

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

### - Phase I: Abnahmekriterien und Prüfprogramm - Langfassung



AZ: I-2-ZV-08/058. 4 – Einzelauftrag 6 (IV-7-042 600 004 F)

Färber, D.  
Gelsenkirchen, März 2011



**Einzelauftrag:**

Forschungsvorhaben „Entwicklungsunterstützende Untersuchung zur 'Infiltrationsdichtheit' bei Werkstoffwechseln bzw. Übergängen insbesondere im Zusammenhang mit der Fremdwassersanierung“ – Phase I

**Projektbezeichnung:**

Phase I: Entwicklung von Abnahmekriterien für Infiltrationsdichtheit und Erstellung eines Prüfprogramms für vergleichende Untersuchungen an Werkstoffwechseln bzw. Übergängen

AZ: I-2-ZV-08/058.4 (IV-7-042 600 004 F)

**Auftraggeber:**



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

**Auftragnehmer:**



IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH  
Exterbruch 1  
45886 Gelsenkirchen

**Wissenschaftliche Leitung:**

PD Dr.-Ing. Bert Bosseler

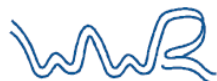
**Projektleitung und -bearbeitung:**

Dipl.-Ing. Daniela Färber  
Dipl.-Ing. (FH) Susann Graw

**Weitere  
Projektbeteiligte:**



Prof. Dr.-Ing. Frank Wolfgang Günthert  
Institut für Wasserwesen, Siedlungswasserwirtschaft  
und Abfalltechnik  
Universität der Bundeswehr München  
Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Sascha Rödel  
(zu Kapitel 2 und Anlage III)



Prof. Dr.-Ing. Markus Disse  
Institut für Wasserwirtschaft und Ressourcenschutz  
Universität der Bundeswehr München  
Projektbearbeiter: M. Eng. Patrick Keilholz  
(zu Kapitel 5.5 und Anlage II)

## Danksagung:

Wir danken den nachfolgend aufgeführten Mitgliedern des Kommunalen Netzwerks Grundstücksentwässerung (KomNetGEW) für die fachliche Begleitung des Projektes:

Stadt Bad Lippspringe; Stadt Bergheim; Stadt Bochum; Stadt Borken; Stadt Bottrop; EUV Stadtbetrieb Castrop-Rauxel; AWW Coesfeld; Stadt Datteln; Stadt Dortmund; Abwasserwerk der Stadt Dülmen; Stadt Enningerloh; Abwasserbetrieb der Stadt Erkrath; Stadt Fröndenberg/Ruhr; Stadtentwässerung Hagen SEH AöR; Eigenbetrieb Stadtentwässerung Haltern am See; Stadt Hamm Tiefbau- und Grünflächenamt; Stadt Mettmann; Gemeindewerke MuchEntsorgungsbetrieb; Stadt Plettenberg; Schwalmthalwerke AöR; Abwasserbetrieb der Stadt Straelen; Gemeinde Swistal; Abwasserbetrieb der Stadt Telgte; Kommunalbetrieb Voerde (KBV); Städtischer Abwasserbetrieb Wermelskirchen; Stadt Würselen; Stadtentwässerung, Kanalisation.

Wir danken insbesondere den folgenden Fachleuten für die zahlreichen Anregungen aus Sicht der Netzbetreiber, das Einbringen besonderer Praxiserfahrungen und die abschließende fachliche Ausrichtung der weiteren Vorgehensweise im Rahmen der Ergebnispräsentation:

Dencker, Jörg (Aggerverband Gummersbach); Esch, Bernd (Stadtwerke Troisdorf GmbH); Fiedler, Manfred (Göttinger Entsorgungsbetriebe); Gawlig, Jens (Niederrheinische Versorgung und Verkehr AG (NVV)); Greverath, Jürgen (Abwasserbetrieb der Stadt Willich); Große, Willi (Stadt Hemer); Heims, Mario (Stadtwerke Troisdorf GmbH); Hein, Rainer (Abwasserbetriebes der Stadt Billerbeck); Imping, Ralph (Stadt Dinslaken); Koch, Dirk (InfraStruktur Neuss AöR); Reiche, Ralf (Abwasserbetrieb der Stadt Willich); Reiche, Klaus (Abwasserbetrieb der Stadt Willich); Restemeyer, Frank (Stadt Gladbeck); Schenk, Juliane (Göttinger Entsorgungsbetriebe); Schmitz, Karl-Heinz (Stadt Kempen); Schuir, Alexander (Stadtentwässerung Düsseldorf); Sestig, Dieter (Stadt Kleve); van Kempen, Werner (Stadt Kempen); Westendorf, Jörg (Schwalmtalwerke AöR).

