style="list-style-type: none"> • Optische Inspektion der Auskleidung mit Bildnachweisen (Kontrolle der Schweißnähte)

Sofern die Sanierungen gemäß den vorab genannten Hinweisen kontrolliert und begleitet werden, sind konstruktive Merkmale der unterschiedlichen Varianten zur Lineranbindung hinreichend überprüft. Sollten hier jedoch Zweifel an der Infiltrationsdichtheit der Gewerke bestehen, existiert grundsätzlich die Möglichkeit, die sanierten Schächte einer Dichtheitsprüfung zu unterziehen. Inwieweit das Aufwand-Nutzen-Verhältnis dieser Prüfung vertretbar ist, bedarf der Betrachtung im Einzelfall. Belastbare Ergebnisse zur dauerhaften Abdichtung von Schacht-Liner-Anschlüssen unter Berücksichtigung von steigenden Grundwasserspiegeln können darüber hinaus in vergleichenden Produkttests gewonnen werden.

5 Bautechnische Risiken für Werkstoffwechsel und Übergänge

5.1 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Das Institut für Wasserwesen, Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität der Bundeswehr München untersuchte Neubau-Bauteile auf bautechnische und organisatorische Faktoren hin, welche einen Schaden begünstigen [33]. Hauptaugenmerk liegt hierbei auf Einbau- und Bodenbedingungen, dem Herstellungsverfahren, der Bauüberwachung, dem Rohrmaterial und der Art von Werkstoffwechseln und Übergängen. Dazu wurden eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt, Erfahrungen aus der Prüfung vor und nach Verfüllung der Baugrube sowie der Gewährleistungsabnahme berücksichtigt, Hinweise der Fachverbände eingearbeitet und aktuelle Baustellen besichtigt. Sowohl die vorbereitende Organisation der Baustelle als auch die technische Ausführung während der Bauphase haben Einfluss auf die fachgerechte Erstellung eines standsicheren und dichten Kanalnetzes. Beide Projektphasen müssen folglich in eine Risikobewertung miteinbezogen werden. Im Ergebnis wird eine Häufigkeitsverteilung für das Vorkommen typischer Schadensrisiken erstellt.

5.2 Organisatorische Faktoren

Rahmenbedingungen für die Herstellung von Grundstücksentwässerungsanlagen

Bild 95 zeigt eine deutliche Abhängigkeit der Schadensdichte von der Art der Leitung. Private Grundstücksentwässerungsanlagen (GEA) sind der Bereich der Kanalisation, in dem insbesondere Werkstoffwechsel und Übergänge vorzufinden sind, da hier die Übertragung des Verantwortungsbereichs von der Kommune oder des Entwässerungsbetriebs auf den privaten Grundstückseigentümer stattfindet. Die Schadensdichte ist im Bereich der privaten GEA über vier Mal höher als bei der öffentlichen Kanalisation ([34], [35], [36], [37], [38], [39]).

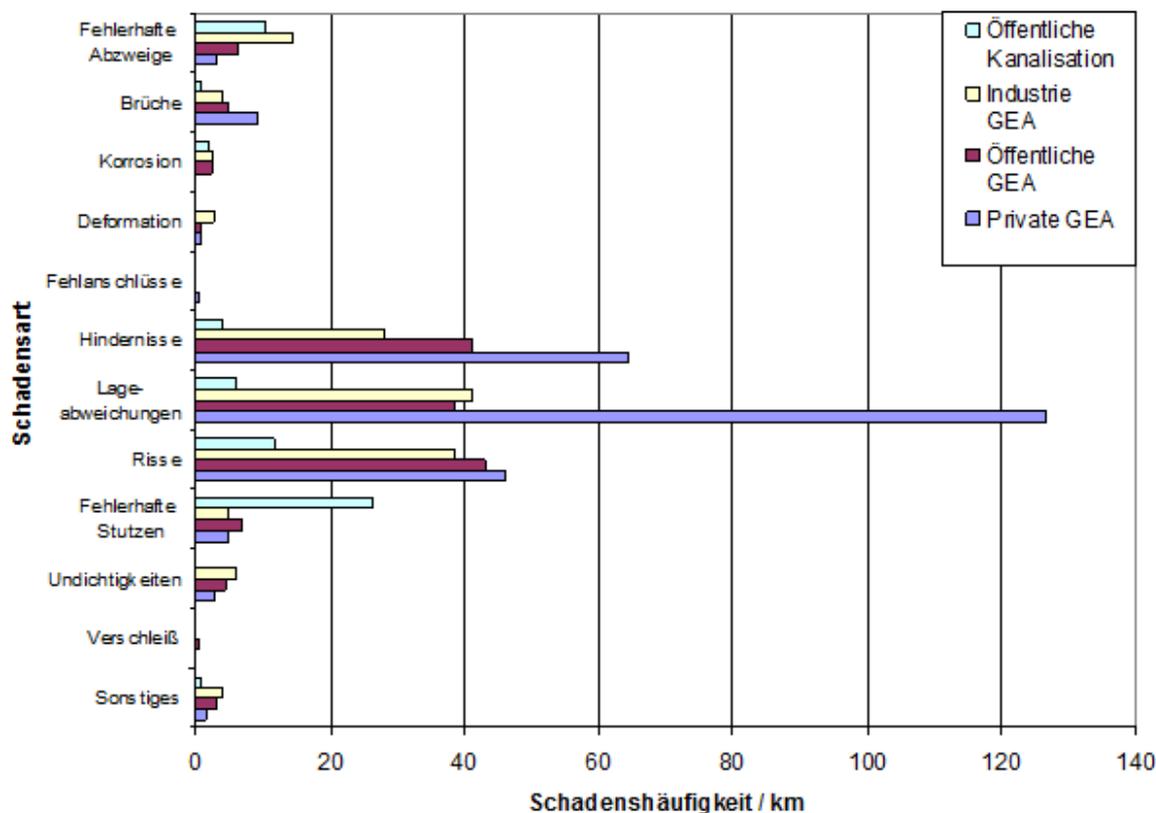


Bild 95 Vergleich der Schadensarten und -dichten in unterschiedlichen Bereichen der Kanalisation [35]

Ursache hierfür sind insbesondere mangelnde Fachkenntnis in der Bauausführung durch den Eigentümer, oder fehlende Bauüberwachung, wenn die Errichtung der GEA durch eine z. T. nicht qualifizierte Baufirma (Landschaftsbau) durchgeführt wird. Diese Risikoquellen können durch eine fachliche Unterstützung seitens der Kommune und eine Anpassung des Verantwortungsbereichs über die Entwässerungssatzung vermindert werden.

Vorplanung und Koordination

Die Planung ist Grundlage für eine fachgerechte Herstellung einer Kanalisation entsprechend den Regeln der Technik. Mangelhafte Vorerhebung erforderlicher Daten (Boden, Leitungen u. a.) wirkt sich unmittelbar auf die weitergehende Planung und später den Betrieb aus. Die Planung von Entwässerungsanlagen sollte grundsätzlich an ein fachkundiges, leistungsfähiges und zuverlässiges Ingenieurbüro gemäß § 2 VOB/A [40] übertragen werden, sofern der Kanalnetzbetreiber das entsprechende Personal nicht selbst zur Verfügung hat. Die Planung ist frühzeitig und regelmäßig mit Fachbehörden abzustimmen, um teure und zeitintensive Umbaumaßnahmen zu vermeiden und muss unter Beachtung der allgemein anerkannten Regeln der Technik (§ 60 WHG) erfolgen. Es sei hier auf die Informationsschrift „Technische Regeln im Kanalbau“ [41] verwiesen, in der die notwendigen Regelwerke aufgeführt sind.

Qualifikation des Baupersonals

In [42] wurden verschiedene Kanalbauprojekte mit unterschiedlichen Werkstoffen und Randbedingungen ausgewertet. Gut ausgebildete Mitarbeiter konnten hiernach einen

deutlich schnelleren Baufortschritt erzielen als geringer qualifizierte Kolonnen. Es wurde zudem beobachtet, dass letztere die Arbeitsschritte im Vergleich zu Vorgaben aus den Regelwerken stark „vereinfachen“. Dies betrifft u. a. die Ausführung der Bettungs- und Leitungszone, sowie auch eine verringerte Arbeitssicherheit durch nicht fachgerechten Verbau.

Bauüberwachung

Grundlage der Qualitätssicherung auf der Baustelle im Rahmen der Eigenüberwachung ist die Erfassung und Auflistung der relevanten technischen Regelwerke, sowie der Anforderungen die vom Auftraggeber als bedeutsam angesehen werden. Als besonders hilfreich stellt sich der „Leitfaden für die Eigenüberwachung“ [43] dar. Der Leitfaden des Güteschutz Kanalbau ersetzt jedoch nicht das geschulte Auge, welches erfahrene Ingenieure (aus Ingenieurbüros, oder den Städten und Gemeinden) besitzen. Die notwendige Eigenüberwachung des Auftragnehmers muss deshalb durch Fremdüberwachung ergänzt werden. Da mangelhafte Bauausführung als Hauptursache für Schäden im Kanal gilt, ist eine genaue und regelmäßige Überprüfung aller Arbeitsschritte bei der Herstellung der Kanalisation notwendig.

5.3 Bautechnische Faktoren

Einbau- und Bodenbedingungen

Die Verpflichtung zur Baugrunderkundung resultiert aus der allgemeinen Sorgfaltpflicht nach VOB [40]. Für jede Bauaufgabe müssen Aufbau und Beschaffenheit von Boden und Fels im Baugrund sowie die Grundwasserverhältnisse ausreichend bekannt sein. Hierzu sollen Untersuchungen projektbezogen ausgeführt werden. Trotz des großen Einflusses des Bodens auf verwendbare Rohrmaterialien, Einbautechniken und dessen Einsatz in Bettung und Umhüllung des Rohres sowie Verfüllung des Rohrgrabens fehlen hierzu häufig klare Aussagen in den Leistungsbeschreibungen [44].

Herstellung des Rohrgrabens

Der Rohrgraben wird in verschiedene Bestandteile unterteilt (s. [18]). Durch die Verdichtung der Sohle muss ein Rohraufleger ermöglicht werden, dass weder Punkt-, noch Linienlasten auf das Rohr überträgt. Eine besondere Bedeutung kommt hier der Aussparung für Muffen in der Grabensohle zu, um an diesem kritischen Bereich keine Punktlasten zu erzeugen, welche in der Folge zu Durchbiegungen und Radialrissen führen können. Seiten- und Hauptverfüllung müssen so verdichtet werden, dass ein Lastabtrag gemäß der statischen Berechnungen erfolgen kann.

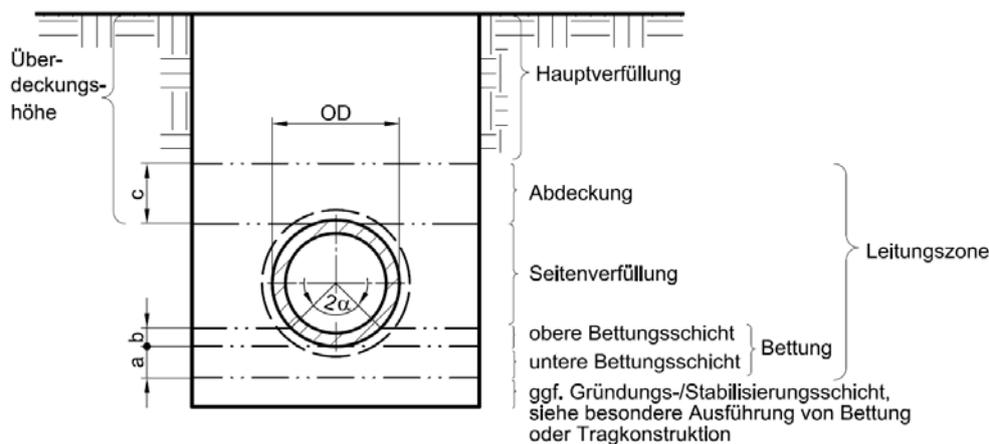


Bild 96 Aufteilung des Rohrgrabens [18]

Rohrmaterial

Entscheidend bei der Vergabe des Bauauftrags ist, dass sowohl das Rohrmaterial im Leistungsverzeichnis beschrieben ist, als auch konkrete Angaben zur Dichtung, insbesondere bei Werkstoffwechseln und Übergängen, vorgegeben sind. Die Vielzahl der Hersteller ermöglicht eine passgenaue Auswahl für den Anwendungsfall. Die Auswahl der Materialien muss aufgrund der vorgegebenen Randbedingungen getroffen werden und darf nicht dem Bauunternehmer überlassen werden [45].

Werkstoffwechsel und Übergänge

Bereits im Endbericht zur ersten Stufe des Forschungsvorhabens [2] wurden die Anforderungen und Regelwerke für den Neubau von Bauteilen und Formstücken dargestellt, die sich in allgemeine und produktspezifische Anforderungen unterteilen lassen und Geltungsbereich, Anforderungen sowie die jeweiligen Prüfverfahren definieren. Hierbei wurde als ein materialspezifischer Grund für den Verlust der Dichtheit die Relaxation der Dichtmaterialien angeführt. Zudem können Rohrverformungen und Bodenbewegungen zum Verlust der Dichtheit führen. Diese Versagensarten sind insbesondere auf nicht fachgerechte Herstellung des Rohrgrabens zurückzuführen. Die aufwendige Herstellung von Übergängen bei Schachtschlüssen erfolgt außerdem häufig unter beengten Platzverhältnissen, so dass auch hier die Ausführung durch qualifiziertes und erfahrenes Personal erforderlich ist.

5.4 Prüfung des Bauwerks

Die Prüfung des Bauwerks, vor und nach Verfüllung des Rohrgrabens, bei der Bauabnahme und bei der Gewährleistungsabnahme, ist aus bautechnischen und rechtlichen Gründen notwendig. Der Einfluss der verschiedenen Prüfmöglichkeiten auf die Qualität des Bauwerks soll im Folgenden dargestellt werden.

Nach [44] sind hier drei verschiedene Arten der Abnahme zu berücksichtigen:

- Die öffentlich-rechtliche Abnahme (gemäß LBO eine Bauzustandsbesichtigung zur Sicherung der öffentlich – rechtlichen Belange)

- Die technische Abnahme
(technische Überprüfung der Bauleistung auf vertragsgemäße und mängelfreie Ausführung)
- Die rechtsgeschäftliche Abnahme
(die körperliche Entgegennahme der vertragsgemäß hergestellten Leitung und deren Billigung als eine in der Hauptsache vertragsgemäße Leistung)

Prüfung vor und nach Verfüllung der Baugrube

Eine abschließende Sichtprüfung der Bauteile und Einbauhilfsmittel hilft dabei, verlegebedingte Schäden zu reduzieren. Materialfehler sollten bereits während des Rohreinbaus erkannt werden. Zudem ist vor dem Einbringen der Seitenverfüllung nochmals die planmäßige Lage der Rohrleitung zu überprüfen. Die Überprüfung der Erdarbeiten, insbesondere des Verdichtungsgrades der Verfüllung sollte im Rahmen der Eigenüberwachung durch die bauausführende Firma regelmäßig z. B. über dynamische Plattendruckversuche durchgeführt werden. Eine Rammsondierung sollte mindestens einmal pro 25 m, also in der Regel 2 Mal pro Haltung durchgeführt werden, um den Erfolg der lageweisen Verdichtung über die gesamte Grabentiefe nachweisen zu können.

Dichtheitsprüfung

Dichtheitsprüfungen sollten nach Verfüllung erfolgen, um Schäden durch nicht fachgerechte Verfüllung und Verdichtung erkennen zu können.

Die Unterdruckprüfung ist insbesondere geeignet, um einen praxisnahen Lastfall für Kanäle im Grundwasser simulieren zu können. Der Dichtheitsnachweis der Dichtungselemente bei Unterdruck im Rohr, bzw. Überdruck von außen, ist in diesem Fall zur Reduzierung des Fremdwasseranfalls aussagekräftiger. Zudem erhöht sich die Arbeitssicherheit bei der Anwendung von Unterdruck, da Absperrgeräte nicht aus der Rohrleitung entweichen können. Die in DWA-A 139 [46] festgelegten Prüfbedingungen gelten allerdings nur für Prüfobjekte, die vollständig über dem Grundwasserspiegel liegen. Bei sehr hohen Grundwasserständen wird auf Überdruckprüfungen mit Luft oder Wasser verwiesen. Die während des Projekts beobachteten Baustellen hatten keine speziellen Maßnahmen wegen hohen Grundwassers zu ergreifen, sodass keine speziellen Prüftechniken erforderlich waren oder eingesetzt wurden.

Grundsätzlich ist aber insbesondere die optische Inspektion, bei DN <800 mm mittels TV-Kamera, bei Rohrleitungen im Grundwasser besonders aussagekräftig für den Fall, dass sichtbarer Wassereintritt erfolgt. Techniker berichten jedoch teilweise von Reflexionen bei Kamerabefahrungen in neuen Kunststoffrohren. Besonders problematisch sind dabei weiße Oberflächen. Geringe Infiltrationsraten lassen sich mit der Kamera bei der Bauabnahme so gegebenenfalls nicht sicher erfassen. Der Zeitpunkt der Bauabnahme wird in der Regel zeitnah nach Fertigstellung der Baumaßnahme erfolgen. Dabei ist zu berücksichtigen, wenn während der Bauphase eine Wasserhaltung für das fachgerechte Herstellen einer Rohrleitung unter Grundwassereinfluss eingerichtet werden muss, dass der Grundwasserstand zu diesem Zeitpunkt nicht der natürlichen Höhe entspricht. Häufig liegen Kanalbaustellen im Straßenbereich, sodass in enger zeitlicher Abfolge nach der Verfüllung des Rohrgrabens die Straßenoberfläche durch

ein weiteres Unternehmen hergestellt wird. Aus Gründen der Beweissicherung kann folglich mit der Prüfung nicht gewartet werden, bis sich wieder die natürliche Grundwasserlage eingestellt hat. Die Anwendung der optischen Inspektion bleibt daher beim Neubau im Wesentlichen auf die Feststellung sichtbarer Schäden auch ohne Wassereintritt beschränkt.

Ein weiteres Problem ist die Qualität des auswertbaren Datenmaterials. Die Bildqualität der Kameras bei direkter Übertragung erlaubt auch die Feststellung sehr kleiner Mängel. Diese Qualität ist jedoch nur an der direkten Auswerteeinheit sichtbar. Durch Komprimierung und Konvertierung der Daten und anschließender Auswertung im Ingenieurbüro bei möglicherweise geringerer Bildgröße lassen sich kleine Fehler möglicherweise nicht mehr auswerten.

Die Einbeziehung des Grundwasserstandes bleibt daher vor allem auf die privaten Grundstücksentwässerungsanlagen beschränkt, da hier möglicherweise mit der Abnahmeprüfung gewartet werden kann, bis sich wieder ein natürlicher Grundwasserstand eingestellt hat. Dies ist insofern günstig, da die Schadensrate nachweislich in GEA höher ist als in der öffentlichen Kanalisation [35]. Da der Grundstückseigentümer jedoch die Notwendigkeit einer solchen Maßnahme nicht abschätzen kann, ist dazu letztlich aber immer die fachliche Begleitung der Baumaßnahme durch die Kommune bzw. den Entwässerungsbetrieb notwendig. Die auf diese Weise geprüfte Qualität der Bauausführung kann dazu beitragen, den Fremdwasseranteil zu senken.

5.5 Erfassung des Schadensrisikos im Leitungsbau

Um Risikofaktoren bei der Herstellung von Rohrleitungen in der offenen Bauweise anschaulich darstellen zu können, wurde das folgende Schema entwickelt:

75% der Schäden im Kanal entstehen erfahrungsgemäß bei der Bauausführung. Tabelle 47 ermöglicht eine Bewertung des sich aus den Randbedingungen eines Bauprojektes ergebenden Schadensrisikos über die Bestimmung der Eigenschaften einzelner, gewichteter, Rahmenbedingungen und einer Bewertung des möglichen Schadensausmaßes.