## Bildnachweis für die Titelseite:

1. Reihe links: Übergang von Rohr zu Rohr (Foto: IKT)  
Mitte: Anbindung eines Stutzens aus Kunststoff an ein Betonrohr (Foto: IKT)  
rechts: Schachttanschlussmuffe in einem Betonschacht (Foto: Frank GmbH)
2. Reihe links: Kurzliner in einem Betonrohr (Foto: IKT)  
Mitte: Stutzensanierung mit Injektion (Foto: IKT)  
rechts: Einbindung eines Closefit-Liners (Foto: IKT)

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
<b>1 VERANLASSUNG UND ZIELSTELLUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>2 AUSGANGSSITUATION.....</b>	<b>4</b>
2.1 Fremdwasser – Ursachen und Folgen.....	4
2.2 Modellansätze für die Nachbildung von Fremdwasserinfiltration.....	5
<b>3 WERKSTOFFWECHSEL IN DER KANALISATION.....</b>	<b>5</b>
3.1 Wirkungsweisen gegenüber Infiltration.....	5
3.1.1 Kompression von Dichtmaterial.....	5
3.1.2 Adhäsionsschlüssiger Verbund.....	5
3.2 Werkstoffwechsel beim Neubau von Kanalhaltungen.....	5
3.2.1 Übergeordnete Regelwerke.....	5
3.2.2 Werkstoffwechsel innerhalb von Haltungen.....	5
3.2.3 Werkstoffwechsel im Bereich seitlicher Anschlüsse.....	5
3.2.4 Werkstoffwechsel bei Schacht- und Sonderbauwerksanschlüssen.....	5
3.3 Werkstoffwechsel durch den Einsatz von Sanierungsverfahren.....	5
3.3.1 Überblick.....	5
3.3.2 Werkstoffwechsel innerhalb von Haltungen.....	5
3.3.3 Werkstoffwechsel im Bereich seitlicher Anschlüsse.....	5
3.3.4 Werkstoffwechsel bei Schacht- und Sonderbauwerksanschlüssen.....	5
<b>4 LABORVERSUCHE ZUR INFILTRATIONSDICHTHEIT.....</b>	<b>5</b>
4.1 Exemplarische Belastung von Neubauprodukten mit Außenwasserdruck.....	5
4.2 Laständerung an Schachtanbindungen infolge Sanierung.....	5
4.2.1 Problemstellung.....	5
4.2.2 Probekörper.....	5
4.2.3 Gewichtsermittlung für Injektionskörper.....	5
4.2.4 Volumen der Injektionskörper.....	5
4.2.5 Ergebnisse.....	5
4.3 Anbindung von Schlauchlinern an Schächte.....	5
4.3.1 Versuchsaufbau und -durchführung.....	5
4.3.2 Anbindungen mit Quellband.....	5
4.3.3 Anbindungen mit Mörtel.....	5
4.3.4 Anbindungen mit Epoxidharz.....	5
4.3.5 Anbindungen mit Handlaminat.....	5
4.3.6 Anbindungen mit Kurzliner.....	5
4.3.7 Zusammenfassung.....	5

4.4 Sanierung von Rohranbindungen an Schachtbauwerke .....	5
4.5 Laborversuche mit quellfähigem Dichtmaterial .....	5
<b>5 ABNAHMEKRITERIEN .....</b>	<b>5</b>
5.1 Rechtlicher Hintergrund der Abnahme .....	5
5.2 Eignungsprüfungen und Personalqualifikation .....	5
5.3 Abnahmeprüfungen und -vorgehen .....	5
5.3.1 Dichtheitsprüfungen vor Ort .....	5
5.3.2 Optische Untersuchungen .....	5
5.3.3 Labortechnische Materialprüfungen .....	5
5.3.4 Durchflussmessungen .....	5
5.3.5 Dokumentationspflichten der Auftragnehmer .....	5
5.4 Schlussfolgerungen für die Abnahme von Werkstoffwechseln .....	5
5.5 Modellrechnungen zum Infiltrationsvermögen undichter Kanäle .....	5
<b>6 MARKTÜBERSICHTEN ZU WERKSTOFFWECHSELN UND -ÜBERGÄNGEN.....</b>	<b>5</b>
<b>7 KONZEPT FÜR PHASE II.....</b>	<b>5</b>
7.1 Abstimmung mit den beteiligten Netzbetreibern .....	5
7.2 Identifizierter Untersuchungsbedarf .....	5
7.2.1 Sanierung seitlicher Anschlüsse - Reparatur von Anschlussstutzen .....	5
7.2.2 Sanierung von Schacht- und Sonderbauwerksanschlüssen.....	5
7.2.3 Neubauprodukte für Übergänge innerhalb von Haltungen .....	5
7.3 Untersuchungsziele und -schwerpunkte .....	5
<b>8 FAZIT.....</b>	<b>5</b>
<b>9 LITERATUR .....</b>	<b>5</b>

## ANHÄNGE

ANHANG I: Marktübersicht „Werkstoffwechsel und Übergänge“

ANHANG II: Bericht des Instituts für Wasserwirtschaft und Ressourcenschutz

ANHANG III: Bericht des Instituts für Wasserwesen, Siedlungswasserwirtschaft und Abfall-  
technik

## 1 Veranlassung und Zielstellung

Im bevölkerungsreichsten Bundesland Nordrhein-Westfalen haben sich speziell in den Ballungsräumen aufgrund von Industrialisierung, Wirtschaftswachstum und Zerstörung durch kriegerische Einwirkungen starke Unterschiede in der Ausprägung der Infrastrukturen ergeben. Auch die Kanalisation in Nordrhein-Westfalen ist hiervon beeinflusst und weist eine große Bandbreite hinsichtlich Alter, Zustand und Rohrwerkstoff auf. Bedingt durch die Wahl des Rohrwerkstoffes sind im Laufe der Zeit sowohl beim Ersatz, Anschluss und Umschluss von Rohrleitungen als auch bei der Renovierung an vielen Punkten eines Kanalnetzes deutliche Schnittstellen, Werkstoffwechsel bzw. Übergänge entstanden. Es ist davon auszugehen, dass sich auch zukünftig durch die Sanierung des Altrohrbestandes oder durch den An- bzw. Umschluss von Rohrleitungen weitere Werkstoffwechsel und Übergänge nicht vermeiden lassen.