Das Risiko ergibt sich aus dem Produkt von Schadensausmaß (Auswirkungen) und Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens. Dieses ist im Einzelfall zu ermitteln. Im Wesentlichen ist die anzunehmende Eintrittswahrscheinlichkeit abhängig von den allgemeinen Randbedingungen einer Baustelle, der Qualifikation der am Bau Beteiligten, sowie dem Rohrsystem (z.B. Art der Herstellung der Rohrverbindungen).

Tabelle 47 Einflussfaktoren bei der Herstellung von Kanälen vor Beginn der Bauausführung zur Ermittlung des Schadensausmaßes

Einflussfaktoren	Wichtung des Einflussfaktors	Eigenschaften und Auswirkung des Einflussfaktors			Eintrittswahrscheinlichkeit	Risiko
		A				
	W				E	R= (WxA)xE
Art der Oberflächengestaltung	1x	Bebaut	Befestigt	Unbefestigt		
1		0	1	2		
Art der Kanalisation	1x	öffentlicher Kanal	öffentliche GEA	private GEA		
2		0	1	2		
Gestaltung der Entwässerungssatzung (GEA)	2x	Verantwortungsgrenze Revisionschacht	Verantwortungsgrenze Hauptsammler	Verantwortungsgrenze Grundstücksgrenze		
3		0	1	2		
Qualität der Vorerhebung/Vorbereitung	2x	Umfangreiche Vorerhebung und umfassende Absprachen mit Beteiligten	Unflexible und lückenhafte Vorerhebung und unzureichende Absprachen			
4		0	1			
Anzahl der Einbindung von Anschlussleitungen und Anbindung an Schächte und andere Bauwerke	3x	Keine	Wenige	Viele		
5		0	1	2		
Untergrundbeschaffenheit	1x	Gute Baugrundverhältnisse	Schwierige Baugrundverhältnisse			
6		0	1			
Grundwassereinfluss	1x	Kein GW Einfluss	Schwankender GW Einfluss	Baustelle ständig im Grundwasser		
7		0	1	2		
Qualität der Ausschreibung	2x	Präzise Angaben zu Material und geforderter Qualifikation des AN	Vereinfachte Ausschreibung			
8		0	1			
Qualität des Baupersonals	2x	Firma mit Gütezeichen		Kein Qualifikationsnachweis		
9		0		2		
Qualität der Eigen und Fremdüberwachung	2x	Eigenüberwachung, Fremdüberwachung	keine Eigenüberwachung, Fremdüberwachung	keine Eigenüberwachung, keine Fremdüberwachung		
10		0	1	2		
Qualität der Abnahmeprüfung	1x	Qualifizierte Abnahmeprüfung mit Fremdüberwachung	Qualifizierte Abnahmeprüfung	keine Abnahmeprüfung		
11		0	1	2		
Gewährleistungsabnahme	1x	Gewährleistungsabnahme	keine Gewährleistungsabnahme			
12		0	1			

0=keine Auswirkung; 1=mittlere Auswirkung; 2=große Auswirkung

Tabelle 48 zeigt die vier häufigsten Schäden in der Kanalisation in Abhängigkeit der Bauphasen, basierend auf den Ergebnissen der Untersuchungen.

Tabelle 48 Ursachen typischer Schäden in der Kanalisation während der Bauausführung

Bauphasenbestimmte Schäden	Risiko aus relevanten Einflussfaktoren	Aufteilung typischer Schäden auf die einzelnen Bauphasen				Aufsummierte Anteile pro Bauphase
		Hindernisse (Wurzeln, Ablagerungen)	Verschobene Verbindungen/ einragende Dichtungen	Risse/ Verformungen	einragende/ schadhafte Anschlüsse	
		[%]	[%]	[%]	[%]	
Schäden bei der Gestaltung der Grabensohle/Rohrbettung	1,2,3,4,6,7,8,9, 10, 11, 12	25	15	40	5	85
Rohrschäden bei Lieferung/Lagerung/Einbau	2, 8, 9, 10, 11	0	5	5	0	10
Schäden bei der Herstellung der Rohrverbindungen/Anschlüsse	2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11	40	55	10	90	195
Schäden beim Herstellen der Grabenverfüllung und Verdichtung	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	25	15	35	5	80
Schäden durch Grundwassereinfluss	2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10	10	10	10	0	30
Summe		100	100	100	100	400

$\sum (\text{Anteil der Bauphase an Schadenstyp} \times \text{Risiko der Bauphase}) = \text{Gesamtschadensrisiko pro Schadenstyp}$

(Wert 0-2) 0=kein Risiko; 1=mittleres Risiko; 2=hohes Risiko

Das mittlere Risiko (Mittelwert) der jeweils relevanten Rahmenbedingungen in Tabelle 49 gibt das Risiko an, mit dem bei der Bauausführung zu rechnen ist. Im Beispiel in Tabelle 49 wurde für die Bauphase „Lieferung/Lagerung/Einbau“ (Einflussfaktoren 2, 8, 9, 10, 11 aus Tabelle 47) das Teilschadensrisiko für den Schaden „Verschobene Verbindungen/ einragende Dichtungen“ ermittelt.

Tabelle 49 Beispielrechnung zur Ermittlung des Schadensrisikos (Bauphase: Lieferung, Lagerung, Einbau; Schadensfall: Verschobene Verbindungen / einragende Dichtungen; angenommene Eintrittswahrscheinlichkeit E = 1)

Nr.	Relevanter Einflussfaktor	Eigenschaften des Einflussfaktors (Annahmen)	Wichtung x Auswirkung
2	Art der Kanalisation	öffentliche GEA	1x1
8	Art der Ausschreibung	vereinfachte Ausschreibung	2x1
9	Qualität des Baupersonals	Kein Qualifikationsnachweis	2x2
10	Qualität der Eigen- und Fremdüberwachung	keine Eigenüberwachung, Fremdüberwachung	2x1
11	Qualität der Abnahmeprüfung	Qualifizierte Abnahmeprüfung mit Fremdüberwachung	1x0
Gemitteltetes Risiko für Eintrittswahrscheinlichkeit = 1		$\frac{\sum(Wichtung \times Auswirkung)}{\sum Wichtung} \times Eintrittswahrscheinlichkeit$	9/7*1= 1,29
Anteiliges Risiko für den Schadensfall Verschobene Verbindungen/ einragende Dichtungen		$\sum (Anteil \ der \ Bauphase \ an \ Schaden \ x \ Risiko) = Gesamtschadensrisiko$ (Wert 0-2)	0,05 *1,29 = 0,065

Diese Herangehensweise basiert auf verallgemeinerten Annahmen aus Erfahrungen und Literaturrecherchen und muss im Einzelfall angepasst werden. Dennoch können durch diese Art der Darstellung die Vorkommen typischer Schadensrisiken bei der Herstellung von Kanälen verdeutlicht werden.

Es zeigt sich, dass gemäß der Aufteilung nach Tabelle 48 vor allem die Phasen Gestaltung der Grabensohle/Rohrbettung – Herstellen der Rohrverbindung und Anschlüsse – Herstellen der Grabenverfüllung/Verdichtung einer besonderen Sorgfalt bedürfen. Hier liegt insgesamt das größte Schadenspotential der Bauausführung. Diese Bereiche werden auch am stärksten von den Rahmenbedingungen beeinflusst. Risikopotential, aber auch Chancen für die Risikovermeidung sind dort folglich am höchsten.

5.6 Zusammenfassung

Es wurden organisatorische und bautechnische Faktoren beim Neubau von Rohrleitungen ermittelt und die Auswirkungen dieser Faktoren auf den Einfluss von Schäden im Kanal bewertet. Abschließend wurden praktische und organisatorische Hinweise zur Abnahme- und Gewährleistungsprüfung erarbeitet.

Es konnte gezeigt werden, dass die häufigsten Schadenstypen im Kanal Hindernisse, Lageabweichungen, Risse, Schäden an Verbindungen und fehlerhafte Stützen sind. Sowohl die Schadensdichte, als auch die Schadensarten unterscheiden sich deutlich zwischen öffentlicher und privater Kanalisation. Private Grundstücksentwässerungsanlagen (GEA) weisen eine deutlich höhere Schadensdichte auf und zeigen als Haupt-

schadensbild Lageabweichungen. Schäden in öffentlichen GEA verteilen sich hauptsächlich auf Hindernisse, Lageabweichungen und Rissbildung. Öffentliche Kanäle weisen vor allem fehlerhafte Stützen auf.

Die Schadensdichte bei den privaten GEA ist hierbei im Wesentlichen unabhängig vom Material. Die Schadensarten unterscheiden sich jedoch je nach eingesetztem Rohrmaterial. Bei biegeweichem Rohrmaterial sind Verformungen und Lageabweichungen zu beobachten, biegesteife Rohre weisen zusätzlich zur Lageabweichung häufig Rissbildungen auf. Zudem wurde ein Zusammenhang zwischen Überdeckungshöhe und Art der Oberflächengestaltung festgestellt. Höher gelegene Regenwasserleitungen haben demnach eine um 20% höhere Schadensdichte als Schmutzwasserkanäle im Bereich der GEA. Bei älteren GEA wurden mehr Lageabweichungen an Material- und Querschnittsveränderungen beobachtet, was auf mangelhafte Bauausführung zurückzuführen ist. Unbefestigte Flächen mit Bewuchs in Leitungsnähe führen ebenso nachweislich zu höheren Schadensdichten als Leitungen unter befestigten oder bebauten Flächen. Die Wurzelbeständigkeit der Rohrverbindungen hat maßgeblichen Einfluss in diesem Schadensfall.

Die Ursachen für Schäden im Kanal werden hauptsächlich auf eine ungenügende Bauplanung, Bauausführung und Bauüberwachung zurückgeführt, jedoch spielen übergeordnete Gesetze, Verordnungen und Satzungen, bzw. die Unkenntnis über diese, ebenfalls eine Rolle bei der Entstehung von Schäden in Rohrleitungen.

Die Gestaltung der kommunalen Entwässerungssatzung mit der Regelung von privater und öffentlicher Verantwortlichkeit hat entscheidenden Einfluss auf die Schadensdichte von GEA. Wird die Zuständigkeitsgrenze an den öffentlichen Hauptsammler gelegt, besitzt der Grundstückseigentümer zwar einen genau definierten, jedoch gleichzeitig sehr großen Verantwortungsbereich, dessen er sich meist nicht bewusst ist. Nicht fachmännisch ausgeführte Anschlüsse an die öffentliche Kanalisation sind dann ein häufiges Schadensbild. Orientiert sich die Zuständigkeitsgrenze an der Grundstücksgrenze, sind Werkstoffwechsel und damit einhergehend nicht fachmännisch ausgeführte Übergänge, Wurzeleinwüchse und Lageabweichungen häufiger zu erwarten. Technisch am sinnvollsten ist eine Übergabe der Verantwortung am Revisionsschacht. Die weiteren Schadenstypen, wie horizontale und vertikale Lageabweichungen, sowie undichte Rohrverbindungen sind direkt dem unzureichenden Fachverstand der privaten Grundstückseigentümer zuzuschreiben. Bietet ein Entwässerungsbetrieb fachmännische Unterstützung im privaten Verantwortungsbereich an, z.B. in Form von Bauüberwachung, Unterstützung bei den Abnahmeprüfungen, oder weiteren Empfehlungen bei der Auswahl von Fachfirmen, so können diese Schadenstypen erheblich reduziert werden.

Für die Erstellung von Rohrleitungsbauwerken sind die Rechte und Pflichten der Akteure „Auftraggeber-Planer-Baufirma“ im Vorfeld genau abzuklären. Hierzu zählen übergeordnete Koordination und Genehmigungen seitens des Auftraggebers, sowie eine genaue Definition der zu erbringenden Leistung durch den Auftragnehmer. Auch eine gute Kommunikation von verschiedenen Fachabteilungen eines Entwässerungsbetriebs, insbesondere von Planung und Betrieb, ist notwendig, um bei der Planung

nicht nur einmalige Investitionskosten, sondern auch Reinvestitions- und laufende Kosten einer Gesamtbetrachtung zu unterziehen. Erst hierdurch zeigen sich rechnerisch die Vorteile bestimmter Rohrmaterialien, oder der Baufirmen mit Gütezeichen. Ein genau definiertes Schadensrisiko für eine typische Schadensart kann aus einem Abweichen von dieser Empfehlung nicht festgelegt werden. Ein schlecht koordiniertes Bauvorhaben mit z.B. unpräziser Ausschreibung wird jedoch im Ergebnis insgesamt zu einer niedrigen Bauqualität und somit zu mehr Schäden und geringerer Lebensdauer der Rohrleitung führen.

Im Bereich der Vorplanung der Rohrleitungsherstellung müssen verschiedene Vorerhebungen, z.B. zu Verkehrslasten, Flächennutzung und insbesondere der Baugrunduntersuchung durchgeführt werden. Die verschiedenen Belastungen auf das Boden-Rohr-System über Bodenwichte, Verkehr etc. müssen so umfassend wie möglich erhoben werden. Ist die Lastabtragung in das Boden-Rohr-System durch falsche Erhebungen stärker als berechnet, folgen vertikaler Versatz, Verformungen für biege-weiche Rohre und Rissbildung bzw. Rohrbrüche für biegesteife Rohre. Nicht verdichtungsfähiger Boden muss deshalb durch Bodenaustausch ersetzt werden. Entspricht die Korngrößenverteilung des Bodens nicht den Vorgaben für das Rohr (DN, Material), so ist über hohe Spitzenlasteinträge Undichtigkeit im System zu erwarten.

Weitere Schäden an der Rohrstatik ergeben sich in der Bauausführung durch falsche Ausbildung der Rohrbettung, beispielsweise durch unzureichende Unterstopfung des Rohres. Die Folgewirkungen sind auch hier Lageabweichungen, Verformung und Rissbildung.

Zudem ist die Grabensohle beim Bauen im Grundwasser, oder bei Starkregen unbedingt wasserfrei zu halten. Das Ausschwemmen von Feinstbestandteilen der Bettung, sowie zu weiche Rohrgrabensohlen ändern die vorgegebenen statischen Randbedingungen. In der Folge ist vertikaler Versatz der Rohre zu beobachten. Häufig wird dies in der Bauausführung unterschätzt und ist deshalb als häufige Fehler und Schadensquelle auszumachen.

Im Rohreinbau sind insbesondere beim Herstellen von Rohrverbindungen Schäden zu erwarten. Der Einbau qualitativ minderwertiger Verbindungen und Übergangsbauerteile, z.B. durch unpräzise Vorgaben in der Ausschreibung oder mangelnde Fachkenntnis, ist als eine der Hauptursachen für Undichtheiten im Verbindungsbereich anzusehen. Gleiches gilt für eine nicht normgerechte Ausbildung der Rohrgrabensohle im Verbindungsbereich. Bei unsachgemäßer Bauausführung werden im Muffenbereich Punktlasten eingetragen, die dann zu Schäden im Verbindungsbereich führen. Weitere Schäden im Verbindungsbereich entstehen durch die Verwendung unzulässiger Gleitmittel für Dichtungen, oder beim Zusammenschieben zweier Rohre mit unzulässigem Gerät (Baggerfahrzeug).

Der letzte Schritt in der Bauausführung ist die Verfüllung von Leitungszone und Rohrgraben. Die häufigsten Fehler in der Bauausführung liegen hier in der nicht planmäßigen Herstellung der einzelnen Schichten, sowie in dem Einsatz von falschen und schweren Verdichtungsgeräten zu nahe am Rohr. Unzulässige Verdichtungsgeräte haben eine sofortige statische Überlastung des Rohrs zur Folge und führen, wie man-

gelhafte Verdichtung über die Grabentiefe, zu Rissen und Verformungen im Rohrsystem. Während der Verdichtung ist darauf zu achten, dass der Verbau schrittweise gezogen wird. Geschieht dies nicht, so wird die Verfüllung nicht gegen den anstehenden Boden verdichtet, was ebenfalls zu einer statischen Mehrbelastung des Systems führt.

Auch bei Werkstoffwechseln und Übergängen führen diese Baumängel zum Funktionsverlust des Bauteils. Bodenbewegungen und Verformungen der Bauteile durch mangelhafte Bettung oder Verdichtung führen zu Undichtigkeiten und in der Folge zu erhöhtem Fremdwasseranfall.

Durch eine qualifizierte Eigen- und Fremdüberwachung, die Wahl qualifizierter Baufirmen durch entsprechende Vergabekriterien und eine präzise Ausschreibung der geforderten Leistungen können diese Fehlerquellen in der Bauausführung jedoch erheblich reduziert werden.

In der Bauausführung ist grundsätzlich die normgerechte Dichtheitsprüfung mit Wasser oder Luft gefordert. Auch hierfür muss ein Dienstleister mit entsprechender Qualifikation gewählt werden. Die Prüfung mit Unterdruck stellt bei Fremdwassersanierungen den realitätsnäheren Lastfall dar, die Prüfkriterien gemäß technischem Regelwerk sind allerdings nur bei Baustellen ohne Grundwassereinfluss anwendbar. Infiltrationsprüfungen können dagegen nur bei Baustellen im Grundwasser durchgeführt werden. Dies ist im Bereich der öffentlichen Verkehrswege aufgrund der zeitlich engen Abfolge von Nachfolgearbeiten (Herstellung der Straße etc.) kaum möglich, da Baugruben während der Bauphase grundwasserfrei zu halten sind und der Anstieg des Grundwassers auf den natürlichen Stand viel Zeit in Anspruch nimmt. Private GEA hingegen können auf diese Weise geprüft werden, insbesondere wenn Sie durch eine öffentliche Beratungseinrichtung bei der Errichtung unterstützt werden.

Ist die Abnahmeprüfung ohne Mängel und Forderungen zur Nachbesserung abgeschlossen, dann wurde die Qualität des Bauwerks festgelegt. Selbst individuell verhandelte Gewährleistungsfristen können die Qualität nicht mehr beeinflussen, da eine schlechte Bauausführung nicht unbedingt zu erkennbaren Fehlern, sondern zu einer insgesamt verringerten Lebensdauer führt.

Eine schematische Herangehensweise zur Risikobeurteilung und -bewertung bei der Herstellung von Bauteilen der Kanalisation zur Abschätzung möglicher Schadenseintrittswahrscheinlichkeiten wurde ebenfalls entwickelt.

6 Auftriebseffekte an Hausanschlussleitungen

6.1 Veranlassung und Vorgehensweise

Im Jahre 2010 wurde im Großversuchsstand des IKT ein Warentest zur Sanierung von Hausanschlüssen mit Schlauchlinern durchgeführt [3]. Hierbei wurde eine hohe Empfindlichkeit der sanierten Hausanschlussleitungen gegenüber Auftrieb bei Anstieg des Grundwasserspiegels festgestellt. Das Verständnis für diesen Effekt gewinnt immer mehr an Stellenwert, da die fortschreitende Zunahme des Abdichtungsgrades der öffentlichen und der privaten Kanalisation und ein möglicherweise damit verbundener Anstieg des Grundwasserspiegels entscheidenden Einfluss auf eine erfolgreiche Fremdwassersanierung haben können. Der simulierte Grundwasseranstieg verursachte im o. g. Projekt an 8 von 30 Liner-Rohr-Systemen Schäden in Form von Biegerissen. 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 ereigneten, muss dann die erwartete Lebensdauer von z.B. 50 Jahren in Frage gestellt werden.

Es zeigte sich insbesondere ein Zielkonflikt zwischen der angestrebten Verklebung des Liners mit dem Altrohr und der scheinbar notwendigen Abwinkelbarkeit der Rohrverbindungsgebiete unter Auftrieb. Liegt bei Linern ohne Preliner ein Klebeverbund im Ringraum vor, der Liner und Rohr verbindet, entsteht ein längsbiegesteifes Gesamtsystem, welches bei Überstau durch Grundwasser und den damit zusammenhängenden Auftriebsbelastungen hauptsächlich in den Rohrverbindungsgebieten vor Bögen und Abzweigen für Biegebeanspruchungen anfällig ist.

Zusätzlich kann Harzaustritt gerade in diesen Rohrverbindungsgebieten zu einer stellenweise dünneren Linerwand führen. Auch eine Verzahnung des Liners kann für eine Dehnungsbehinderung und damit übergroße partielle Zugdehnungen sorgen, die eine Schadensentstehung wahrscheinlicher machen. Schon geringfügige Risse im Linermaterial können dann bei entsprechendem Außenwasserdruck zu erheblichem Wassereintritt führen, der das Sanierungsziel Infiltrationsdichtheit vollständig in Frage stellt.

Ergänzende Versuche an Hausanschlussleitungen in einer Grundwasserwechselzone im Versuchsmaßstab 1:1 sollten daher mögliche Bewegungen der eingebauten Rohre erfassen, um so Auftriebsrisiken beim Einsatz von Linersanierungen an Hausanschlüssen besser bewerten zu können. Hierzu wurden im Großversuchsstand mit Hilfe spezieller Messtechnik die Einflüsse durch steigenden bzw. sinkenden Grundwasserspiegel auf die Lage der Leitung hin untersucht.

Das Institut für Geotechnik (IGtH) der Leibniz Universität Hannover führte parallel zu diesen Versuchen numerische Simulationen durch. Hierdurch soll zunächst an einem FE-Modell die Größenordnung der zu erwartenden Hebungen der beteiligten Komponenten abgeschätzt werden. Auf dieser Basis lassen sich dann die einzelnen Bestandteile des Versuchsaufbaus und die Messeinrichtungen optimal auswählen und einsetzen.



Bild 98 Einbau des Rohrstranges im Großversuchsstand, Höhenlage ca. 2,5 m

6.3 Numerische Berechnungen und Versuchsergebnisse

Versuchsbegleitend wurden Berechnungen nach der Finite-Element-Methode vom IGtH Hannover durchgeführt [47]. Der im Bild 97 dargestellte Versuchsaufbau wurde mit dem FE-Programm PLAXIS 3D simuliert. Das Modell wurde im weiteren Verlauf der Ergebnisergebnisgewinnung immer weiter modifiziert und schließlich auf andere Leitungsverläufe abstrahiert.

Zunächst wurde ein Schacht und das Rohr gerechnet. Hierdurch ergab sich eine Reduktion des numerischen Aufwands hinsichtlich der Berechnungszeit. Auf die Qualität der Ergebnisse hat dies keinen Einfluss, da zunächst nur das qualitative Verhalten unter Auftrieb untersucht wurde. Zunächst sollten die Verformungen bzw. Verschiebungen beider Bauteile infolge des Auftriebs getrennt voneinander betrachtet werden. Hieraus konnten qualitativ die für die Versuchsdurchführung im Großversuchsstand zu erwartenden Hebungen ermittelt werden.

Das PVC-Rohr DN200 wurde einige Meter länger simuliert als es im Versuchsstand vorhanden, um eine möglichst unbeeinträchtigte Hebung als Ausgangsgröße zu ermitteln. Das FE-Modell ist im Bild 99 dargestellt.

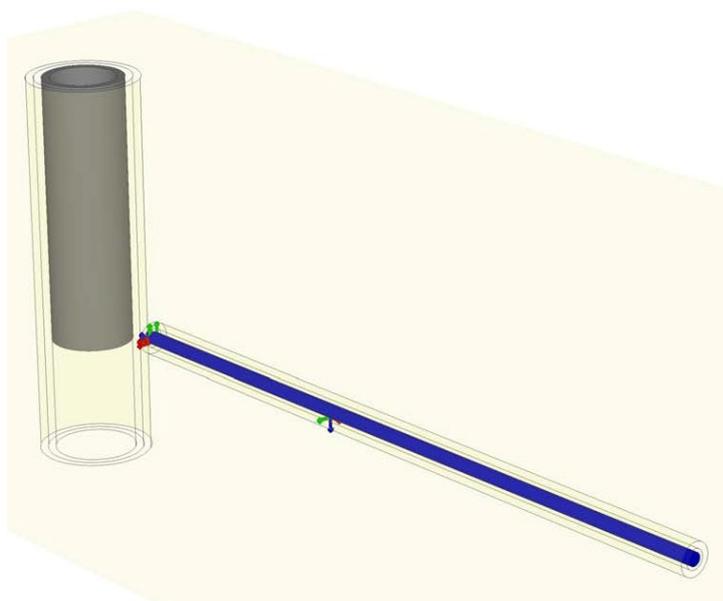


Bild 99 FE-Modell der Großversuche (Auftriebsuntersuchung) [47]

Die Gesamtabmessungen des modellierten Untersuchungsgebiets entsprachen in seinen Abmessungen von 6 m Breite und 15 m Länge sowie 6 m Tiefe den Dimensionen des Versuchsstands. Die Abmessungen wurden ausreichend groß gewählt, um störende Randeinflüsse auszuschließen. Die Modellierung des Schachtes erfolgte mit diskretisierten Volumenelementen mit einer Wanddicke von 10 cm, während das PVC-Rohr als Plattenelement erstellt wurde. Die Wanddicke des DN 200 Rohres wurde zu 4,5 mm gewählt. Der Boden wurde im Rahmen dieser Voruntersuchung zunächst als ideal-elastisches Medium mit konstantem Steifemodul (über die Tiefe) abgebildet, um erste Anhaltswerte für die Größenordnung der anzunehmenden Verformungen zu erhalten. Da es sich beim Auftriebseffekt um eine Entlastung des Bodens handelt, ist der verwendete E-Modul des Bodens als Wiederbelastungsmodul zu verstehen. Für spätere Rechenläufe wurde zur Kalibrierung der Ergebnisse auch eine Variation des E-Moduls sowie eine inkrementelle Zunahme der Steifigkeit über die Tiefe vorgesehen.

Mit Hilfe des FE-Modells wurden für einen ansteigenden Grundwasserspiegel die Hebungen des Schachts und des Rohrs ermittelt. Der Messpunkt des Schachts liegt dabei auf der Mitte der Sohlplatte. Der Messpunkt des Rohres liegt in der Mitte des Rohres im Scheitelpunkt. Zusätzlich wird der E-Modul des Bodens variiert, um für die späteren Messungen im Versuch Anhaltswerte für die zu erwartenden Hebungen zu haben. Bild 100 zeigt die so berechneten Hebungen von Schacht und Rohrleitung.

Grundsätzlich lassen sich die im Rahmen der Simulation beobachteten Hebungen in zwei Größen einteilen. Zunächst der *Auftrieb der einzelnen Komponenten*. Da Schacht und Rohr jeweils gegen Wasser abgedichtet sind, erfahren sie beim Eintauchen in das Wasser einen Auftriebseffekt, der dem Volumen des verdrängten Wassers entspricht. Ist die entsprechende Komponente vollständig eingetaucht, so ist der Auftrieb unabhängig von der Tiefe unter Wasser konstant.

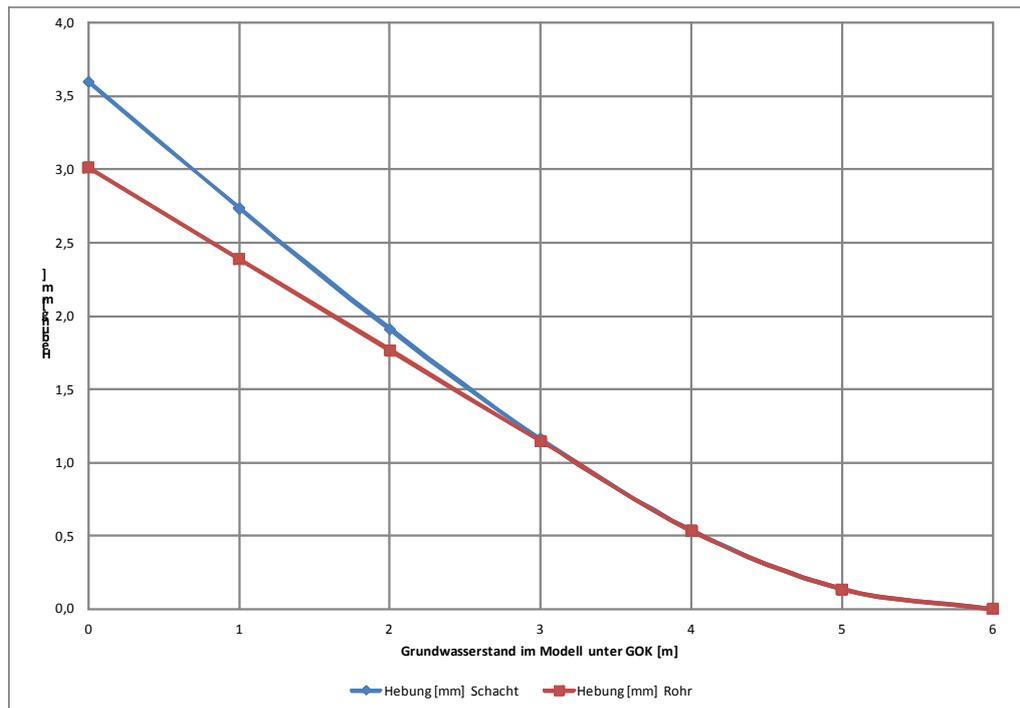


Bild 100 Berechnete Hebungen von Schacht und Rohr [47]

Wesentlichen Einfluss hat aber auch der *Auftrieb des Bodens*. Durch den ansteigenden Wasserspiegel reduzieren sich die effektiven Spannungen im Boden, so dass der Bodenkörper sich entspannen kann und entsprechende Hebungen erzeugt. Dabei werden die im Boden liegenden Komponenten (Schacht und Rohr) ebenfalls mit angehoben bzw. hoch gedrückt. Hierfür ist es unerheblich, ob der Grundwasseranstieg über- oder unterhalb von Schacht und Rohr stattfindet. Zusätzliche Hebungen finden in jedem Fall statt und sind nur abhängig von der Wasserspiegeldifferenz.

Die Gesamthebungen setzen sich somit aus dem Auftrieb des Bodens und der darin liegenden Komponenten zusammen. Die Größe des jeweiligen Anteils an der Hebung ist dabei abhängig von der Wasserspiegeldifferenz, der Lage der Komponenten und deren eigenem Auftrieb.

Bei den Schachtbauwerken konnten im Rahmen der ersten Flutung des Versuchstandes Senkungen von etwa 1,5 mm gemessen werden. Diese sind vermutlich auf das hohe Eigengewicht des Schachtes in Verbindung mit Verdichtungseffekten des Bodens bei Erstsättigung zurückzuführen. Nach der ersten Wassersättigung des gesamten Versuchstandes konnten Hebungen an den Schachtbauwerken beobachtet werden. Diese lagen bei einem Grundwasserstand von 0,5 m unter Geländeoberkante bei etwa 3 mm.

Mit dem oben beschriebenen Druckmesssystem konnten erst bei diesen hohen Grundwasserständen Messwerte ermittelt werden. Überraschenderweise handelte es sich um geringfügige Senkungen der Rohrleitung. Dies lag vermutlich daran, dass die Schachtoberkante als Referenzpunkt für die Messungen diente. Die Gesamtverschie-

bungen an den Schächten waren somit durchaus mit den berechneten Hebungen vergleichbar (vgl. Bild 100).

Es zeigte sich also, dass die Beobachtungen im Rahmen des Warentestes [3] nun durch Berechnungen bestätigt werden konnten. Es kommt durch den Anstieg des Grundwasserspiegels tatsächlich zu nicht unerheblichen Hebungen. Die Berechnungen zeigten jedoch auch, dass auf vergleichbarer Ebene gegründete Bauteile (Schächte und Rohre) infolge eines Grundwasseranstiegs auch vergleichbare Bewegungen vollziehen.

6.4 Weiterführende Berechnungen

Auf der Basis der Beobachtungen in den Großversuchen in Verbindung mit den numerischen Berechnungen lag die Vermutung nahe, dass bei unterschiedlichen Tiefenlagen signifikante Belastungen auf die Rohrleitung wirken können. Zur Verifikation dieser Annahme wurden weitere Berechnungen durchgeführt [47]. Hierzu wurde das FE-Modell derartig modifiziert, dass zwei waagrecht in verschiedenen Tiefen verlaufende Leitungen über eine diagonal verlaufende Leitung verbunden wurden (Bild 101). Diese Konstellation ist häufig bei Hausanschlussleitungen anzutreffen, wenn eine Hausentwässerung an einen tief liegenden Hauptkanal angeschlossen werden muss.

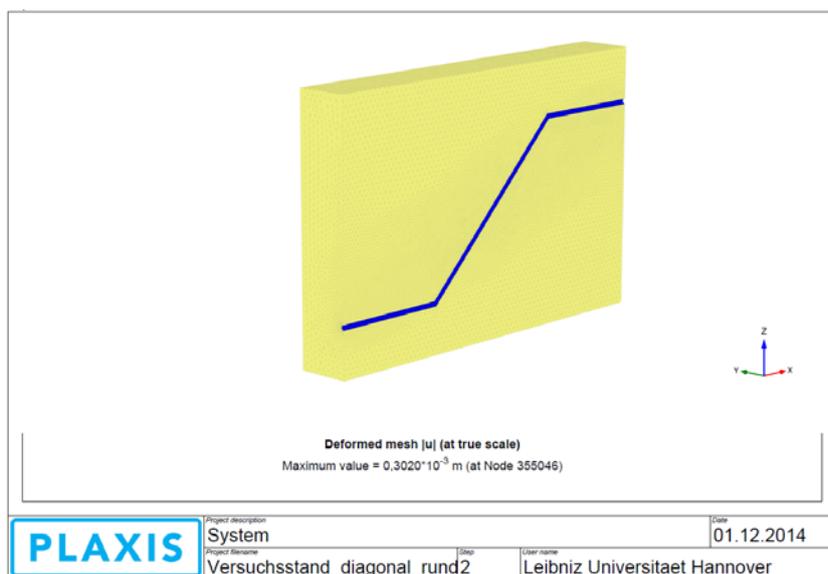


Bild 101 Modifiziertes Modell für Auftriebsberechnungen [47]

Mit diesem Modell wurden nun Berechnungen zum Auftrieb und zu den resultierenden Rohrspannungen durchgeführt. Hierzu wurde der Grundwasserspiegel ausgehend von zwei Metern unterhalb des unteren Rohres zunächst bis auf drei Meter über dem Rohr angehoben. Im Ergebnis traten bei der hier zugrunde gelegten Bodenart (Kies-Sand) Hebungen von etwa 2 mm auf (Bild 102, links). Deutlich sind die infolge der Bodenhebung am unteren Rohrbogen auftretenden Zugspannungen (rot) zu erkennen (Bild 102, rechts).

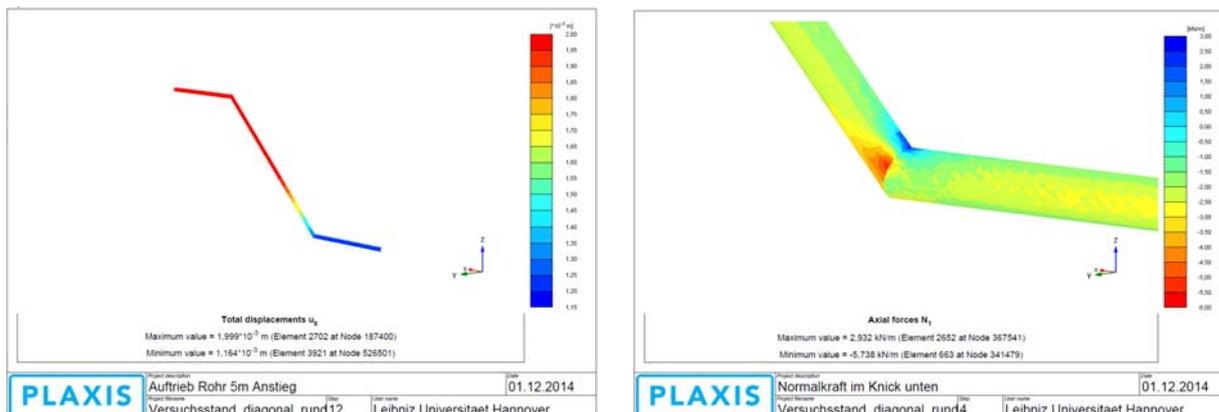


Bild 102 Grundwasseranstieg 5m (von 2m unter bis 3m über das untere Rohr): Auftrieb (links); Normalspannungen im unteren Rohrbogen (rechts) [47]

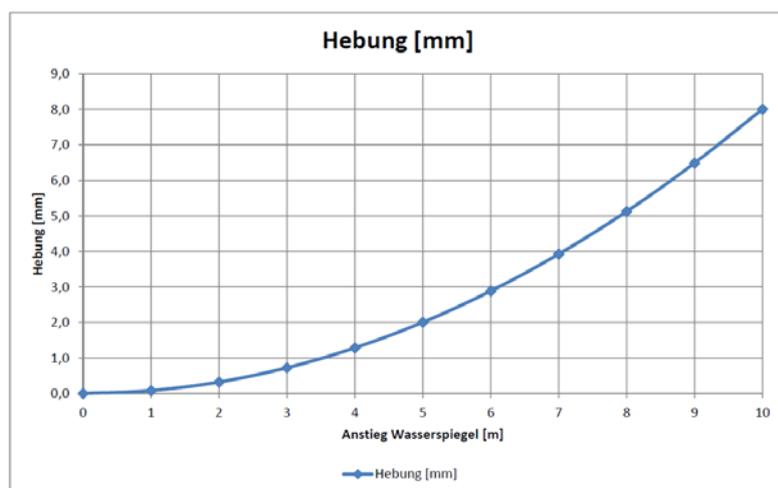


Bild 103 Hebungen infolge GW-Anstieg von 2m unter bis 8m über das untere Rohr [47]

Im Bild 103 sind die resultierenden Hebungen bei weiterem Grundwasseranstieg dargestellt. Durchgeführte Berechnungen aus einem weiteren Forschungsprojekt [51] zeigten, dass diese Auftriebseffekte bei bindigen Böden noch deutlich größer ausfallen können.

6.5 Prüfeempfehlung

Die durchgeführten Großversuche in Verbindung mit den numerischen Berechnungen bestätigten die Beobachtungen aus dem IKT-Warentest zu Hausanschlussliniern [3]. Bereits dort konnte festgestellt werden, dass Hausanschlussleitungen bei GW-Anstieg nennenswerte Beanspruchungen erfahren. Bild 104 zeigt die seinerzeit beobachteten Infiltrationsstellen und die Anzahl der Leckagen bezogen auf die unterschiedlichen Anbieter. Im Rahmen dieser Versuche wurden insbesondere Bögen in vertikaler Richtung und Rohrverbindungen im Verlauf von im normalen Gefälle verlegten Leitungen in der Nähe von Fixpunkten als kritisch identifiziert. Ein besonderer Grund für das Versagen war auch das im Hausanschlussbereich übliche Verkleben des Liners mit dem Altrohr, welches einerseits zu einer Überdehnung des Liners unter Abwinkelung und



Bild 105 Auswinkelversuch bei Gewebeschauchrelining nach DVGW G 478 [48]

Für den vorliegenden Anwendungsfall scheint es nun sinnvoll, Probekörper für die Prüfung zu gewinnen, welche mindestens eine gerade Rohrverbindung und einen 45°-Bogen enthalten. Aus dem in Bild 106 beispielhaft dargestellten Leitungsverlauf mit einem vertikalen Höhenversatz ließen sich so durch Trennschnitte nach einer Schlauchlinersanierung Probekörper für die Prüfung gewinnen. Um auch schwerkraftabhängige Einflüsse (Harzverlauf) zu erfassen, sollten die Proben vertikal in unterschiedlichen Richtungen geprüft werden.