Gerade mit Blick auf die **Fremdwassersanierung** durch die Kanalnetzbetreiber gewinnen jedoch die vollständige Dichtheit des Netzes und die Qualität der Schnittstellenlösung an Bedeutung. Obwohl es zahlreiche Verfahren und Komponenten für die Verbindung von Rohren und deren Anschluss an Schächte am Markt gibt und die Anwendung und Ausführung der Verbindungstechniken in zahlreichen Regelwerken festgelegt ist, treten in der Praxis immer noch Undichtigkeiten verursacht durch Lageabweichungen, Risse, Verformungen und Abwinkelungen auf. Dies ist vermutlich in erster Linie auf den Einsatz ungeeigneter Verbindungssysteme und -techniken sowie eine nicht fachgerechte Ausführung der Rohrverbindungen, der Schachtanschlüsse bzw. der Anbindungen von Linern zurückzuführen.

Der Erfolg einer Fremdwassersanierung ist in hohem Maße mit den folgenden bautechnischen Risiken verbunden:

- Typische **Schwachstellen bei der Abdichtung der Netze** finden sich insbesondere beim Werkstoffwechsel. Sie treten nicht nur an Rohrverbindungen auf, sondern insbesondere auch an Übergängen/Verklebungen zwischen Altröhren und Sanierungswerkstoff bzw. Anschlüssen und Schachteinbindungen (vgl. [1, 2, 3, 4]). Darüber hinaus ist zu hinterfragen, inwieweit z.B. bei Reparaturverfahren, die naturgemäß stets mit häufigen Werkstoffwechseln bzw. Verklebungen verbunden sind, überhaupt eine ausreichende und dauerhafte Infiltrationsdichtheit erwartet werden kann (vgl. [5]) und ob diese Verfahren daher überhaupt für diesen Einsatzfall geeignet sind.
- Heutige **Abnahmeprüfungen** orientieren sich allein an der Innendruckprüfung. Diese kann jedoch zu Fehleinschätzungen über die vermeintliche Infiltrationsdichtheit des Netzes führen, wenn z.B. die Dichtsysteme gegenüber Innen- und Außendruck unterschiedlich reagieren, der anstehende Außenwasserdruck den Austritt der Prüfflüssigkeit verringert oder spätere Umläufigkeiten durch den abgesperrten Bereich gar nicht erfasst werden (z.B. Schlauchlinerringraum und Schachteinbindungen).
- **Undichtigkeiten haben bei Infiltration größere mengenmäßige Auswirkungen** als bei Exfiltration. Insbesondere hängt bei einer Undichtigkeit der Wasserein- bzw. austritt wesentlich vom Druck ab. Der äußere Grundwasserdruck wird den Innendruck bei Freispiegelabfluss meist um ein Vielfaches übersteigen.

Vor diesem Hintergrund ist es Ziel des Gesamtvorhabens,

- zuverlässige Prüfverfahren und Bewertungskriterien für die Beurteilung der Infiltrationsdichtheit zu entwickeln und
- 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.

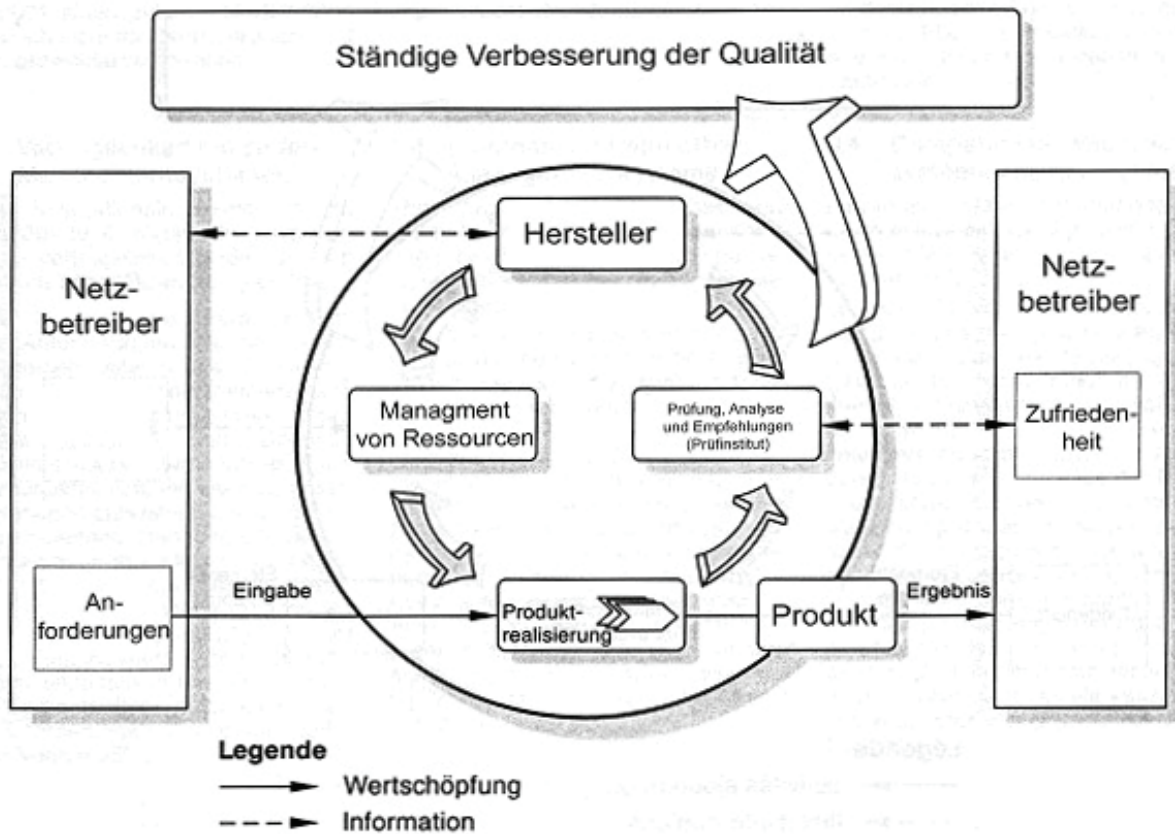
Dieses Gesamtziel wird in einem zweistufigen Vorgehen erreicht. **Ziel der Phase I** dieses Projektes ist es, **Abnahmekriterien für die „Infiltrationsdichtheit“** zu entwickeln und ein **aussagekräftiges und praxisnahes Prüfprogramm** für vergleichende Untersuchungen an Werkstoffwechseln und Übergängen mit dem Schwerpunkt Infiltrationsdichtheit aufzustellen. Die Ergebnisse aus Phase I sind im vorliegenden Bericht dargestellt.