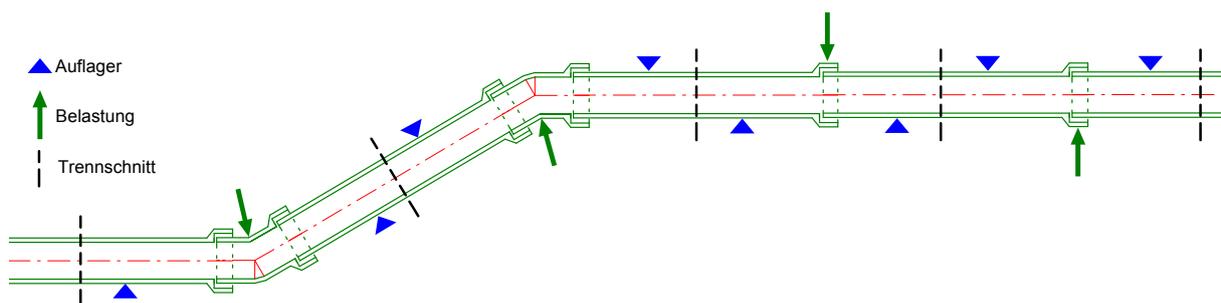


Bild 106 Vorschlag eines Aufbaus für die Prüfung der Auftriebssicherheit von linersanierten Hausanschlussleitungen

Prüfkriterium ist die mögliche Abwinkelung in den Übergängen. Der Grenzwert für die erforderliche Abwinkelung könnte sich dann nennweitenabhängig an Forderungen aus dem Neubau für vergleichbare Rohrverbindungen orientieren.

Der Prüfaufbau betrachtet hierbei allein die Bereiche, die sowohl aufgrund von Warentest-Erfahrungen als auch von Berechnungen als kritisch angesehen werden müssen. Auch der im Grundstücksentwässerungsbereich häufig vorkommende Werkstoffwechsel von Steinzeug auf PVC kann bei diesen Prüfungen berücksichtigt werden. Im Ergebnis stände den Netzbetreibern damit ein Prüfverfahren zur Verfügung, welches die Risiken von Schäden an schlauchlinersanierten Hausanschlüssen im Rahmen einer Fremdwassersanierung mit nachträglich ansteigendem Grundwasserstand minimiert.

Aufgrund der hohen Bedeutung von Grundwasseranstiegen im Zuge von Fremdwassersanierungsmaßnahmen wird dringend die vollständige Ausgestaltung des Prüfverfahrens, d. h. durch Prüfaufbauten, Prüfabläufe, Prüfkriterien und Grenzwerte für die im Hausanschlussbereich eingesetzten Produktgruppen empfohlen.

7 Grundwassernetz „Großversuchsstand“

7.1 Aufgabenstellung und Vorarbeiten

Die Aufgabe bei den Berechnungen zum **Grundwassermodell „Großversuchsstand“** bestand in der Schaffung von Grundlagen für die rechnerische Modellierung der Drainagewirkung von undichten Kanälen, und dabei insbesondere in der Parametrisierung von Schadstellen in Bezug auf deren Größe bzw. Undichtigkeit, um Sanierungsmaßnahmen am Modell besser vorbereiten und evaluieren zu können. Diese vom Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement der Technischen Universität München durchgeführten Untersuchungen (vgl. [49]) werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

Vom Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement wurde in Zusammenarbeit mit dem IKT zunächst eine Messstrategie für den GVS entwickelt. Diese sah vor den Wasserstand im Großversuchsstand in den eingebauten Dränrohren über Tauchsonden zu messen (Bild 107).

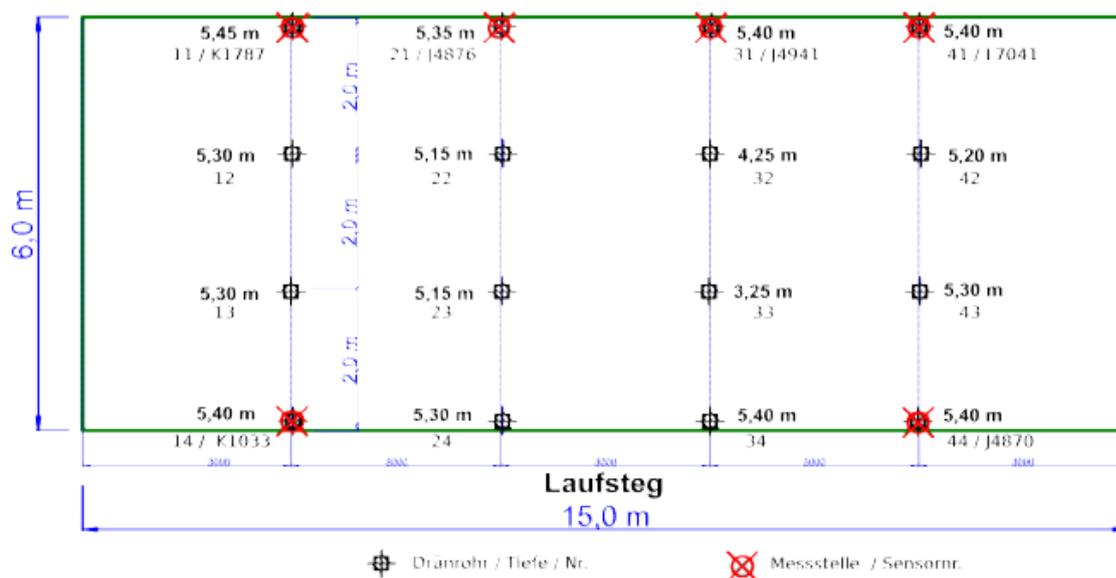


Bild 107 Horizontalschnitt durch den GVS, Lage und Tiefe der Dränrohre sowie Referenznummer der Messstellen mit Identifikationsnummer des eingebauten Sensors

Für den Aufbau des Modellnetzes sind Kenntnisse der Geometrie des Versuchsstands und der Einbauten sowie Informationen über den anstehenden Boden, der bodenhydraulischen Parameter, notwendig. Für die Kalibrierung des Modells werden außerdem weitere Daten benötigt, die durch die Messungen am GVS geliefert werden sollten.

Für die Grobeinstellung der Durchlässigkeitsparameter der Schadstellen in der Simulation anhand des Gesamtwasserandrangs wurden Ausflussmessungen benötigt. Des Weiteren sollte der spezifische Infiltrationsfluss jeder einzelnen Schadstelle bekannt sein, um diese genauer zu kalibrieren und einen Zusammenhang zwischen Schadstel-

lengröße bzw. Geometrie und Infiltration herstellen zu können. Um abschließend die vom Modell berechnete Grundwasseroberfläche zu evaluieren, werden räumliche und zeitkontinuierliche Messungen der Grundwasserstände benötigt.

Für die Messung des Gesamtausflusses wurde eine neben dem GVS gelegene Zisterne als Zwischenspeicher genutzt. Das in den beiden Kanalrohren gesammelte und von dort aus dem Versuchsstand abgepumpte Wasser wird dabei in die Zisterne übergeleitet. Über deren Geometrie und einen sich dort befindlichen Wasserstandssensor konnte der Ausfluss aus dem Versuchsstand kontinuierlich aufgezeichnet und mit den Grundwasserstandssensoren abgeglichen werden (Bild 108).

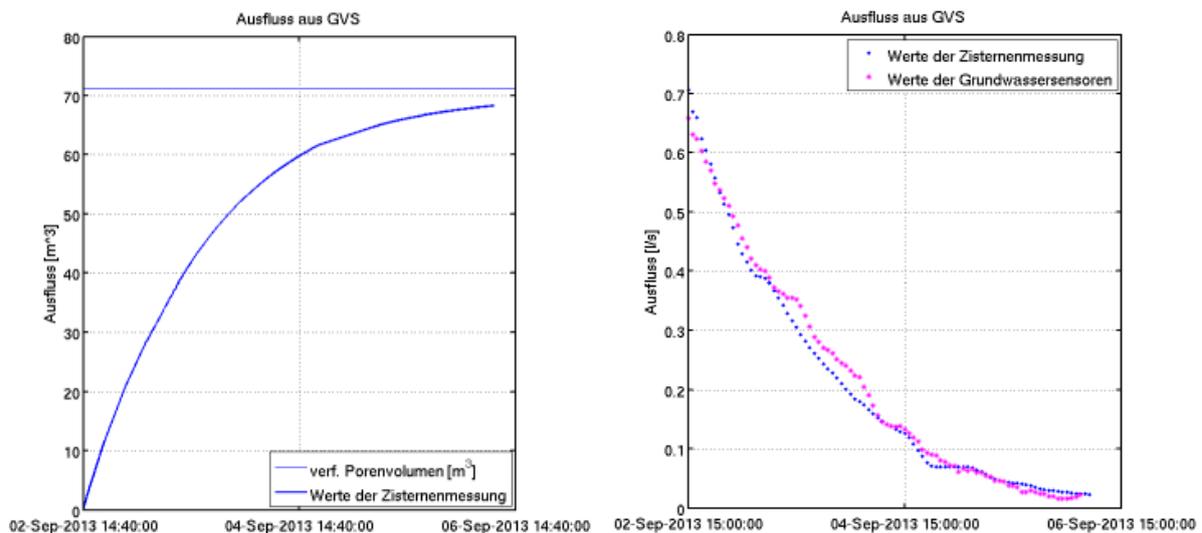


Bild 108 Kumulierter Abfluss aus dem GVS, ermittelt aus den Zisternenmessungen (links); Abfluss in L/s ermittelt aus den Werten der Zisternen- und der Grundwassermessungen (rechts)

Die schadstellenspezifische Infiltration an den Leckstellen wurde mit Hilfe des Video- und Bildmaterials der am IKT durchgeführten Kamerabefahrungen qualitativ abgeschätzt. Diese Evaluation ergab insgesamt 11 Schadstellen. Diese wurden in drei Klassen - kleine, mittlere und große Schadstellen - eingeteilt. Bild 109 zeigt exemplarisch einige Infiltrationsbilder.

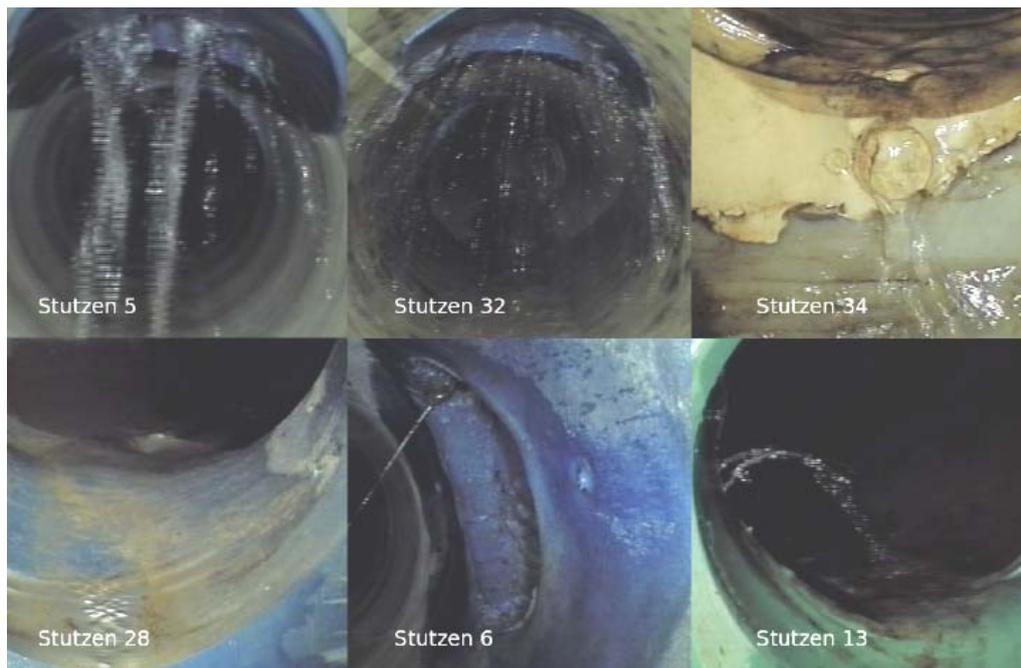


Bild 109 Bilder zur Klassifizierung der Infiltrationsmenge

Aus den Kamerabildern wurde abgeleitet, dass große Schadstellen (Stutzen 5) einen ca. 2-3 mal größeren Wasserandrang haben können als die mittleren Schadstellen (Stutzen 32 und 34). Dies bedeutet, dass Stutzen 5 für ca. 30 bis 40 % des gesamten Ausflusses verantwortlich ist. Wie schon erwähnt, sind diese Annahmen grobe qualitative Abschätzungen, die notwendig waren, da genaue quantitative Messungen der einzelnen Schadstellen nicht zur Verfügung standen. Aufgrund der geringen Infiltrationsmengen der als klein eingestuftten Schadstellen (Stutzen 6, 13 und 28) wurden diese in der Modellierung nicht berücksichtigt, da sie im Modell und anhand der verfügbaren Daten nicht adäquat modellierbar sind.

Die so erhobenen Daten entsprachen dem auch in der Praxis verfügbaren Datenmaterial. Mit Hilfe der gemessenen Gesamtinfiltration und den aus den Grundwassermessstellen interpolierten Grundwassergleichen, sowie den Ergebnissen des numerischen Modells konnten dann die spezifischen Infiltrationsraten validiert und der Zusammenhang zwischen Schadstellengröße bzw. Geometrie und Infiltration hergestellt werden.

Bild 110 zeigt exemplarisch aus den Messdaten interpolierte Grundwasserstände im Horizontalschnitt des GVS. Deutlich zu erkennen ist die Grundwasserabsenkung über einer großen Leckstelle oben links, sowie die durch drei mittelgroße Schadstellen hervorgerufene Absenkung im unteren Bildbereich. Die Höhenlinien zeigen allerdings auch, dass es sich absolut nur um äußerst geringe Absenkungen von wenigen Zentimetern handelt. Damit herrschen trotz Einfluss der Leckagen auf den Grundwasserstand noch immer bautechnisch vergleichbare Bedingungen für sämtliche Stützsaugungen im Versuch.

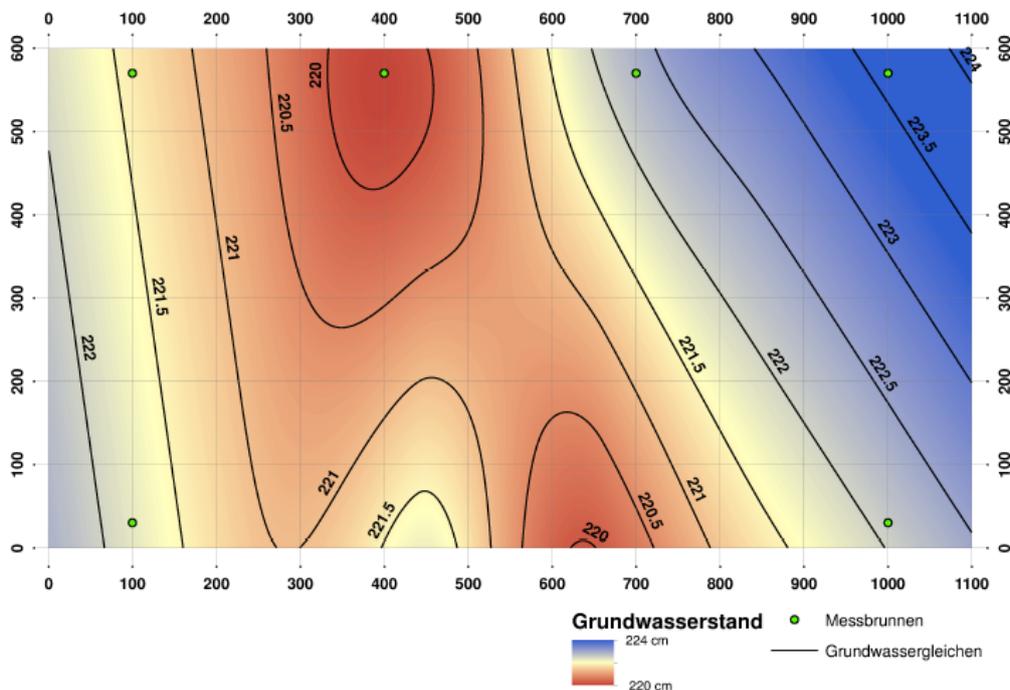


Bild 110 Beispiel der räumlich interpolierten Grundwasserstände während der Grundwassermessungen

7.2 Modellberechnungen

Im Ergebnis aus Abschnitt 7.1 lagen dann die notwendigen Daten zur Modellierung des Versuchsstands in FEFLOW vor. Sowohl die Messungen der Grundwasserstände, die Abflussmessungen über Wasserstandsmessungen in der Zisterne, als auch die qualitative Einteilung der Schadstellengröße über die Bilder der Kamerabefahrungen erwiesen sich als geeignet und gut umsetzbar.

Die Modellrandbedingungen – Anfangswasserstände der Versuchsläufe – konnten den zeitkontinuierlichen Messungen entnommen werden. Die Modellparameter, vornehmlich die bodenhydraulischen Werte des verbauten Kiessandes, konnten aus dem vorliegenden Prüfbericht [50] abgeleitet und mithilfe einer umfassenden Recherche validiert bzw. komplettiert werden. Die konzeptionelle Parametrisierung der Schadstellen über erhöhte Leitfähigkeiten wurde am laufenden Modell im Zuge der Kalibrierung anhand der ermittelten Messungen durchgeführt.

Das entwickelte Modellnetz in FEFLOW ist Bild 111 zu entnehmen. Jegliche Einbauten wie Schächte, Anschlussstutzen und andere Hilfseinbauten im Versuchstand, die nicht rechtwinklig zur anfänglichen Projektionsebene für die Netzgenerierung liegen, wurden vernachlässigt. Auch wurde für die Geometrie der Schadstellen ein vereinfachter Ansatz gewählt. Alle Schadstellen besitzen exakt dieselbe Geometrie und haben bezüglich des Kanalrohrs dieselbe (Scheitel-)Lage. Über die Variation der Leitfähigkeit der Schadstellen konnte die unterschiedliche Infiltration schließlich eingestellt werden.

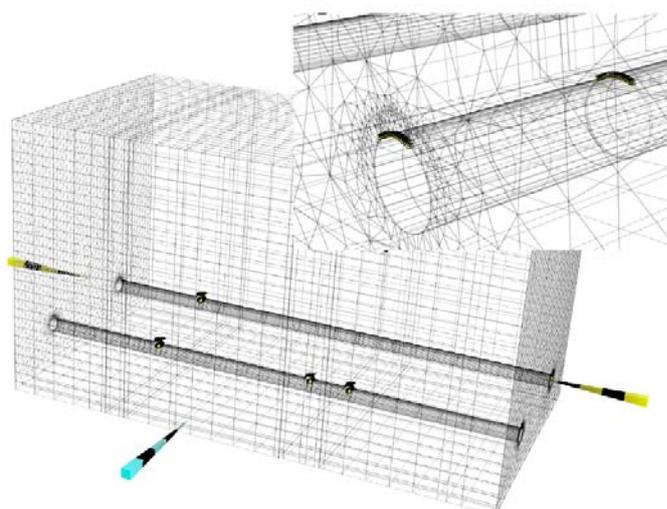


Bild 111 3D Ansicht des GVS-Modellnetzes (Keile: Rotationsachsen) mit den modellierten Schadstellen

Die Bewertung des aufgebauten Modells anhand der Nachrechnungen fällt aufgrund der Ergebnisse grundlegend positiv aus. Trotz der geometrischen Vereinfachungen war es möglich, sowohl den Gesamtabfluss als auch die Variabilität der Schadstellen zu simulieren. Da keine quantitativen Messungen der Flüsse an den einzelnen Schadstellen möglich war, ist die Überprüfung der Güte der Simulationen hinsichtlich der Schadstellengröße nur über die sich einstellenden räumlich verteilten Grundwasserstände/Grundwassergleichen möglich gewesen. Die Ergebnisse zeigen, dass diese qualitativ und quantitativ in der richtigen Größenordnung simuliert wurden.

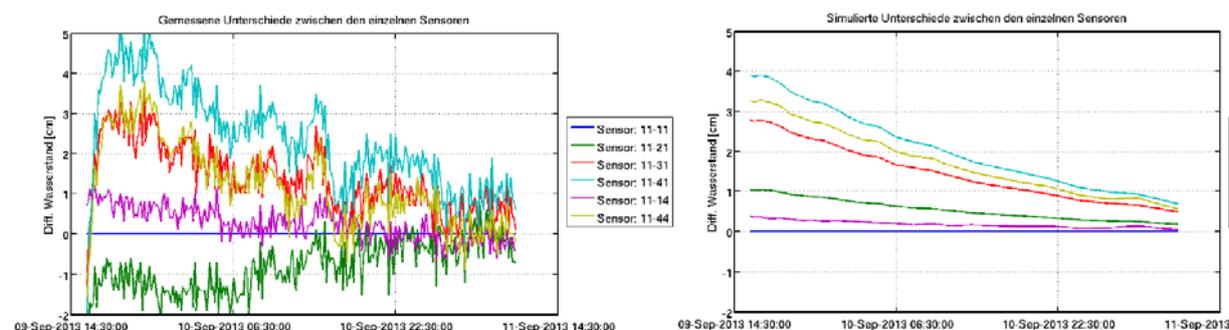


Bild 112 Grundwasserstandsunterschiede an den Messpunkten: Messung (links); Simulation (rechts)

7.3 Parametervariationen und Ausblick

Die durchgeführten Parametervariationen [49] können nicht anhand von Messdaten validiert werden, zeigen jedoch auf, welche Möglichkeiten sich für die Anwendung in heterogenem Gelände bieten. Exemplarisch wurden hier neben dem verbauten Kies-sand Simulationen mit einem Sandboden, einem lehmigen Sand sowie einem sandigem Lehm durchgeführt. Diese Böden haben relativ hohe hydraulische Leitfähigkeiten und kommen deshalb für die Infiltration in schadhafte Abwasserkanäle besonders in Frage. Allerdings werden in der Praxis beim Einbau von Kanalrohren meist entweder

gut verdichtbare Sande oder Kiessande eingesetzt. Deshalb ist insbesondere der simulierte sandige Lehm nur als Anschauungsbeispiel für die Möglichkeiten des Modells zu betrachten. Für undurchlässigere Böden hängt die Infiltration an schadhafte Kanälen stärker von der hydraulischen Leitfähigkeit der Böden selbst ab und weniger von der Geometrie der Schadstellen.

Aufgrund der qualitativen Betrachtungen an den verschiedenen Schadstellen mittels der Kamerabefahrung konnte die Beziehung zwischen Schadstellengröße und Infiltrationsmenge durch die numerische 3-dimensionale Modellierung hergestellt werden. Fremdwasserandrang kann so zukünftig als Funktion der Schadstellen modelliert werden, falls die in der Praxis üblicherweise vorhandenen Daten aus Begehung oder Befahrung undichter Kanäle vorliegen. Damit wurde eines der Kernziele dieser Arbeit erreicht. Durchgehende, detaillierte und hinreichend genaue quantitative Messungen von spezifischen Infiltrationsmengen für jeden Schadstellentyp stehen noch aus.

Die Ergebnisse der Grundwassersimulation lassen folgende Schwerpunkte weiterer Forschungsarbeit erkennen:

- Es ist wünschenswert, genaue quantitative Infiltrationsmessungen an Schadstellen verschiedener Größe vorzunehmen. Damit ist es möglich, von der groben Klassifizierung der Schadstellen, wie sie in dieser Arbeit vorgenommen wurde, zu einer feiner aufgelösten Einteilung zu gelangen und somit auch die Parametrisierung im virtuellen Modell zu verfeinern und bezüglich des Unsicherheitsbereichs zu validieren.
- Ein gezieltes Monitoring an vielfältigen Schadstellen unter gegebenen Randbedingungen kann außerdem dazu genutzt werden, den Zusammenhang zwischen qualitativer Einschätzung aus Kamerabefahrungen und quantitativen Messungen herzustellen. Damit schließt sich die Lücke zur Anwendung in der Praxis, in der gezielte Messungen an einzelnen Schadstellen nicht möglich sind. Dafür ist der Großversuchsstand des IKT besonders geeignet, da hier die Kontrolle und Vorgabe der Randbedingungen, insbesondere der anstehenden Druckhöhe über dem Kanalrohr, möglich ist. Mit diesen Möglichkeiten kann ein Katalog erarbeitet werden, der die visuelle Abschätzung der Infiltration mit der tatsächlichen Infiltrationsmenge und schlussendlich mit der Parametrisierung im numerischen Modell in Beziehung setzt. In den Katalog kann weiterhin der Einfluss der verschiedenen anstehenden Böden einfließen. Hierfür kann insbesondere das numerische Modell mit dessen Möglichkeit der Variation des anstehenden Bodens genutzt werden.
- In den zu erarbeitenden Katalog sollte auch eine genaue Festlegung von Infiltrationsmengen für die Infiltrationsklassen eingehen. Diese sollten auf Überlegungen bezüglich des Einflusses auf das anstehende Grundwasser, die Standsicherheit von Gebäuden im umliegenden Bereich sowie der Fremdwassermengen im Kanalsystem/Kläranlage beruhen.
- Um die Praxisfähigkeit des so erarbeiteten Katalogs zu testen, sollte anschließend ein 3-D Grundwassermodell für einen realen Sanierungsfall in einem Siedlungsgebiet aufgebaut werden. Diese Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojekts

„Kanalabdichtungen - Auswirkungen auf die Reinigungsleistung der Kläranlagen und der Einfluss auf den örtlichen Wasserhaushalt“ [51] schon für einen vertikalen Schnitt als 2 dimensionales Modell geleistet. Die Fallstudie zeigte klar, dass es starke Interaktionen zwischen den unterschiedlichen Abwasserkanälen im Gebiet gibt. Dies hat zur Folge, dass für ein Sanierungskonzept die zeitliche Abfolge der Sanierungsmaßnahmen zu berücksichtigen ist. Die Infiltrationsmenge in die Schadstellen konnte allerdings in der Fallstudie nicht anhand von Messdaten verifiziert werden. Dies stellte auch die Motivation für die hier vorliegende Arbeit dar. Mit einem Katalog zur Parametrisierung von Schadstellen und Infiltrationsmengen anhand von Kamerabefahrungen wäre es nun möglich, mit dem numerischen Modell qualitativ hochwertige Aussagen über die räumliche Grundwassersituation zu treffen. Damit könnten mit dem Grundwassermodell folgende Aufgaben bearbeitet werden:

- Allgemeine Quantifizierung der Auswirkung der Abdichtungsmaßnahmen.
- Szenarienrechnung zur Ermittlung der optimalen wirtschaftlichen Vorgehensweise bei der Sanierung.
- Bemessung der Drainage.
- Räumliche und zeitliche Abfolge der Kanalsanierung in Verbindung mit dem Drainageeinbau.

8 Langzeitverhalten von Verfahren der Fremdwassersanierung

8.1 Veranlassung

Im Rahmen der Durchführung der Versuche des Blocks A (vgl. Abschnitt 3.3) kam es zu unerwarteten Auffälligkeiten an Bauteilen des Versuchsaufbaus. Hier wurden im Großversuchsstand des IKT zwei Haltungen aus Betonrohren mit fehlerhaften Stutzenanschlüssen eingebaut und mit jeweils einem Inliner (GFK und Nadelfilz) saniert. Anschließend wurden die Stutzen mit unterschiedlichen Roboter-Verfahren repariert und einem Außenwasserdruck von 0,2 bar über einen längeren Zeitraum ausgesetzt, um die Fremdwasserdichtheit nachzuweisen. Kurzzeitig wurde der Außenwasserdruck auf 0,45 bar angehoben. Überraschenderweise zeigten sich nicht nur an den sanierten Stutzen, sondern auch in den eingesetzten Bauteilen des Versuchsaufbaus (Schlauchliner) kritische Reaktionen auf die Außenwasserdruckbelastung in Form einer lokalen Einbeulung des eingebauten Nadelfilz-Liners (Bild 113). Dies war besonders überraschend, denn in diesem Fall handelte es sich um ein Bauteil, das nach den a.a.R.d.T. bemessen, ausgewählt und ausgeführt worden war.

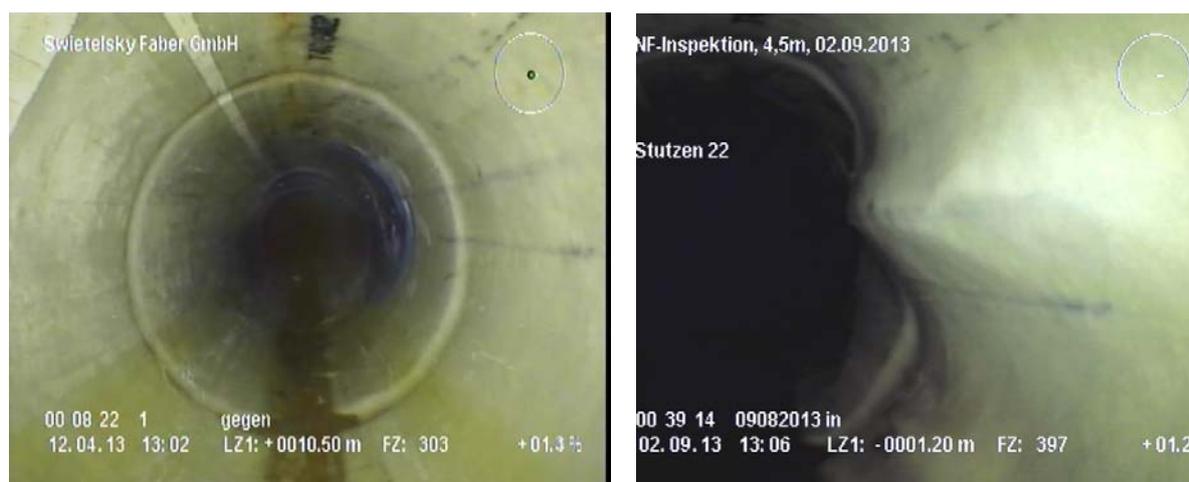


Bild 113 Lokale Einbeulung des Nadelfilz-Liners bei Außenwasserdruck: Ausgangszustand (links); Beule bei 4,5 m Außenwasserdruck (rechts)

8.2 Versuche und Ergebnisse

Im Rahmen eines zusätzlich beauftragten Projektes der Wirtschaftsbetriebe Duisburg zum **Langzeitverhalten von Verfahren der Fremdwassersanierung** (BR Düsseldorf, AZ: 54.7.10.06-5280/14 / Projektkennziffer: 1000037913-14-13) konnten die Schadstelle sowie die intakten Bereiche beider Schlauchliner weiter über einen Zeitraum von zwei Monaten bei einem Wasserstand von 4,5 Metern beobachtet und Veränderungen dokumentiert werden.

Während der Langzeitbelastung durch Außenwasserdruck kam es zu keinen weiteren Auffälligkeiten oder Schäden an den Schlauchlinern. Auch konnten an der bereits

vorhandenen Einbeulung im Nadelfilzliner keine signifikanten Veränderungen festgestellt werden.

Zur Klärung der Ursachen für dieses lokale Einbeulen wurde die Versagensstelle nach Versuchsende durch Freilegen in Augenschein genommen. Festgestellt wurde, dass die Einbeulung direkt an einer Rohrverbindung lag (Bild 114). In diesem Bereich musste der simulierte Muffenspalt in Längsrichtung von etwa 3 cm vom Liner ohne Stützung überbrückt werden. In der direkten Rohrumgebung konnten keine Auffälligkeiten ausgemacht werden.



Bild 114 Rohrabschnitt mit Einbeulung mittig im rechten Kämpfer nach dem Heraussägen

Nach dem Heraussägen des fraglichen Rohrabschnittes zeigte sich, dass es in der Sohle aufgrund von Ablagerungen (Sand) zu lokalen Vorverformungen gekommen war (Bild 115, rechts). Außerdem konnten lokal Ringspalte beobachtet werden (Bild 115, links).



Bild 115 Lokaler Ringspalt gegenüber der Einbeulung (links) und Sandablagerungen (Korndurchmesser 5 mm, rechts), welche ein Aufreißen des Preliners und lokale Deformationen zur Folge hatten

Der Rohrabschnitt wurde in etwa 20 cm lange Scheiben gesägt, um den Ringspalt bzw. die lokalen Deformationen vermessen zu können. Die Vermessung des Ringspal-

tes zwischen Liner und Betonrohr ergab direkt neben dem geschädigten Bereich Werte von etwa 0,5-1,0 mm (Bild 116).



Bild 116 Vermessung der Ringspalte vor und hinter der Einbeulung

Eine Übersicht der gemessenen Werte für den Ringspalt ist Bild 117 zu entnehmen. Die Messpunkte 2V und 5H lagen im Randbereich der Ausbeulung. Im Bereich von den Messpunkten 4H und 5V war die Ausprägung der Beule nach dem Ausbau mit etwa 15 mm am größten (70°). Deutlich sind auch die lokalen Deformationen infolge von Verunreinigungen zwischen Liner und Betonrohr zu erkennen (130° und 180°)

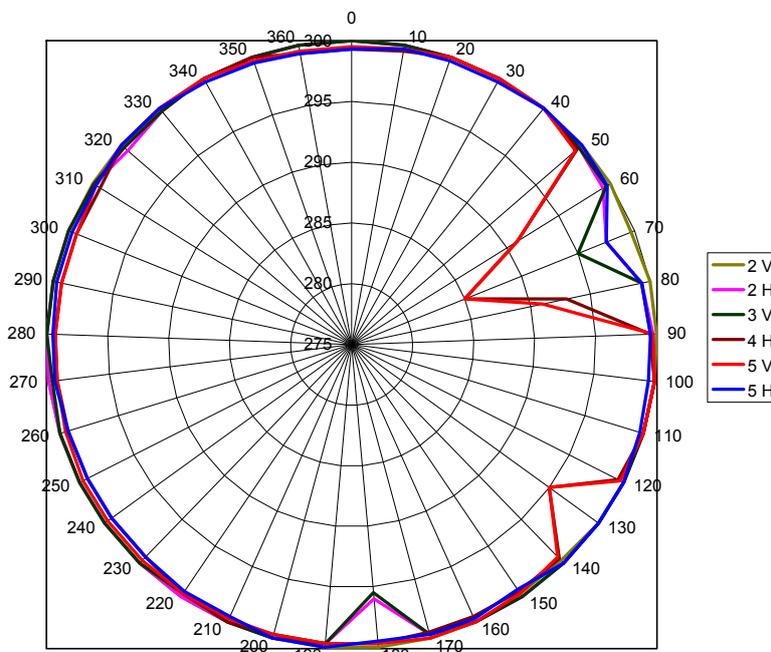


Bild 117 Werte der Ringspaltvermessung

In der im Rahmen der Bauplanung durchgeführten statischen Berechnung wurden neben einem Außenwasserdruck von 0,5 bar auch Ringspalte von 0,8 mm und lokale Deformationen von 3 mm berücksichtigt. Somit liegen die gemessenen Ringspaltweiten durchaus im Rahmen der Vorberechnung. Die lokalen Deformationen von bis zu 5 mm liegen jedoch darüber.

Nach dem Erfassen der Geometrie wurde der Inliner aus dem Betonrohr herausgelöst. Nach dem Herauslösen des Liners aus dem Betonrohr konnte festgestellt werden, dass der Preliner lokal eingerissen war und dort eine Verklebung des Liners mit dem Rohr stattgefunden hatte (Bild 118).



Bild 118 Preliner und davon getrenntes Altrohrstück, Preliner lokal eingerissen und Harz mit Altrohr verklebt

Anschließend wurden die Wanddicken des Liners vermessen und Proben für weitere Untersuchungen genommen. Es wurden 3-Punkt-Biegeversuche zur Bestimmung des E-Moduls und DSC-Analysen zur Beurteilung des Aushärtegrades durchgeführt.

Die Vermessung der Wanddicken ergab im Mittel keine signifikanten Abweichungen vom Sollwert von 5 mm. Jedoch konnte durchaus im Bereich der Einbeulung eine um etwa 0,1 bis 0,2 mm dünnere Linerwandung festgestellt werden.

Für die Ermittlung des E-Moduls wurden direkt neben der Beule über den Rohrumfang verteilt 6 Proben entnommen und geprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 50 dargestellt. Laut Zulassung beträgt der Mindestwert des E-Moduls 2.200 N/mm^2 . Die Messwerte liegen nahe an diesem Sollwert, wobei im Bereich der Ausbeulung (60° und 120°) geringere Werte zu beobachten sind.

Tabelle 50 Im 3-Punkt-Biegeversuch ermittelte E-Moduln des Liners

Position	0°	60°	120°	180°	240	300°
E-Modul [N/mm^2]	2349	1934	2038	2886	2490	2038

Ergänzend wurden DSC-Analysen und Dichtebestimmungen an Proben aus dem Normal- und aus dem Beulenbereich entnommen. Interessanterweise zeigte die DSC-Analyse an den Proben aus dem Beulenbereich diverse Auffälligkeiten, welche auf eine nicht vollständige Aushärtung des Harzes schließen lassen. Diese kann durch einen Mischfehler oder auch durch unzureichende Wärmezufuhr während der Aushärtung entstanden sein. Die Dichtebestimmungen ergaben keine Auffälligkeiten.

8.3 Fazit

Im Rahmen der Großversuche des Forschungsprojektes wurden Inliner in ein vorgeschädigtes Betonrohr eingebaut und anschließend mit einem Außenwasserdruck von 0,45 bar belastet. An einer Stelle des Nadelfilzliners kam es im Kämpferbereich zu einer erheblichen Einbeulung. Die Kombination folgender Einflüsse begünstigte anscheinend das Versagen des Liners:

- Der Umfangsspalt in der Rohrverbindung von ca. 30 mm wurde versuchsbedingt nicht verfüllt. Diesen Bereich musste der Liner ungestützt überbrücken.
- In der Rohrleitung befanden sich noch Sandreste. Vermutlich hierdurch entstanden lokale Deformationen im Liner und zudem riss der Preliner, wodurch es zu einer Verklebung mit dem Betonrohr kam.
- Die Wanddicke des Liners war im Bereich der Einbeulung etwa 0,1 bis 0,2 mm dünner als im Rest des Liners.
- Das E-Modul fiel lokal im Bereich der Beule unter den Sollwert ab.
- Die DSC-Analyse ergab eine nicht vollständige Aushärtung des Liners im Bereich der Einbeulung.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass offensichtlich eine Verknüpfung von zahlreichen Umständen zur Einbeulung des Liners geführt hatte. Hier sind sowohl das Material als auch die Umstände des Einbaus zu nennen. Diese Einschätzung wird auch dadurch unterstützt, dass ansonsten an gleich gearteten Rohrverbindungen keine Schäden erkennbar waren.

Für künftige Baumaßnahmen kann festgehalten werden, dass auf eine ausreichende Reinigung des Altrohres geachtet werden sollte, um lokale Deformationen und Beschädigungen des Preliners zu verhindern. Nicht zuletzt sollten große Längsspalte in den Muffenverbindungen und andere Rohrschäden im Vorfeld einer Linersanierung verschlossen oder überbrückt werden. Darüber hinaus empfiehlt es sich, die Entnahme und das Prüfen von Proben als wesentliches Qualitätssicherungswerkzeug.

Im Rahmen von weiterführenden Untersuchungen sollte der Effekt von Überlagerungen der o.a. Einflussfaktoren auch quantifiziert werden. Solche Berechnungen gäben dann die Möglichkeit einer quantitativen Einschätzung der Standsicherheitsrisiken bei Abweichung von den Vorgaben der statischen Berechnung.