Ziel der **Phase II** ist es, mit Hilfe des in Phase I entwickelten Prüfprogramms durch **vergleichende Untersuchungen an Verbindungssystemen** neutrale und unabhängige Informationen zur Infiltrationsdichtheit, Einbau- und Betriebsqualität der unterschiedlichen Produkte und Verfahren zur Verfügung zu stellen. Ein übergeordneter Aspekt bei diesen Untersuchungen ist die Vergleichbarkeit der Prüfungen durch die Wahl gleichbleibender Randbedingungen im Versuch. Ein wesentlicher Schwerpunkt der Untersuchung soll die Infiltrationsdichtheit von Werkstoffwechseln und Übergängen sein. Es sind großtechnische Versuche im Maßstab 1:1 geplant.

Mit den Ergebnissen des Tests sollen den Netzbetreibern **neutrale und unabhängige Informationen zur Einbauqualität und Betriebsqualität** der unterschiedlichen Produkte und Verfahren zur Verfügung stehen, auf deren Basis zuverlässigere Entscheidungen für Investitionen in Fremdwassergebieten getroffen werden können.

Darüber hinaus wird durch die in Phase I festgelegten Qualitätsanforderungen und durch die vergleichenden Ergebnisse aus Phase II ein entsprechender Marktdruck aufgebaut. Wollen die Hersteller am Markt konkurrenzfähig bleiben, sind sie nach Abschluss der Untersuchungen in erhöhtem Maße gezwungen, ihre Produkte entsprechend den Anforderungen der Netzbetreiber weiter zu verbessern oder auch zielgerichtet neue Produkte zu entwickeln. Hierdurch entsteht ein „Kreislauf der Produktverbesserung“, mit einer ständigen Qualitätsverbesserung der Verbindungssysteme (vgl. Abb. 1).





**Abb. 1:** Modell eines prozessorientierten Qualitätsverbesserungssystems (basierend auf DIN EN ISO 9001 [6])

## 2 Ausgangssituation

Durch das Institut für Wasserwesen, Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität der Bundeswehr München wurden die in der Literatur verfügbaren Arbeiten zu den Themenschwerpunkten Fremdwasser, Materialauswahl, Exfiltration und Infiltration analysiert. Die Ergebnisse sind vollständig in Anhang III dargestellt. Die Aufgabenstellung des Forschungsvorhabens steht in engem Bezug zu diesen Erkenntnissen. Die Ursachen für Fremdwasseraufkommen sowie wesentliche Modellansätze für die Nachbildung von Fremdwasserinfiltration werden nachfolgend beschrieben.

### 2.1 Fremdwasser – Ursachen und Folgen

Unter dem Begriff „Fremdwasser“ wird gemeinhin unerwünscht in die Kanalisation eindringendes Grund-, Oberflächen- oder Niederschlagswasser verstanden. Es gelangt über Undichtigkeiten, Fehlschlüsse und Fehleinleitungen oder sonstige Einleitungen in die Kanalisation [7]. Eine detaillierte Übersicht über die Quellen von Fremdwasser in Misch- und Trennsystemen wurde von HENNERKES [7] erstellt und ist in Tabelle 1 dargestellt. Fremdwasser, das über das Grundwasser in die Kanalisation eingespeist wird, wird dort als **grundwasserinduziertes** Fremdwasser bezeichnet, durch Niederschlag direkt verursachtes Fremdwasser hingegen als **niederschlagsinduziertes** Fremdwasser.