9 Handlungsempfehlungen zur Bauabnahme „Infiltrationsdichtheit“

9.1 Abnahmekriterien

Bereits in der Phase I des Forschungsprojektes wurden Abnahmekriterien für die Infiltrationsdichtheit erarbeitet [2]. Diese werden hier zusammenfassend dargestellt.

Bezüglich des **rechtlichen Hintergrundes der Abnahme** ließ sich mit Blick auf die Aufgabe „Fremdwassersanierung“ und das dafür geforderte Leistungskriterium „Infiltrationsdichtheit“ aus den dargestellten Sachverhalten ableiten, dass im Falle der nicht erreichten „Infiltrationsdichtheit“ eingesetzter Bauteile und Verfahren ein erheblicher Mangel vorliegt, der gegenüber dem Unternehmer entsprechend sanktioniert werden kann. Um einen derartigen Mangel jedoch bei der Abnahme auch mit ausreichender Sicherheit erkennen und beanstanden zu können, bedarf es geeigneter Abnahmeprüfungen. Eine Grundproblematik bei der Abnahme von Werkstoffwechseln und Übergängen liegt in der Bestimmung und Festlegung der dafür geeigneten Prüfverfahren und den zugrunde zu legenden Bewertungskriterien. Zusätzlich erschwert wird die Aufgabe im vorliegenden Fall dadurch, dass es im Zusammenhang mit dem Begriff „Infiltrationsdichtheit“ um die Abnahme einer bisher nicht definierten Leistungsanforderung geht. Für dieses Leistungskriterium existieren bisher keine gesonderten oder speziellen Abnahmekriterien.

Bereits im Rahmen der Ausschreibung und Vergabe sollten die besonderen Anforderungen an die Infiltrationsdichtheit der eingesetzten Bauteile und Verfahren berücksichtigt werden, z.B. durch die Forderung spezieller **Eignungsnachweise** für die Fremdwassersanierung und den Nachweis der auf diese Verfahren abgestimmten **Personalqualifikation**. Darüber hinaus sollten produkt- und verfahrensabhängige **Anforderungen an die Baustellendokumentation** gestellt und deren Einhaltung bei der Abnahme überprüft werden. Ergänzend können labortechnische Materialprüfungen, z.B. an Rückstellproben von Sanierungsmaterialien, durchgeführt werden.

Übliche **Prüfungen bei der Bauabnahme** von Kanalbau- und -sanierungsarbeiten beschränken sich für gewöhnlich auf optische Untersuchungen und Dichtheitsprüfungen vor Ort. Beim Einsatz von Sanierungsmaterialien (z.B. Reaktionsharze), die erst auf der Baustelle durch Aushärtung ihre endgültigen geometrischen sowie mechanischen Eigenschaften erreichen, werden darüber hinaus auch Werkstoffprüfungen durchgeführt. Die vorgenannten Abnahmeprüfungen können für den Schwerpunkt der „Abnahme von Werkstoffwechseln und Übergängen“ durch Abfluss- und Infiltrationsmessungen ergänzt werden.

Im Grundsatz erscheint bei Lage des Prüfabschnittes im Grundwasser die **Infiltrationsprüfung** ggf. im Anschluss an eine **Unterdruckprüfung** als beste Wahl. Bei Über- oder Unterdruckprüfungen bestehen mit Blick auf Werkstoffwechsel und Übergänge, die mit Außenwasserdruck belastet werden, allerdings einige Einschränkungen. So sind die Prüfkriterien für eine Unterdruckprüfung nach Norm bei hohen Grundwasser-

ständen laut DWA A 139 nicht anwendbar. Auch ist z.B. für Schachtanbindungen derzeit keine adäquate Prüftechnik verfügbar, mit der die alleinige Prüfung der Schachtanbindung durchgeführt werden kann. Bei der Prüfung von Stützen liegen darüber hinaus nach Auskunft von Netzbetreibern zwangsläufig Rohrverbindungen im Hauptkanal innerhalb des Prüfabschnittes, die ihrerseits ebenfalls Undichtigkeiten aufweisen können. Im Fall einer nicht bestandenen Prüfung stellt sich somit die Frage, welchem Bauteil die Undichtigkeit zugeordnet werden muss. Hinzu kommt, dass es sich bei den Werkstoffwechseln generell um sehr kleinräumige Bereiche handelt. Aufgrund dessen sind bei **Überdruckprüfungen** mit Wasser nur sehr geringe Wasserzugaben für das Bestehen der Prüfung zulässig, die eine zuverlässige Beurteilung der Prüfung auf der Baustelle ggf. sehr schwierig gestalten. Darüber hinaus stellt sich hinsichtlich der Überdruckprüfung mit Wasser die Frage nach der Höhe des zu wählenden Prüfdrucks.

Ein weiterer Faktor, der bei der Entscheidung für oder gegen eine Dichtheitsprüfung nach Ansicht der Netzbetreiber Berücksichtigung finden sollte, ist das Kosten-Nutzen-Verhältnis. In der Vergangenheit wurde häufig die Erfahrung gemacht, dass gerade bei der Abnahme von Werkstoffwechseln wie beispielsweise sanierten Anschlussstützen die Kosten für eine Dichtheitsprüfung die der eigentlichen Sanierung übersteigen. Nach Auffassung der Netzbetreiber kann dies nicht zielführend sein, so dass mittlerweile derartige Sanierungen z.T. lediglich anhand einer optischen Untersuchung abgenommen werden.

Der **optischen Untersuchung aus dem Kanalinernen** kommt bei Werkstoffwechseln insbesondere mit Blick auf die Funktionsfähigkeit eine bedeutende Rolle zu. Sie reicht jedoch mit Blick auf die Dichtheit nicht immer aus. Je nach eingesetzten Bauteilen sind ergänzende Maßnahmen zu empfehlen, z.B. bei Einbau von Außenmanschetten in offener Bauweise die Sichtprüfung vor der Überschüttung. Bei **Infiltrationsprüfungen** wird der Prüfabschnitt stets optisch auf Wassereintritt untersucht. Hier ist ein geeigneter Zeitpunkt für die Untersuchung zu wählen. Er sollte in den Zeitraum mit maximalem Grundwasserpegel fallen, damit der Werkstoffübergang während der Prüfung auch der maximalen Außenwasserdruck-Belastung ausgesetzt ist.

Bei Reparaturmaßnahmen wird von **labortechnischen Materialprüfungen** aus Kostengründen meist abgesehen. Lediglich im Fall flächendeckender Sanierungsmaßnahmen scheinen zumindest stichprobenhafte Baustellenbeprobungen mit weitergehenden Qualitätssicherungsmaßnahmen vertretbar. Insbesondere bietet sich an, im Zuge der Reparaturmaßnahme vor Ort zusätzliche Probekörper herzustellen bzw. Rückstellproben zu gewinnen, um die Reparaturstelle nicht durch die Qualitätssicherungsmaßnahme selbst unverhältnismäßig schädigen zu müssen.

Für die Abnahme von Werkstoffwechseln auf Infiltrationsdichtheit scheinen **Durchflussmessungen** nur in Sonderfällen geeignet. Für die Abnahme eines einzelnen Bauteils oder einer einzelnen Sanierungsmaßnahme sind derartige Messungen i.d.R. mit zu großem Aufwand verbunden. Darüber hinaus sind Undichtigkeiten mit Fremdwasserzutritten meist auch optisch, z.B. im Rahmen einer TV-Untersuchung, zu erkennen. Allerdings können Durchflussmessungen helfen, die wasserwirtschaftliche

Relevanz des Sanierungsergebnisses für ein komplettes Einzugsgebiet einzuschätzen. Schwerpunkte für genauere Gewährleistungsabnahmen lassen sich ggf. erkennen. In Sonderfällen kann die Durchflussmessung auch die einzige, im Bestand umsetzbare Möglichkeit zur Erfassung möglicher Infiltrationen sein; z.B. wenn die sonst notwendige zeitweise Außerbetriebnahme technisch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht vertretbar ist (z.B. bei Hauptsammler vor der Kläranlage).

Besonders beim Einsatz von Sanierungsverfahren kommt der **Baustellendokumentation** des Auftragnehmers eine wichtige Bedeutung zu, denn die Produkte entstehen für gewöhnlich erst vor Ort auf der Baustelle. Darüber hinaus ist z.B. bei Injektionen über Bohrpacker nach Entfernen der Bohrpacker und Verschließen der Bohrlöcher das Sanierungsergebnis optisch nicht mehr erkennbar. Bei Arbeiten mit Reaktionsharzen oder Mörteln ist die Untergrundvorbereitung für den späteren Verbund und somit die Abdichtung gegen In- und Exfiltration von maßgeblicher Bedeutung. Vor diesem Hintergrund sollten fotografische oder filmische Nachweise über die unterschiedlichen Stadien der Bauausführung eingefordert werden. Dies gilt insbesondere für die Untergrund- bzw. Oberflächenvorbereitung (z.B. Hochdruckreinigung, Fräsarbeiten).

9.2 Ablaufschema

Auf Basis der in Abschnitt 9.1 dargestellten Abnahmekriterien wurde bereits in Phase I des Projektes das in Bild 119 dargestellte Ablaufschema entwickelt. Das dort dargestellte Vorgehen konnte durch die Erfahrungen in Phase II bestätigt werden. Die Auswahl des im Einzelfall sinnvollen Vorgehens orientiert sich dann an der wasserwirtschaftlichen Relevanz der Sanierungsaufgabe sowie dem in diesem Zusammenhang vertretbaren Kosten-Nutzen-Verhältnis der vorgeschlagenen Maßnahmen.

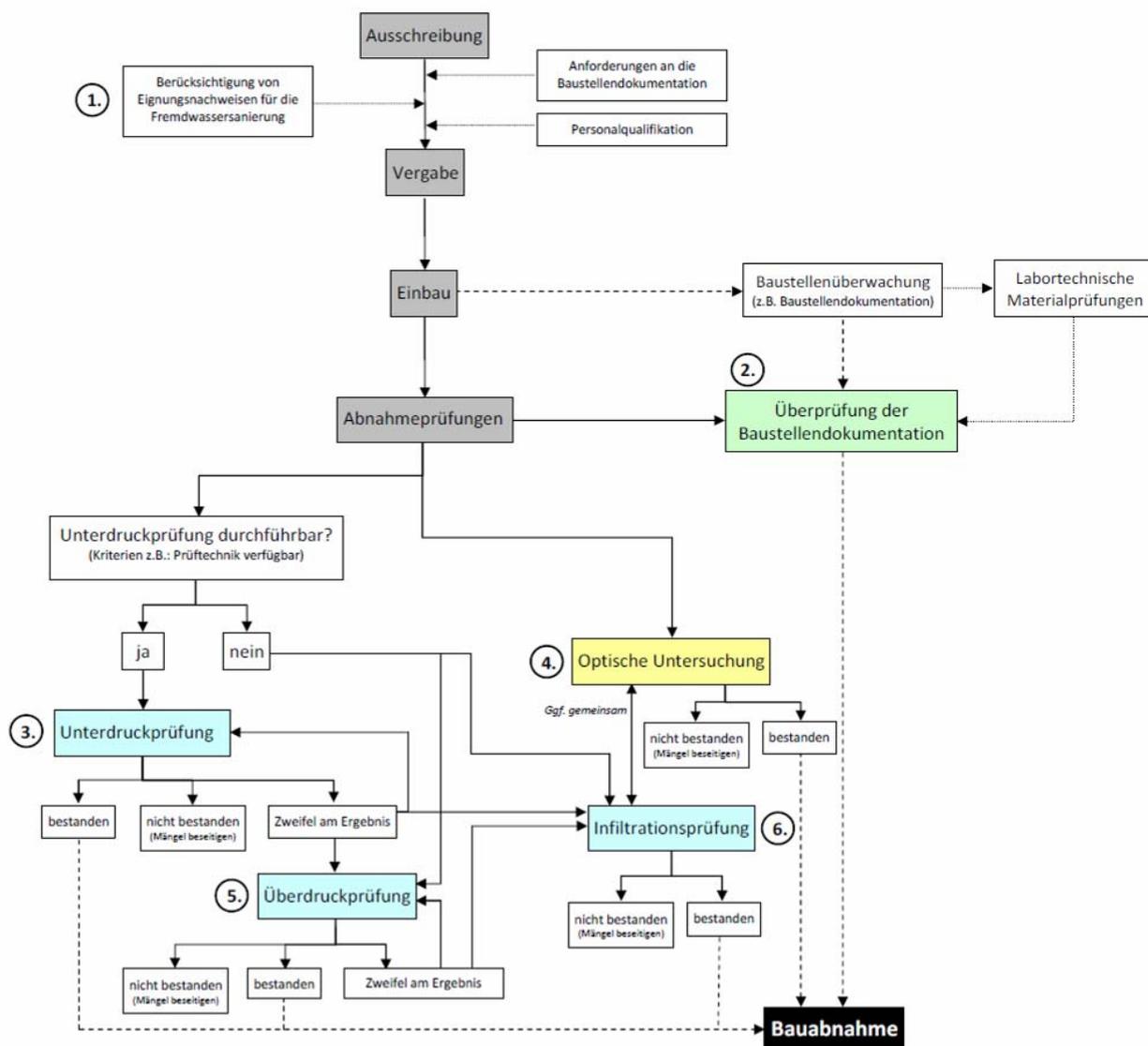


Bild 119 Vorgehensweise: Begleitung und Abnahme der Fremdwassersanierung (schematischer Ablauf)

Im Rahmen der Umsetzung der in Bild 119 dargestellten Vorgehensweise sind noch die mit Ziffern gekennzeichneten technischen Aufgaben zu spezifizieren. Im Einzelnen betrifft dies:

1. Berücksichtigung von Eignungsnachweisen (bei der Vergabe):

Es stellt sich die Frage nach der Art und dem Umfang von Eignungsnachweisen für die Fremdwassersanierung. Die geeigneten Betrachtungsebenen (z.B. 1:1-Versuche, Bauteil-Tests unter realitätsnahen Belastungen, Standard-Bauteil-Prüfungen, Materialprüfungen) sind wirtschaftlich sinnvoll auszuwählen.

2. Überprüfung der Baustellendokumentation:

In der Phase I des Projektes wurden bereits Marktübersichten zusammengestellt, welche für jede Produktgruppe Hinweise zur Baustellendokumentation mit Blick auf die

Gewährleistung von „Infiltrationsdichtheit“ enthielten ([2], Anhang I). Es wurden z.B. Anforderungen an die zu dokumentierenden Einbauzustände (z.B. Oberflächenvorbereitung) gestellt. Diese Anforderungen sollten systematisch weiterentwickelt werden, so z.B. durch einen Anforderungs-Bildkatalog für die unterschiedlichen Bauphasen einer Sanierung (z.B. Rohroberflächen nach dem Fräsen).

3. Unterdruckprüfungen:

Für die Abnahme auf Infiltrationsdichtheit sind ggf. höhere Druckstufen als in DIN EN 1610 [18] zu wählen. Es fehlen derzeit allerdings noch Vorgaben für am Lastfall Außenwasserdruck orientierte Prüfdrücke und Prüfkriterien.

Einige Übergangsbereiche können mit der derzeit verfügbaren Prüftechnik nicht geprüft werden, z.B. Schachtanbindungen. Die Entwicklung geeigneter Prüftechniken ist voranzutreiben.

4. Optische Untersuchungen:

Es wurde bisher nicht systematisch zusammengefasst, auf welche Merkmale, Auffälligkeiten oder typischen Mängel im Rahmen einer optischen Untersuchung bei Werkstoffwechseln und Übergängen zu beachten ist. Insbesondere fehlen Angaben zu akzeptablen Toleranzen. Ein Bildkatalog mit entsprechenden Informationen für die eingesetzten Produktgruppen könnte hier weiterhelfen.

5. Überdruckprüfungen:

Es ist unklar, für welche Bauteile Überdruckprüfungen überhaupt eine Aussagekraft hinsichtlich der Infiltrationsdichtheit haben. Zwar werden in [2], Anhang I auf Basis der Konstruktionsprinzipien Abschätzungen hierzu getroffen, es fehlt allerdings noch die prüftechnische Verifikation.

6. Infiltrationsprüfungen:

Infiltrationsprüfungen werden in den geltenden Regelwerken derzeit nur am Rande erfasst. Für die zuverlässige Anwendung von Infiltrationsprüfungen erscheinen weitergehende Informationen zur Vorbereitung, Durchführung und Auswertung notwendig. Die Infiltrationsprüfung kann auch optisch im Rahmen der Kamerainspektion durchgeführt werden. Wichtig ist hierbei die Wahl des Prüftermins. Dieser sollte mindestens ein halbes Jahr nach der Sanierung liegen und der Grundwasserstand sollte möglichst hoch sein.

Zu einigen dieser technischen Aufgaben sind im folgenden Abschnitt produkt- bzw. verfahrensspezifische Hinweise aufgeführt. Aufgrund der Zusammenhänge zwischen Planung, Ausführung, Prüfung und Abnahme gehen diese Hinweise über die reine Bauabnahme hinaus.

9.3 Produkt- bzw. verfahrensspezifische Empfehlungen

9.3.1 Offene Bauweise

In Abschnitt 5 wurden bautechnische Risiken für Werkstoffwechsel und Übergänge bei der offenen Bauweise zusammengestellt. Hieraus ergaben sich auch einige Kriterien für die Abnahme und begleitende Prüfungen. Die Prüfung des Bauwerks, vor und nach Verfüllung des Rohrgrabens, bei der Bauabnahme und bei der Gewährleistungsabnahme ist aus bautechnischen und rechtlichen Gründen notwendig:

- Bauteile und Einbauhilfsmittel sollten vor und direkt nach dem Einbau aber vor einer Überschüttung einer Sichtprüfung unterzogen werden. Eine Fotodokumentation kann für die spätere Bauabnahme hilfreich sein.
- Die Ergebnisse von Rammsondierungen zur Kontrolle des Verdichtungsgrades, insbesondere der seitlichen Verfüllung, können wichtige Informationen für die Bauabnahme liefern.
- Dichtheitsprüfungen sollten auch nach Verfüllung erfolgen, um Schäden durch nicht fachgerechte Verfüllung und Verdichtung erkennen zu können.
- Die Unterdruckprüfung ist besonders geeignet einen praxisnahen Lastfall für Kanäle im Grundwasser zu simulieren. Die Dichtelemente werden hierbei entsprechend der vorhandenen Belastungsrichtung geprüft. Es fehlen jedoch noch praxisnahe Prüfungsrandbedingungen und Prüfkriterien.
- Grundsätzlich ist die optische Inspektion bei Rohrleitungen im Grundwasser besonders aussagekräftig, da Infiltrationen direkt erkannt werden können. Voraussetzung hierfür ist jedoch ein ausreichend hoher Grundwasserspiegel. Probleme können aufgrund von Reflexionen helle oder auch spiegelnde Rohinnenflächen bereiten.
- Optische Inspektionen sollten möglichst bei hohen Grundwasserspiegeln erfolgen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei der offenen Bauweise häufig der Grundwasserspiegel für die Dauer der Baumaßnahme abgesenkt wird. Eine dann zeitnah durchgeführte optische Inspektion verliert aufgrund des fehlenden Außenwasserdruckes an Aussagekraft. Häufig liegen Kanalbaustellen im Straßenbereich, so dass in enger zeitlicher Abfolge nach der Verfüllung des Rohrgrabens die Straßenoberfläche durch ein weiteres Unternehmen hergestellt wird. Aus Gründen der Beweissicherung wird dann mit der Prüfung nicht gewartet, bis sich wieder die natürliche Grundwasserlage eingestellt hat. Es empfiehlt sich dann eine weitere Prüfung bei hohen Grundwasserständen, um die Infiltrationsdichtheit zu überprüfen.