**Tabelle 1: Fremdwasserquellen in Entwässerungssystemen, nach Hennerkes [7]**

Quellen des Fremdwassers		beeinflusst durch (...)	Fremdwasserquellen im (...)		
			Mischsystem	Trennsystem	
				SW-Kanal	RW-Kanal
Undichtigkeiten	kommunale Abwasserkanäle und Schachtbauwerke	Grundwasser	X	X	X
	Hausanschlüsse und Hausanschlussleitungen und Grundstücksentwässerungsleitungen	Grundwasser	X	X	X
Fehlschlüsse und Fehleinleitungen	Drainagen (Grundstücke, Baustellen, landwirtschaftliche Flächen, unter Abwasserkanälen verlegte Drainagen)	Niederschlag Grundwasser	X	X	
	Durch die Öffnungen von Schachtdeckeln zufließendes Oberflächenwasser Überläufe vom Regenwasser- in den Schmutzwasserkanal Dach- und Straßenabläufe an den Endpunkten der Schmutzwasserkanäle	Niederschlag		X	
	Wegeseitengräben, Siefen und Außengebiete, unbefestigte Flächen	Niederschlag	X	X	X
	Bachläufe, Quelfassungen und Brunnenüberläufe	Niederschlag Grundwasser	X	X	X
	Nicht behandlungsbedürftiges Regenwasser von befestigten Flächen (siehe Mertsch 2001 <sup>1</sup> )	Niederschlag		X	X
	Flusswasser (Überflutungen)	Niederschlag	X	X	
Sonstige Einleitungen	Nicht schädlich verunreinigtes Kühlwasser, Wasser aus Wärmepumpen	anthropogen	X	X	
	Trinkwasserverluste	anthropogen	X	X	X
	Löschwasser, Spülwasser aus der Kanal- und Schachtreinigung	anthropogen	X	X	

<sup>1</sup> Literaturhinweis in [7] auf Mertsch, V.: Anforderungen an die öffentliche Niederschlagsentwässerung in Nordrhein-Westfalen, BEW-Seminar „Anforderungen an den Betrieb von Kanalisationsnetzen“, 29.08.2001, Essen

Die Höhle des Fremdwasseranteils wird von weiteren Faktoren wie beispielsweise der Lage des Grundwasserspiegels, dem Niederschlagsgeschehen sowie morphologischen, geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften des Einzugsgebietes bestimmt. Somit unterliegt der Fremdwassereindrang in die Kanalisationsnetze (jahres-) zeitlichen und räumlichen Veränderungen bzw. Schwankungen. Nicht alleine Art und Zustand der öffentlichen und privaten Kanalisationsnetze sind entscheidend. [7]

Je nach Größe des Fremdwasseraufkommens ist mit weitreichenden Konsequenzen zu rechnen. So wird durch den Eintrag von Fremdwasser zum einen die Abwasserentsorgung erschwert, zum anderen entstehen teils erhebliche, zusätzliche Kosten. In Tabelle 2 sind Auswirkungen von Fremdwasser zusammengestellt, die sowohl in technischer als auch in finanzieller Hinsicht zu erwarten sind.

**Tabelle 2: Auswirkungen von Fremdwasser**

Technische Konsequenzen	Finanzielle Konsequenzen
⇒ Verdünnung des Abwassers	⇒ Höhere Betriebskosten bei Pumpwerken
⇒ Absenkung der Abwassertemperatur	⇒ Höhere Abwasserabgabe
⇒ Erhohete Entlastung aus Mischwassernetzen	⇒ Höhere Investitionen für die Fremdwassermitbehandlung auf der Kläranlage und bei der Niederschlagswasserbehandlung
⇒ Vorabbau im Kanalnetz	

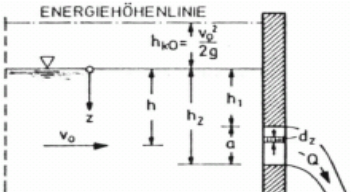
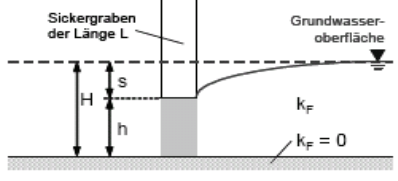
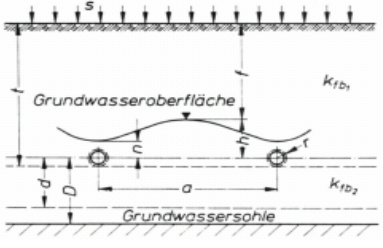
Aus den vorgenannten Gründen wird ersichtlich, dass in fremdwasserbelasteten Kanalisationsnetzen eine Notwendigkeit zur Sanierung der Netze unter Einbeziehung von Abdichtungsmanahmen bestehen kann. Zu beachten ist allerdings, dass im Zuge zunehmender, flächendeckender Abdichtung der privaten und öffentlichen Kanalisationsnetze mit weiteren Veränderungen gerechnet werden muss. An dieser Stelle ist in erster Linie ein Anstieg des Grundwasserpegels zu befürchten, der im Extremfall zu Schäden an der örtlichen Bebauung und dem Inventar führen kann. So erscheinen im Vorfeld umfassender Fremdwassersanierungen zunächst hydrogeologische Prognosen sinnvoll. [8]

## 2.2 Modellansätze für die Nachbildung von Fremdwasserinfiltration

Umfassende Überlegungen zu geeigneten Modellansätzen für die Nachbildung von Fremdwasserinfiltration in undichte Kanäle wurden von HENNERKES durchgeführt und in [7] übersichtlich zusammengefasst. Die folgenden Ausführungen basieren auf diesen Ergebnissen und wurden weitgehend [7] entnommen.

Nach HENNERKES [7] ist eine differenzierte Quantifizierung des durch Drainagen und Schadstellen in die Kanalisation (öffentlich und privat) infiltrierenden Grundwassers in der Praxis mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Um allerdings gebietsweise Priorisierungen vornehmen und ein geeignetes Fremdwasserreduzierungskonzept auswählen zu können, sind derartige Quantifizierungen unbedingt erforderlich. In Tabelle 3 sind die Ansätze zusammengefasst.

**Tabelle 3: Modellansätze zur Nachbildung der Grundwasserinfiltration, aus [7]**

Ansatz	Annahmen	Ergebnis	
		Boden A $k_F = 1,1 \cdot 10^{-5}$ m/s	Boden B $k_F = 4,4 \cdot 10^{-4}$ m/s
vollkommener Ausfluss aus einem Gefäß mit kleiner Öffnung nach SCHRÖDER (1994) 	kreisförmige Öffnung Beiwert $\mu_A = 0,95$ Radius $a = 5$ mm Druckhöhe $h = 60$ cm	15,36 l/min	
	schlitzförmige Öffnung Beiwert $\mu_A = 0,673$ Öffnungsbreite $a = 1$ mm Öffnungslänge $b = 100$ cm Druckhöhe $h = 60$ cm	138,54 l/min	
Wasseraustausch zwischen Grund- und Oberflächengewässern (Leakage-Ansatz über den benetzten Umfang eines Kanalrohres)	Kanalrohr DN 300 Druckhöhe $H = 60$ cm Leakage-Faktor $k_1 = 3 \cdot 10^{-6}$ 1/s unabhängig vom Boden da Dicke der Kolmationsschicht unbekannt	0,10 l/min	
horizontale Grundwasserfassung (Sickergraben) 	vollkommene Verhältnisse ungespannter Grundwasserleiter Druckhöhe $H = 60$ cm Länge Graben $L = 1$ m Absenkung $s = 50$ cm $Q = L \cdot k_F \cdot \frac{H^2 - h^2}{3000 \cdot s \cdot \sqrt{k_F}}$	0,24 l/min	6,00 l/min
Dränagewasserabflussspende nach DIN 1185-2 (1973) 	nach HOOGHOUTD $Q = \frac{8 \cdot k_{fb1} \cdot d \cdot h + 4 \cdot k_{fb2} \cdot h^2}{a} \cdot L$	0,54 l/min	9,67 l/min
	Druckhöhe $h = 60$ cm und $n = 0$ Länge Drainage $L = 1$ m Absenkung $s = 50$ cm $k_{fb1} = k_{fb2} = k_F$	mit $d = 0,71$ und $a = 5,97$ m	mit $d = 2,58$ und $a = 37,76$ m
	pauschaler Ansatz der Dränageabflussspende nach Tabelle 8 vor einer Wand je lfd. m Drainage.	3 - 6 l/min	6 - 12 l/min

**Ausfluss aus einem Gefäß (Torricelli):**

Dieser Ansatz wird in [7] als hydrodynamischer Ansatz für den Ausfluss aus einem Gefäß mit einer Öffnung bezeichnet. Prinzipiell wird bei diesem Ansatz die Öffnung des Gefäßes mit einer Kanalleckage gleichgesetzt. Die hydrostatische Druckhöhe  $h$  wird dabei unter der Annahme, dass die Öffnungsfläche  $A$  im Vergleich zur Oberfläche des Gefäßes vernachlässigbar klein ist, vollständig in kinetische Energie umgewandelt. Reibungsverluste werden durch einen Vorfaktor  $\mu_A$  berücksichtigt. Für den stationären Wasserausfluss  $Q$  aus einem Gefäß

mit kleiner Boden- oder Seitenöffnung entwickelte Torricelli folgenden Ansatz für laminare Strömungsverhältnisse (Anströmgeschwindigkeit vernachlässigbar):

$$Q = \mu_A \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot h} \quad (2.1)$$

Bei einer Übertragung des Ansatzes auf Grundwasserinfiltrationen aus einem Bodenkörper in einen Kanal ist allerdings die Annahme von laminaren Strömungen nicht in jedem Fall zutreffend. Dies gilt insbesondere, wenn bei kleinen Schadstellen die Filtergeschwindigkeit im Bereich z.B. eines Risses die laminare Grenzgeschwindigkeit überschreitet (zur näheren Begründung mit Literaturauswahl siehe [7]).

### Wasseraustausch von Grundwasser und Oberflächenwasser:

Nach [7] lässt sich auch das Fließverhalten beim Wasseraustausch zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer mit dem Fließverhalten einer Grundwasserinfiltration in undichte Kanäle vergleichen. Für die Beziehung des Wasseraustausches über die kolmatisierte Gewässersohle eines Oberflächengewässers kann der so genannte Leakage-Ansatz aus dem Fließgesetz von DARCY hergeleitet werden:

$$Q = v \cdot A = (k_F \cdot I) \cdot A = k_F \cdot \frac{\Delta h}{n_F \cdot D} \cdot A = K_I \frac{1}{n_F} \cdot \Delta h \cdot A \quad \text{mit} \quad K_I = \frac{k_F}{D} \quad (2.2)$$

mit Fläche  $A$ , Dicke  $D$ , Wasserdurchlässigkeit  $k_F$ , dem durchflusswirksamen Porenanteil  $n_F$  und der Potentialdifferenz  $\Delta h$ . Der Leakage-Faktor  $K_I$  erfasst ausschließlich den Einfluss der Selbstdichtung der Flusssohle und hängt von der Geometrie des Flusses, den hydraulischen Eigenschaften der Flusssohle, der Höhe des Wasserstandes im Fluss und im Grundwasser-aquifer, der Aquifermächtigkeit und den Strömungsverhältnissen im Grundwasser ab. Dem Ansatz wird zugrunde gelegt, dass sich die Sickergeschwindigkeit  $v$  nach dem Gesetz von Darcy linear zur Druckhöhe  $h$  verhält.