9.3.2 Schlauchlinersanierungen

Bei einer Linersanierung kann die Qualität auch mit Blick auf die Infiltrationsdichtheit der Leitung durch zahlreiche Prüfungen und Überwachungen vor, während und nach der Sanierung gesichert werden. Hierzu gehören insbesondere die APS-Dichtheitsprüfungen, aber auch die Entnahme und das Prüfen von Proben mit Blick auf die grundsätzlich zu erwartende Werkstoffqualität, z.B. als DSC-Analyse (Aushär-

tegrad des Harzes) und 3-Punkt-Biegeversuch (Ermittlung des E-Moduls). Detaillierte Informationen zur Abnahme von Schlauchlinersanierungen und den einsetzbaren Techniken gibt [52].

Abschnitt 8 zeigt jedoch auch, dass unentdeckte Mängel in der Vorbereitung der Sanierungsmaßnahme dennoch zu Problemen führen können. Folgende Aspekte und Gegenmaßnahmen sind in diesem Zusammenhang besonders zu berücksichtigen:

- Es ist auf eine ausreichende Reinigung des Altrohres zu achten, um lokale Deformationen und Beschädigungen eines gegebenenfalls vorhandenen Preliners zu verhindern.
- Große Längsspalte in den Muffenverbindungen und andere Rohrschäden sollten im Vorfeld einer Linersanierung verschlossen oder anderwärtig überbrückt werden.

9.3.3 Sanierung von Anschlussstutzen

Im Rahmen des Projektes konnten zahlreiche Stutzensanierungen sowohl im Labor als auch vor Ort begleitet werden (vgl. Abschnitt 3). Dabei wurde sowohl die Stutzen-Reparatur im unsanierten Hauptkanal als auch die Stutzen-Einbindung im linersanierten Hauptkanal betrachtet. Es zeigte sich, dass die grabenlose Sanierung von schadhafte Anschlussstutzen mit Verpressverfahren auch bei komplexen Werkstoffkombinationen einen Beitrag zur infiltrationsdichten Fremdwassersanierung leisten kann. Folgende Hinweise zur Verbesserung der Ausführungsqualität und Abnahme konnten aus den Beobachtungen abgeleitet werden:

- Der Anfangszustand gibt einen guten Eindruck des Sanierungsergebnisses. Unter Grundwasserzufluss ist somit eine frühzeitige Abnahme möglich. Die Druckhöhe scheint dabei von untergeordneter Bedeutung zu sein.
- Der Verbund der Stutzen-Sanierung zum Liner kann eine mögliche Schwachstelle bei der Kanalreinigung sein. Bei Nadelfilz-Linern ist ein Lösen der Innenfolie zu empfehlen.
- Optisch auffällige Stutzenreparaturen bergen ein höheres Infiltrationsrisiko als optisch ansprechend ausgeführte Arbeiten.
- Aus den Seitenzuläufen sollte das Sanierungsergebnis „von hinten“ inspiziert werden. So können Ablösungen erkannt werden.
- Ein Kamerasystem mit der Option der Querschnittsvermessung kann zur Quantifizierung von Abflusshindernissen infolge zu dickem Materialauftrag sinnvoll sein.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass etwa 20% der untersuchten Stutzensanierungen Auffälligkeiten in Form von Verfärbungen oder Feuchtigkeit zeigten. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine HD-Reinigung diese „Spuren“ beseitigen kann und demnach die Auffälligkeiten unter Umständen nicht erkannt werden können. Auch wurde im Rahmen der Untersuchungen kein Abwasser durch den Versuchsaufbau geleitet. In situ können jedoch erhebliche Verfärbungen an Rohren, Liner und saniertem Stutzen durch den Betrieb auftreten, welche eine Identifikation der vorgenannten Auffälligkeiten erschweren bzw. unmöglich machen können. Signifikante Undichtigkei-

ten können aber auch dann im Rahmen der optischen Inneninspektion erkannt werden.

9.3.4 Reparatur von Schachtanschlüssen

Die in Abschnitt 4.2 dargestellten Möglichkeiten einer (infiltrationsdichten) Anbindung von Linern unterschiedlicher Materialien (Nadelfilz, GFK und PE-HD) an Schächte aus Beton und Mauerwerk zeigen, dass derzeit für nahezu alle Werkstoffkombinationen Verfahren und Materialien zur Verfügung stehen. Es obliegt an dieser Stelle den zuständigen Netzbetreibern, die Sanierungsstrategie festzulegen und somit auch das Verfahren bzw. Material für eine Lineranbindung auszuwählen.

Der entwickelte Abnahmekatalog (vgl. Abschnitt 4.3) soll mit Blick auf die untersuchten Möglichkeiten zur Lineranbindung Hinweise geben, die Abnahme dieser Maßnahmen mit dem Ziel einer qualitativen Verbesserung, insbesondere durch Fehlervermeidung, sinnvoll zu begleiten. Folgende Aspekte sind hierbei von besonderer Bedeutung:

- Grundsätzlich bietet sich bei Anbindungen im Schacht eine Fotodokumentation vor und nach den Arbeiten zur Unterstützung der Abnahme an.
- Verarbeitungs- oder Einbauhinweise der Hersteller sind zu beachten und die entsprechende Anwendung ist zu dokumentieren (Mischungsverhältnis, Mischzeiten, klimatische Randbedingungen, Haltbarkeitsdatum, Lagerungsbedingungen).
- Insbesondere bei der Verwendung von Harzen zur Verbindung von Liner und Schacht ist die Materialverträglichkeit von Liner, Schachtmaterial, Harz und gegebenenfalls Stopfmörtel oder Injektionsgut zur Abdichtung zu überprüfen.
- Bei Schachtanbindungen bietet sich aufgrund des unproblematischen Zugangs eine Inspektion bei hohen Grundwasserständen an.

9.3.5 Reparatur in Hauptkanälen

Umfangreiche Untersuchungen zu Kurzlinern in [53] zeigten bereits, dass die Ausführung auf der Baustelle und damit auch die Robustheit gegenüber Anwendungsfehlern entscheidend für die Qualität dieser Verfahren ist. Prinzipiell besteht bei allen Reparaturverfahren die Gefahr, dass auf der Baustelle wichtige Arbeitsschritte verkürzt oder eingespart werden, insbesondere hinsichtlich vorbereitender und begleitender Maßnahmen, wie HD-Spülen und Fräsarbeiten, sowie den notwendigen bzw. maximalen Aushärtungszeiten. In welchem Umfang Fräsarbeiten einen nennenswerten Einfluss auf Haftwirkung, Dichtheit, Betriebssicherheit und Dauerhaftigkeit von Kurzlinern haben und damit als notwendige und auszuschreibende Vorarbeit anzusehen sind, wurde detailliert untersucht, mit folgenden Schlussfolgerungen:

- Glasur bei Steinzeugrohren entfernen: Auf glasierten Steinzeugoberflächen wurden die erforderlichen Haftzugfestigkeiten meist unterschritten, während auf unglasierten gefrästen Steinzeugoberflächen sehr hohe Haftzugwerte erreicht werden konnten. Um das Fräsen auch bei der Bauabnahme kontrollieren zu können, sollte die Glasur etwas über den Klebebereich des Kurzliners hinaus abgefräst werden,

- Gründliche Reinigung notwendig, korrodierten Beton abtragen: Fettrückstände können bei Kurzliner-Verfahren nachweislich einen erheblichen Einfluss auf die Haftzugfestigkeit haben und sind daher grundsätzlich durch Reinigung zu entfernen. Eine angemessene Haftzugfestigkeit ist in korrodierten Leitungen nur zu erreichen, wenn der Beton bis auf ungeschädigte Bereiche abgetragen wird.
- Unterschiede in der Robustheit der Verfahren/Produkte: Die Haftzugfestigkeiten der einzelnen Produkte und insbesondere deren Robustheit gegenüber Schwankungen in der Oberflächenvorbereitung zeigten deutliche Unterschiede. Grundsätzlich sind bei gründlicher Reinigung und Oberflächenvorbereitung aber ausreichende Haftzugfestigkeiten zu erwarten.

Grundsätzlich bleibt festzuhalten, dass sich die Qualität eines eingebauten Kurzliners vor Ort entscheidet. Der Einbau erfordert hochwertige Vorarbeiten, wie Fräsen und Reinigen. Bei fehlerfreiem Einbau ist auch mit einem guten Reparaturergebnis zu rechnen. Inwieweit Unterdruckprüfungen zuverlässig eingesetzt werden können, ist noch offen. Weitergehende Abnahmeprüfungen scheinen derzeit zu aufwändig.

9.3.6 Sanierung von Schachtbauwerken

Im Rahmen des Forschungsprojektes [54] wurden bereits Planungshinweise und Empfehlungen bezüglich der Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Sanierung von Schachtbauwerken erarbeitet. Betrachtet wurden hierbei direkte Abdichtungsmaßnahmen durch Injektion und Stopfmörtel, aber auch Schachtbeschichtungsmaßnahmen, welche gerade bei nachträglich steigenden Grundwasserständen einen wesentlichen Beitrag zur Infiltrationsdichtheit leisten. Die Ergebnisse bezüglich der Bauabnahme werden hier kurz dargestellt.

- Abdichtungsmaßnahmen lassen sich aufgrund der Zugänglichkeit im Schachtbauwerk gut kontrollieren. Dies insbesondere dann, wenn bei der Abnahme ein hoher Grundwasserstand vorliegt. Eine intensive Prüfung im Rahmen der Gewährleistungsabnahme ist aufgrund von langfristig auftretenden Leckagen sinnvoll.
- Der Schwerpunkt der Abnahme bei mineralischen Beschichtungen kann bereits bei der eigentlichen Bauabnahme liegen, sofern bereits Grundwasseraußendruck vorliegt. Bei der Gewährleistungsabnahme sollte dann überprüft werden, ob mit einer weiteren Ausdehnung ggf. vorhandener Hohlstellen und Risse gerechnet werden muss.
- Der Schwerpunkt der Abnahme bei polymeren Beschichtungen sollte wenn möglich in der Gewährleistungsabnahme liegen, um langfristige Veränderungen an derartigen Beschichtungen zu berücksichtigen. Die Bauabnahme kann zur Dokumentation des Ist-Zustandes genutzt werden.
- Haftzugprüfungen sind ein wesentlicher Bestandteil der Abnahme von Schachtbeschichtungen. Es zeigte sich, dass insbesondere bei polymeren Beschichtungen ein vollflächiger Verbund bedeutend wichtiger ist als nur bereichsweise hohe Haftzugwerte. Entsprechend sollten auch die Prüfpunkte für die Beschichtungsprüfung

durch eine neutrale und unabhängige Stelle ausgewählt werden, um Interessenkonflikte zu vermeiden.

- Ein umfassendes Sanierungsprotokoll (vgl. [54]) ist Voraussetzung für jede Bauabnahme. Diese Dokumentation sollte bereits bei der Ausschreibung berücksichtigt werden und den gesamten Sanierungsprozess von der Zustandserfassung über Abdichtungsmaßnahmen, Untergrundvorbereitung, Beschichtung und Nachbehandlung bis hin zur Abnahme der Sanierungsmaßnahme umfassen. Festzuhalten sind dann insbesondere Lage und Umfang der zu sanierenden Schäden und die getroffenen Vorbereitungsmaßnahmen im Schachtkörper als Grundlage für eine spätere Schwachstellenkontrolle. Zeitpunkte für die Bau- und Gewährleistungsabnahme können dann verfahrens- bzw. materialabhängig festgelegt werden.

10 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel des in zwei Einzelphasen unterteilten Gesamtvorhabens war es, zuverlässige Prüfverfahren und Bewertungskriterien für die Beurteilung der Infiltrationsdichtheit zu entwickeln, das Leistungskriterium „Infiltrationsdichtheit“ für die in der Praxis relevanten Werkstoffwechsel und Übergänge zu überprüfen und insbesondere durch vergleichende Produkt- und Verfahrenstests die Entwicklung dauerhaft infiltrationsdichter Produkte und Verfahren zur sicheren Fremdwassersanierung zu unterstützen.

Im Rahmen der im März 2011 abgeschlossenen **ersten Projektphase** [2] wurden im Wesentlichen **Abnahmekriterien für die „Infiltrationsdichtheit“** entwickelt und ein aussagekräftiges und praxisnahes Prüfkonzept erarbeitet, um somit die Grundlagen für vergleichende Untersuchungen an Werkstoffwechseln und Übergängen zu schaffen.

Das **Hauptziel** der hier bearbeiteten **Phase II** des Projektes war es nun, durch **vergleichende Untersuchungen an Werkstoffwechseln** neutrale und unabhängige Informationen zu Infiltrationsdichtheit, Einbau- und Betriebsqualität der unterschiedlichen Produkte und Verfahren zur Verfügung zu stellen. Der **Schwerpunkt** lag hierbei auf **Produkten und Verfahren zur Reparatur bzw. Einbindung von Hausanschlussstutzen** sowohl am unsanierten Altrohr als auch nach einer Linersanierung.

Darüber hinaus wurden im Rahmen des Projektes **weitere Ziele** verfolgt, welche vielfältige Aspekte einer Fremdwassersanierung betrachteten. So wurde ausgehend von Baustellenbegleitungen ein **Abnahmekatalog für Schachtanbindungen** renovierter Kanäle zusammengestellt. Darüber hinaus wurden **Grundsätzliche Risiken für Neubau-Bauteile** erfasst, so z.B. mit Blick auf die Einbau- und Bodenbedingungen, das Herstellungsverfahren, die Bauüberwachung, das Rohrmaterial und die Art des Übergangs. Erfahrungen aus der Prüfung vor und nach Verfüllung der Baugrube sowie der Gewährleistungsabnahme wurden dabei berücksichtigt.

Im Rahmen eines in 2010 abgeschlossen Forschungsprojektes war deutlich geworden, dass der Anstieg des Grundwasserspiegels ggf. zu nachteiligen Auftriebseffekten an den linersanierten Hausanschlussleitungen führen kann [3]. Um mögliche **Auftriebsrisiken** besser zu beschreiben, wurden ergänzende Messungen an Leitungen unter Auftrieb im Versuchsmaßstab 1:1 sowie u.a. FEM-Berechnungen durchgeführt.

Außerdem wurde als Basis für künftige Forschungsvorhaben ausgehend von der kontinuierlichen Erfassung von Grundwasserständen im Großversuch ein rechnerisches **Grundwasser-Modellnetz für den IKT-Großversuchsstand** entwickelt.

Der Schwerpunkt des hier bearbeiteten Projektes lag damit auf **vergleichenden Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit von Sanierungsverfahren für Hausanschlussstutzen** (Abschnitt 3).

Im Projektverlauf wurde zunächst der Stand der Technik bei Reparatursystemen zur Sanierung von Hausanschlussstutzen zusammengestellt. Mit dem Projekt-Lenkungskreis wurde ein Untersuchungsprogramm entwickelt und während der Pro-

jektlaufzeit ständig fortgeführt. Es wurden relevante Sanierungsverfahren ausgewählt, Schadensbilder erarbeitet und ein Prüfprogramm entwickelt. Die Großversuche wurden an unsanierten und linersanierten Hauptkanälen durchgeführt und die erbrachten Leistungen der beteiligten Firmen dokumentiert und die erzielten Ergebnisse diskutiert. Auch unter Berücksichtigung von begleiteten Baumaßnahmen wurden ein Bewertungsschema entwickelt und die Sanierungsleistungen beurteilt und benotet. Die Inhalte und Ergebnisse dieses „**IKT-Warentests: Stutzensanierung in Fremdwassergebieten**“ sind in einem separaten Bericht mit übersichtlichen Ergebnistabellen zusammengefasst (s. [6]). Im Gesamtblick wurde deutlich, dass die Sanierung von schadhafte Hausanschlüssen mit Verpressverfahren auch bei komplexen Werkstoffkombinationen erfolgreich zur infiltrationsdichten Fremdwassersanierung beitragen kann, allerdings erhebliche Leistungsunterschiede je nach Sanierungsfirma und eingesetzter Technik zu erwarten sind.

Im Rahmen der Untersuchungen zu **Schachtanbindungen linersanierter Hauptkanäle** (Abschnitt 4) wurden zunächst der Stand der Technik zusammengefasst und das Untersuchungsprogramm mit Details zu den relevanten Verfahrensgruppen und Randbedingungen der begleiteten Baumaßnahmen entwickelt und umgesetzt. Im Ergebnis liegt nun ein aus den In-situ-Beobachtungen abgeleiteter Abnahmekatalog für die Sanierung von Schachtanschlüssen vor. Insbesondere stellte sich heraus, dass schon in der Planung eine passende Werkstoffkombinationen (Systemkonformität) gewählt werden muss. Zudem sollte der Einbau durch eine Vorher-Nachher-Bilddokumentation begleitet werden.

Am Institut für Wasserwesen, Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität der Bundeswehr München wurden **bautechnische Risiken für Werkstoffwechsel und Übergänge** näher betrachtet (Abschnitt 5). Hier wurden u. a. diejenigen grundsätzlichen Risiken für Neubau-Bauteile erfasst, die über die reinen Konstruktionsrisiken des Bauteils hinausgehen. Dabei wurde auch auf die besonderen Erfahrungen bzw. Referenzen aus Arbeiten des Instituts für Wasserwesen, Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik zurückgegriffen. Eine schematische Herangehensweise zur Risikobeurteilung und -bewertung bei der Herstellung von Bauteilen der Kanalisation zur Abschätzung möglicher Schadenseintrittswahrscheinlichkeiten wurde ebenfalls entwickelt.

Die im Rahmen der Untersuchungen zu **Auftriebseffekten an Hausanschlussleitungen** (Abschnitt 6) durchgeführten Messungen im Rahmen von Großversuchen und die ergänzenden Berechnungen mit der Finiten-Element-Methode am Institut für Geotechnik der Leibniz Universität Hannover zeigten reale Risiken für linersanierte Anschlussleitungen unter Auftrieb auf. Es wurde ein möglicher Prüfaufbau entwickelt, welcher die für Auftriebseffekte kritischen Bereiche erfasst. Im Ergebnis steht den Netzbetreibern damit ein Prüfverfahren zur Verfügung, welches die Risiken von Schäden an schlauchlinersanierten Hausanschlüssen im Rahmen einer Fremdwassersanierung mit nachträglich ansteigendem Grundwasserstand minimiert. Aufgrund der hohen Bedeutung von Grundwasseranstiegen im Zuge von Fremdwassersanierungsmaßnahmen wird dringend die vollständige Ausgestaltung des Prüfverfahrens, d. h. durch

Prüfaufbauten, Prüfabläufe, Prüfkriterien und Grenzwerte für die im Hausanschlussbereich eingesetzten Produktgruppen empfohlen.

Im Rahmen von Untersuchungen zum **Grundwassermodell „Großversuchsstand“** (Abschnitt 7) wurde vom Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement der Technischen Universität München zunächst eine Messstrategie für die Grundwasserstände und Infiltrationsmengen im Großversuchsstand entwickelt. Auf Basis der Ermittlung der für die Modellierung notwendigen Randbedingungen und Modellparameter wurde das Modellnetz "Großversuchsstand" unter Verwendung des Programms FEFLOW aufgebaut. Hiermit wurden instationäre Grundwasserstände im Großversuchsstand berechnet und Parametervariationen auch zur Evaluierung der Güte und Anwendbarkeit des Modellnetzes für großskaligere Fragestellungen durchgeführt. Im Ergebnis konnte aufgrund der qualitativen Betrachtungen an den verschiedenen Schadstellen mittels Kamerabefahrung die Beziehung zwischen Schadstellengröße und Infiltrationsmenge durch die numerische 3-dimensionale Modellierung hergestellt werden. Fremdwasserandrang kann so zukünftig als Funktion der Schadstellen modelliert werden, falls die in der Praxis üblicherweise vorhandenen Daten aus Begehung oder Befahrung undichter Kanäle vorliegen. Des Weiteren bestätigten die Berechnungen, dass in den Versuchen nur äußerst geringe Absenkungen von wenigen Zentimetern auftraten. Damit herrschten trotz Einfluss der Leckagen auf den Grundwasserstand noch immer bautechnisch vergleichbare Bedingungen für sämtliche Stützsanierungen im Versuch.