### Horizontale Grundwasserfassungen:

Naheliegender für die Ermittlung der Grundwasserinfiltration in undichte Kanäle sind beispielsweise Ansätze aus der Brunnenberechnung, hier insbesondere horizontale Grundwasserfassungen wie Sickergräben oder Drainagen. Die Zuströmung zum Sickergraben ergibt sich zu  $q_x = -k \cdot y(x) \cdot dy/dx$  unter der Annahme einer stationären Zuströmung und den Gesetzmäßigkeiten nach Dupuit-Forchheimer und Darcy. Durch Integration und Ermittlung der zugehörigen Randbedingungen ergibt sich bei ungespannten Grundwasserverhältnissen ein quadratischer Einfluss der hydrostatischen Druckhöhe auf die Abflussspende der Drainage bzw. des Sickergrabens (vgl. Tabelle 3). Unter der Annahme, dass ein undichter Kanal dieselbe Durchlässigkeit besitzt wie der einen Sickergraben umgebende Boden, ist eine Übertragung auf das Infiltrationsverhalten eines undichten Kanals möglich. Folgende Annahme ergibt sich daraus:

$$Q = L \cdot k_f \frac{H^2 - h^2}{3000 \cdot s \cdot \sqrt{k_f}} \quad (2.3)$$

Die Reichweite  $R$  einer Grundwasserabsenkung  $s$  kann nach SICHARDT empirisch durch die Formel  $R = 3000 \cdot s \cdot k_F^{0,5}$  abgeschätzt werden.

### Drainagewasserabflussspende:

Die Infiltrationsmenge in Anlehnung an die Drainagewasserabflussspende nach DIN 1185-2 [9] berechnet sich zu:

$$Q = \frac{8 \cdot k_{fb1} \cdot d \cdot h + 4 \cdot k_{fb2} \cdot h^2}{a} \cdot L \quad (2.4)$$

Dabei ist  $k_{fb1}$  die Durchlässigkeit der Bodenschicht oberhalb des Dräns,  $k_{fb2}$  die Durchlässigkeit der Bodenschicht unterhalb des Dräns (beide entsprechen den  $k_{fb}$ -Werten nach DIN 19682 Blatt 8),  $d$  ein Faktor nach Hooghoudt (Tabelle 3 in der DIN 1185-2 [9]),  $h$  ist die Höhe des maximal zulässigen Grundwasserspiegels über der Dränrohrachse zwischen den Dränen,  $L$  die Länge der Dränrohre und  $a$  der Dränabstand.

### Empirischer Berechnungsansatz nach Hennerkes:

Im Rahmen seiner Dissertation hat HENNERKES selbst einen empirischen Ansatz entwickelt, nach dem sich die Grundwasserinfiltrationsrate je Schaden gemäß den beiden folgenden Formeln berechnen lässt:






Punktschäden:  $q_F = \eta_P \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot k_F \cdot \sqrt{A} \cdot h^{1,5} \quad (2.5)$

Riss- bzw. Muffenschäden:  $q_F = \eta_R \cdot 1 \cdot 10^7 \cdot k_F \cdot A \cdot h^{1,5} \quad (2.6)$

Dabei ist  $q_F$  die Grundwasserinfiltrationsrate,  $\eta_P$  ein Vorfaktor für Punktschäden,  $\eta_R$  ein Vorfaktor für Riss- und Muffenschäden,  $k_F$  die Wasserdurchlässigkeit des Bodens,  $A$  die Fläche des Schadens und  $h$  die Grundwasserdruckhöhe am hydrostatischen Flächenschwerpunkt des Schadens. Es wird davon ausgegangen, dass der  $k_F$ -Wert nach dem Gesetz von Darcy linearen Einfluss hat.

### 3 Werkstoffwechsel in der Kanalisation

Werkstoffwechsel in der Kanalisation lassen sich in insgesamt sechs Gruppen einteilen (Abb. 2). Dabei handelt es sich um jeweils drei Gruppen aus den Bereichen Neubau und Sanierung.

	Werkstoffwechsel <i>innerhalb einer Haltung</i>	Werkstoffwechsel im Bereich von <i>seitlichen Anschlüssen</i>	Werkstoffwechsel im Bereich von <i>Schacht- und Sonderbauwerksanschlüssen</i>
<b>Neubau</b>	 <p>Beispiel: Übergang von Rohr zu Rohr (Steinzeug auf Kunststoff)</p>	 <p>Beispiel: Einbindung eines Stützens aus Kunststoff in ein Betonrohr</p>	 <p>Beispiel: Schachtanschlussmuffe zur Einbindung von Kunststoffrohren in Betonschächte</p>
<b>Sanierung</b>	 <p>Beispiel: Kurzliner in einem Betonrohr</p>	 <p>Beispiel: Stützensanierung mit Injektion</p>	 <p>Beispiel: Einbindung eines Closefit-Liners aus Polyethylen an ein bestehendes Schachtgerinne aus Mauerwerk</p>