Im Rahmen des zusätzlich beauftragten Projektes zum **Langzeitverhalten von Verfahren der Fremdwassersanierung** konnten erstmalig Erkenntnisse aus 1:1-Versuchen an Schlauchlinern aus GFK und Nadelfilz unter Berücksichtigung von längeren Belastungszeiten gewonnen werden (Abschnitt 8). Es wurde untersucht, inwieweit sich eine bei Kurzzeitbelastung gebildete Einbeulung im Liner sowie Bereiche der Stützsanierungen, aber auch die intakten Zonen der Schlauchliner bei hohen Wasserdrücken über einen Zeitraum von zwei Monaten verändern. Nach Versuchsende wurden die Versagensstellen durch Freilegen in Augenschein genommen und weitere Untersuchungen an Geometrie, Material und Umgebung durchgeführt. Zusammenfassend blieb festzuhalten, dass offensichtlich eine Verknüpfung von zahlreichen ungünstigen Umständen zur Einbeulung des Liners geführt hatte. Hier sind sowohl das Material als auch die Umstände des Einbaus zu nennen. Diese Einschätzung wird auch dadurch unterstützt, dass ansonsten an gleich gearteten Rohrverbindungen keine Schäden erkennbar waren. Im Rahmen von künftigen Untersuchungen sollte der Effekt einer Überlagerung derartiger Einflussfaktoren genauer analysiert werden. Entsprechende Berechnungen gäben dann die Möglichkeit der quantitativen Einschätzung der Standsicherheitsrisiken bei Abweichung von den Vorgaben der statischen Berechnung.

Alle im Rahmen dieses und weiterer Projekte gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Abnahme von Maßnahmen zur Fremdwasserdichtheit wurden in **Handlungsempfehlungen zur Bauabnahme „Infiltrationsdichtheit“** zusammengefasst (Abschnitt 9). Berücksichtigt wurden hierbei die offene Bauweise und Schlauchlinersanierungen

sowie Reparaturen von Anschlussstutzen, Schachtanschlüssen und Hauptkanälen, sowie darüber hinaus die Sanierung von Schachtbauwerken.

Im Gesamtblick aller Untersuchungen lassen sich die folgenden Erkenntnisse als **Fazit für die Praxis** zusammenfassen:

Fremdwassersanierung ist mit marktüblichen Produkten und Verfahren zuverlässig möglich, Bandbreite der Qualität ist allerdings groß

Sowohl die Marktübersicht in Phase I des Projektes als auch die weitergehenden Produkt- und Verfahrensprüfungen in Phase II bestätigen, dass die technischen Möglichkeiten zur vollständigen Abdichtung des Kanalnetzes gegen Außenwasserdruck am Markt verfügbar sind. Dies gilt für Hauptkanäle, Schächte, Hausanschlüsse und deren Verbindungen. Die Bandbreite der technischen Lösungen und der tatsächlichen Ausführungsqualität ist allerdings sehr groß. Es bestehen damit erhebliche Risiken für den Erfolg einer Fremdwassersanierung, wenn qualitativ schlechte Produkte, nicht ausreichend qualifiziertes Personal, mangelhaftes Gerät und Material oder auch unpassende Verfahren eingesetzt werden. Maßnahmen zur Qualitätssicherung müssen hier ansetzen.

Stutzensanierung: Qualität hängt entscheidend vom Einbau ab, weitere Betriebsbelastungen eher unkritisch

Der vergleichende IKT-Warentest von Sanierungsverfahren für Anschlussstutzen zeigte deutlich, dass die Sanierungsleistung maßgeblich von der Qualität des Einbaus abhängt. Zeigten die Sanierungsergebnisse bereits direkt nach Einbau eine gute Qualität, so wurden i.d.R. auch bei erhöhter Grundwasserbelastung oder nach HD-Reinigung keine weiteren Veränderungen mehr beobachtet, die zu Qualitätsmängeln führten. Die Beständigkeit gegenüber den typischen Abwasserbedingungen ist allerdings im Vorfeld, z.B. bei der DIBt-Zulassung der Verfahren, nachzuweisen.

Stutzensanierung: Roboterverfahren sind technisch anspruchsvoll und fehleranfällig, Profis können damit aber umgehen

Beim Einsatz der Roboterverfahren kam es in vielen Fällen aufgrund technischer Schwierigkeiten zu ungeplanten Verzögerungen. Die meisten Probleme konnten aber von den professionell agierenden Dienstleistern direkt vor Ort gelöst werden. Das Know-How der Operateure hat damit nicht nur wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Sanierung, sondern auch auf die Dauer der gesamten Maßnahme.

Stutzen-Einbindung: Entfernen der Innenfolie an Linern ratsam

Materialabtrag an Stutzen-Einbindungen durch HD-Kanalreinigung trat insbesondere dann auf, wenn das Linersystem mit Innenfolie installiert worden war und diese im Vorfeld der Stutzen-Einbindung nicht entfernt wurde. Zur Verbesserung der Haftwirkung sollte stets eine entsprechende Oberflächenvorbereitung, z. B. Anfräsen oder Anschleifen, vorgesehen werden.

Schachtanschlüsse: Systemabstimmung von großer Bedeutung

Bei der Ausführung von Schachtanschlüssen kommt der passenden Produkt- bzw. Werkstoffkombination schon in der Planung eine große Bedeutung zu. Im Rahmen der Ausführung sollte der Zustand vor und nach der Sanierung dokumentiert werden. Für

die Abnahme kann dann auch der im Rahmen des Projektes entwickelte Abnahmekatalog mit Checkliste genutzt werden.

Abnahme unter Grundwasserwirkung am zuverlässigsten, Alternativen noch unklar bzw. sehr aufwändig

Die Abnahme gegenüber der Leistungsanforderung Infiltrationsdichtheit stellt sich in der Praxis dann als schwierig dar, wenn zum Abnahmezeitpunkt (noch) kein Außenwasserdruck wirkt. Während unter Außenwasserdruck-Belastung in der Regel eine optische Inspektion ausreicht, um die Infiltrationsdichtheit nachzuweisen, scheinen ohne diese Belastung grundsätzlich nur zwei Wege mit vertretbarem Aufwand sinnvoll: Erstens die Unterdruck-Prüfung, hier fehlen allerdings derzeit noch entsprechende Prüfkriterien. Zweitens die detaillierte Baubegleitung des Herstellungsprozesses vor Ort für grundsätzlich bereits als geeignet (für die Fremdwassersanierung) nachgewiesene Produkte und Verfahren.

Wechselnde Grundwasserstände mit Auftrieb fordern Abwinkelbarkeit im Gesamtsystem

Die 1:1-Versuche und ergänzenden Berechnungen zeigen, dass Auftriebseffekte bei geraden Anschlussleitungen i.d.R. vernachlässigbar sind. Vorsicht ist jedoch bei Fixpunkten und größeren Höhenversätzen geboten. Hier ist im Gesamtsystem an den kritischen Punkten auf eine entsprechende Abwinkelbarkeit zu achten. Prüfungen zur Abwinkelbarkeit von sanierten Systemen sowie Auftriebsberechnungen können weitere Sicherheit bieten.

Großversuche geben Orientierung und Sicherheit: Unerwartetes erwarten!

Die Großversuche gestatten die Simulation der vollständigen bautechnischen Verhältnisse im Maßstab 1:1. Damit werden die eingesetzten Produkte labortechnisch nicht allein den bereits bekannten Belastungsszenarien ausgesetzt, sondern auch relevante Beanspruchungen erkannt und berücksichtigt, für die bisher noch keine Beschreibungsansätze und Normanforderungen existieren. Im vorliegenden Fall betraf dies insbesondere Beanspruchungen aus wechselnden Grundwasserständen. Bestätigt wurden dabei Qualitätseinflüsse, die bisher in der Planung nicht berücksichtigt werden, hier Auftrieb. Deren Auswirkungen lassen sich dann so eingrenzen und beschreiben, dass auch entsprechende Qualitätssicherungsmaßnahmen definiert werden können (Prüfungen unter Abwinkelung).

Bild-/Videoreferenzkatalog für Infiltrationsschäden gefragt: Kalibrierung jetzt in Großversuchen möglich

Die zu erwartende Infiltrationsmenge an Schadstellen im Kanalnetz ist die wesentliche Datengrundlage zur Simulation von Grundwasserständen in urbanen Räumen. Allerdings liegen diese Daten bisher nicht in allgemeiner Form vor und lassen sich aus den Inspektionsdaten auch kaum ableiten. Hier kann eine zuverlässige Bild-/Videoreferenz zur Bewertung von Infiltrationsschäden weiterhelfen, die in Laborversuchen anhand von Messdaten kalibriert wird. Mit dem IKT-Großversuchsstand steht nun erstmals eine im 1:1-Versuch messtechnisch und anhand von Berechnungen kalibrierte Versuchseinrichtung zur Verfügung, um diese Datengrundlage zu schaffen. Künftige Vorhaben sollten hier ansetzen.

11 Literatur

- [1] Berger, C.; Falk, C.: Umfrage zum Zustand der Kanalisation in Deutschland, Ergebnisse der DWA-Umfrage, Hennef, 2009.
- [2] Bosseler, B.; Färber, D.; Graw, S.: Endbericht zum Forschungsvorhaben „Entwicklungsunterstützende Untersuchung zur „Infiltrationsdichtheit“ bei Werkstoffwechseln bzw. Übergängen insbesondere im Zusammenhang mit der Fremdwassersanierung. Phase I: Abnahmekriterien und Prüfprogramm. Im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2011.
- [3] Bosseler, B.; Redmann, A.; Bennerscheidt, C.; Färber, D.: Endbericht zum „IKT-Warentest Hausanschluss-Liner“; im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2010.
- [4] Innovationsprogramm Abwasser des Landes NRW. Förderbereich 6. Januar 2012.
- [5] Ergebnispräsentation zum Forschungsvorhaben „Infiltrationsdichtheit an Werkstoffwechseln und Übergängen, Phase I“; Protokoll der Ergebnispräsentation zum Forschungsvorhaben, IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, 21.02.2011.
- [6] Ulutaş, S., Liebscher, M. et al.: IKT-Warentest „Stutzensanierung in Fremdwassergebieten“. Ergänzungsbericht zum Forschungsvorhaben „Entwicklungsunterstützende Untersuchung zur „Infiltrationsdichtheit“ bei Werkstoffwechseln bzw. Übergängen insbesondere im Zusammenhang mit der Fremdwassersanierung, Phase II. Im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2014.
- [7] Verordnung zur Selbstüberwachung von Abwasseranlagen (Selbstüberwachungsverordnung Abwasser – SÜwVO Abw), 2013.
- [8] DWA-M 143-1 (2004): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 1: Grundlagen. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.; Hennef, August 2004.
- [9] DIN EN 752: 2008-04: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden; DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin; Beuth Verlag GmbH.
- [10] RSV-Merkblatt 5 (2005): Sanierung von Entwässerungsleitungen und –kanälen durch Roboterverfahren. RSV – Rohrleitungssanierungsverband e.V., Lingen, Januar 2004.
- [11] DWA-M 143-16 (2006): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 16: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Roboterverfahren. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.; Hennef, Dezember 2006.
- [12] Bildquelle: www.ibg-hydro-tech.de, eingesehen am 24. Juni 2013.
- [13] Bildquelle: KA-TE PMO AG. Juni 2013.

- [14] DIN 4093 (2012): Bemessung von verfestigten Bodenkörpern – Hergestellt mit Düsenstrahl-, Deep-Mixing- oder Injektions-Verfahren. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Beuth Verlag; Berlin, August 2012.
- [15] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING) Teil 3: Massivbau. BASt (Bundesanstalt für Straßenwesen) 04/2010.
- [16] ATV-DVWK-M 143-8 (2004): Sanierung und Erneuerung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 8: Injektionsverfahren zur Abdichtung von Abwasserleitungen und -kanälen. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.; Hennef, August 2004.
- [17] DWA-A 139 (2009): Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen; DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.; Hennef, Dezember 2009.
- [18] DIN EN 1610: 1997-10: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen; DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin; Beuth Verlag GmbH.
- [19] ATV-DVWK-M 143-7 (2003): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 7: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Kurzliner und Innenmanschetten. ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.; Hennef, April 2003.
- [20] DWA-M 143-3 (2005): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 3: Schlauchliningverfahren (vor Ort härtendes Schlauchlining) für Abwasserleitungen und -kanäle. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.; Hennef, November 2005.
- [21] ATV-DVWK-M 143-11 (2004): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 11: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren ohne Ringraum (Close-Fit-Lining). ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.; Hennef, August 2004.
- [22] Stein, D: Instandhaltung von Kanalisationen. 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 1999.
- [23] ATV-DVWK-M 143-4 (2004): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 4: Montageverfahren für begehbare Abwasserleitungen und -kanäle und Bauwerke. ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.; Hennef, August 2004.
- [24] ECOCANAL GmbH: Technisches Datenblatt 03/07 EPOXONIC® EX 1824 RAPID Schalungsharz; http://www.ecocanal.de/EX_1824_rapid-Kombiniertes_DB_19-3-07.pdf; 21.10.2014
- [25] ECOCANAL GmbH: Technisches Datenblatt EPOXONIC® EX 1355 Muffenspachtel; <http://www.ecocanal.de/DBEX1355n.pdf>; 21.10.2014
- [26] ECOCANAL GmbH: Technisches Datenblatt EPOXONIC® EX 1013 Kanal-spachtel; http://www.kate.de/fileadmin/content/pdf/DE/Datenblaetter_de/Materialdatenblatt_Epoxonic_EX1013_deutsch.pdf; 21.10.2014
- [27] MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG, Protection Technologies – Fachbereich ombran: ombran Produktsysteme 2013/2014; Technisches Merkblatt Konudur Robopox 10, Seite 184f.

- [28] Aarsleff Rohrsanierung GmbH: Technisches Merkblatt Schacht- und Bauwerksanierung mit GfK; <http://www.aarsleff-gmbh.de/produkte/schacht-sanierung.html>; 01.12.2014.
- [29] NEIS Kunststoffbeschichtungstechnik GmbH: Vortrag NBT-DEIV Inlineranbindung – Verfahrensanweisung; www.netinform.net/GW/files/pdf/DEIV_Verfahrensanweisung.pdf; 01.12.2014.
- [30] Trelleborg Pipe Seals Duisburg GmbH: Technisches Merkblatt Drain Liner End Seal - Verhindert Infiltration zwischen Liner und Rohr; <http://www.trelleborg.com/de/Epros/Produkte/DRAIN-Liner-End-Seal/>; 01.12.2014.
- [31] Uhrig Kanaltechnik GmbH: Einbauanleitung Linerendmanschette; http://www.quick-lock.de/images/downloads/quick-lock-lem/deutsch/einbauanleitung_linerendmanschette.pdf; 04.12.2014.
- [32] Schacht+Trumme W: Schwarz GmbH: Einfach, aber absolut wirkungsvoll – der PEHD-Stutzen STÜPE; <http://schacht-trumme.de/produkte/pehd-schachtauskleidungen-pehd-stutzen-stuepe-und-stuepe-h.html>; 01.12.2014.
- [33] Günthert, F.W.; Faltermaier, S.: Allgemeine bautechnische Risiken für Werkstoffwechsel und Übergänge. Endbericht. Im Auftrag der IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH, 12/2014.
- [34] Fischer, B. u. Günthert, F. W.: Inspektions- und Sanierungsstrategien für nicht-öffentliche Grundstücksentwässerungsanlagen. 2009.
- [35] Cvaci, D.: Zustandserfassung und Bewertung von Grundstücksentwässerungsanlagen unter Einbeziehung einer optimierten organisatorischen Vorgehensweise. Mitteilungen des Instituts für Wasserwesen, H. 103. Aachen: Shaker 2009.
- [36] Loy, H.: Vorgaben und Anforderungen an die Überprüfung von Grundstücksentwässerungsanlagen. 2. Münchner Runde. München 2004.
- [37] Dornbusch, J.: Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Pilotprojekt Dichtheitsprüfung und Sanierung von Grundstücksentwässerungsleitungen auf Chemischreinigungsgrundstücken. 1. Teil. 2001.
- [38] Schlüter, M.; Bosseler, B.: Drainagewasser von Privatgrundstücken. Umweltgerecht Sammeln und Ableiten. Pilotprojekt der Stadt Billerbeck, 2006. <https://www.ikt.de/down.php?f=14>, abgerufen am: 04.03.2014.
- [39] Thoma, R.; Goetz, D.: Zustand von Grundstücksentwässerungsanlagen. KA (2008) 2 S. 116–130.
- [40] Deutscher Vergabe- und Vertragsausschuss für Bauleistungen: Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen. 2012.
- [41] Güteschutz Kanalbau: Technische Regeln im Kanalbau. Verzeichnis der einschlägigen Normen und Richtlinien (2014).
- [42] Günthert, F. W., Narr, N. u. Reicherter, E.: Beiträge zum Bau von Abwasserleitungen. Zeitaufwand, Kosten und Verlegeverfahren. Mitteilungen des Instituts für Wasserwesen, Bd. 77. München: Oldenbourg-Industrieverl. 2001.
- [43] Güteschutz Kanalbau: Leitfaden für die Eigenüberwachung. AK Kanalbau in offener Bauweise (2011).
- [44] Köhler, R.: Tiefbauarbeiten für Rohrleitungen. Köln: Müller 1997.
- [45] DWA (Hrsg.): DWA-M 159. Kriterien zur Materialauswahl für Abwasserleitungen und -kanäle. Hennef: DWA 2005.

- [46] DWA (Hrsg.): DWA-A 139. Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen. Hennef: DWA 2009.
- [47] Achmus, M.; Klameth, M.: Numerische Simulation der Verformung von Abwasserleitungen und -anschlüssen durch variierende Grundwasserstände. Endbericht. Institut für Geotechnik (IGtH) der Leibniz Universität Hannover, 12/2014.
- [48] DVGW G 478 „Sanierung von Gasrohrleitungen durch Gewebeschauchrelining – Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung“. 08/1998.
- [49] Disse, M.; Kasperek, A.; Keilholz, P.: Grundwasser-Modellnetz „Großversuchsstand. Endbericht. Lehrstuhl für Hydrologie und Flussgebietsmanagement der Technischen Universität München. Im Auftrag der IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH, 06/2014.
- [50] Scherbeck, R.; Baese, R.: Untersuchungen an einem Kies-Sand-Gemisch. Deutsche Montan Technologie, 1999. Unveröffentlicht.
- [51] Bosseler, B.; Brüggemann, T.; et al.: Kanalabdichtungen – Auswirkungen auf die Reinigungsleistung der Kläranlagen und der Einfluss auf den örtlichen Wasserhaushalt; Abschlussbericht; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur in Kooperation mit Pirker + Pfeiffer Ingenieure GmbH & Co. KG, Ruhr-Universität Bochum und Universität der Bundeswehr München; im Auftrag des Umweltbundesamtes, November 2014 (unveröffentlicht).
- [52] Bosseler, B.; Sokoll, O.; Diburg, B.; Beck, S.: Abnahme von Liningmaßnahmen - Materialnachweise und Bewertung der Liningqualität - Endbericht des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW), März 2009.
- [53] Bosseler, B.; Harting, K.; Färber, D.; Gillar, M.: Endbericht zur: „Vergleichenden Prüfung der Qualität von Reparaturverfahren für Hauptkanäle - Projekterweiterung“. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen, 2011..
- [54] Liebscher, M.; Gillar, M.: Sanierung von Abwasserschächten – Untersuchung von Materialien und Systemen zur Abdichtung und Beschichtung. Endbericht des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW), April 2011.