**Abb. 2: Übersicht über die identifizierten Produktgruppen mit Werkstoffwechseln**

In Abschnitt 3.1 wird zunächst dargestellt, welche Wirkungsweisen gegenüber Infiltration an Werkstoffübergängen vorliegen können (Dichtprinzip). Die verschiedenen Produktgruppen werden daraufhin in den Abschnitten 3.2 und 3.3 genauer betrachtet und es werden, sofern möglich, innerhalb der Gruppen noch weitere Unterteilungen beispielsweise in Verfahrensarten vorgenommen. In der Gruppe der „Werkstoffwechsel innerhalb von Haltungen bei der Sanierung“ kann z.B. eine Verfahrensunterteilung in Kurzliner, Innen- und Außenmanschetten sowie Injektions- und Spachtelverfahren vorgenommen werden. Der Begriff „Haltung“ wird in diesem Zusammenhang zur Vereinfachung der Schreibweise auch für Abwasserleitungen verwendet, so z.B. im Hausanschlussbereich.

Schließlich werden die grundsätzlichen Konstruktionsmerkmale der Produkte erläutert.

### 3.1 Wirkungsweisen gegenüber Infiltration

Die VDI-Richtlinie 2232 [10] beschreibt „Verbindungen“ als „*Zusammenschlüsse von zwei oder mehreren widerstandsfähigen Körpern (bzw. den beiden Enden eines Körpers), die eine Trennung der Körper auch unter Betriebskräften verhindern*“. Mit Blick auf Werkstoffwechsel und Übergänge in der Kanalisation wird auch die Abdichtung gegenüber In- und Exfiltration durch den Zusammenschluss von Körpern herbeigeführt und kann in diesem Sinne als Verbindung gewertet werden.

Je nach Art des Zusammenschlusses wirken unterschiedliche Mechanismen, die auch im unterirdischen Kanal- und Leitungsbau zum Tragen kommen können. Unterschieden werden kann diesbezüglich z.B. nach den Arten der Kraftübertragung in stoffschlüssige, rein formschlüssige und kraftschlüssige (feste) Verbindungen (in Anlehnung an [10], [11]):

1. **Stoffschlüssige Verbindungen:** Diese entstehen zwischen zwei Verbindungspartnern durch Stoffvereinigung an ihren Grenzflächen. Die Verbundwirkung wird erzielt durch die gleichen elektromagnetischen Molekularkräfte wie auch der Stoffzusammenhalt im Werkstoff der zu fügenden Teile (Kohäsion). Stoffschlüssige Verbindungen können Kräfte in alle denkbaren Richtungen aufnehmen und sind folglich nie beweglich. Eine Voraussetzung für die Aktivierung der molekularen Bindekräfte ist, dass an der Grenzfläche Moleküle des gleichen Werkstoffes zusammengefügt werden (z.B. PE-Schweißverbindung).
2. **Rein formschlüssige Verbindungen:** Diese sind gekennzeichnet durch das Vorhandensein eines losen Spiels zwischen den Verbindungspartnern (keine Kraftübertragung). Solange keine Kraft auf die Verbindung wirkt, ist keinerlei elastische Vorspannung vorhanden. Kennzeichnend für diese Art der Verbindungen ist, dass sie gegen Demontage zusätzlich zu sichern sind.
3. **Kraftschlüssige Verbindungen:** Diese stehen im Gegensatz zu formschlüssigen unter Vorspannung. Die Verbindungspartner berühren sich infolgedessen planmäßig und über die gesamte Lebensdauer der Verbindung (Wirkflächen stehen unter planmäßiger Pressung). Eine Unterkategorie der kraftschlüssigen Verbindungen bilden die so genannten adhäsionsschlüssigen Verbindungen, bei denen molekular elektromagnetische Kräfte, so genannte Adhäsionskräfte, den Verbund herstellen. Als Schluss erzeugende Kraftwirkung können beispielsweise Klebungen und Lötungen zwischen Teilen aus zumeist unterschiedlichen Werkstoffen aufgefasst werden.

Basierend auf diesen Begriffsdefinitionen kann für **Werkstoffwechsel in der Kanalisation** gefolgert werden, dass **definitionsgemäß immer kraftschlüssige Verbindungen** hergestellt werden müssen. Rein formschlüssige Verbindungen sind für die Abwasserkanalisation nicht zweckgemäß, weil aufgrund des losen Spiels zwischen den Verbindungselementen keine Abdichtung erzielt werden kann. Durch stoffschlüssige Verbindungen hingegen können lediglich Elemente des gleichen Werkstoffes zusammengefügt werden.

Die nähere Betrachtung der in den Abschnitten 3.2 und 3.3 dargestellten Produkte veranschaulicht, dass die Verbindung und somit auch Abdichtung gegenüber In- und Exfiltration entweder durch die **Kompression bzw. Pressung** eines für gewöhnlich elastomeren Dichtmaterials an der Werkstoffschnittstelle oder durch die Herstellung eines **adhäsionsschlüssigen Verbundes** unter der Verwendung von z.B. Harzen oder Mörteln zwischen den zu verbindenden Elementen erzeugt wird.



Konstruktionsbedingt kommt in den meisten Fällen je Bauteil oder Verfahren jeweils eines der beiden genannten Dichtprinzipien zum Tragen. Der überwiegende Anteil der **Neubau-Produkte** dichtet dabei durch **Kompression** von Dichtmaterial ab, während die **Sanierungsverfahren** meist durch den Einsatz von Harzen oder Mörteln einen **adhäsions-schlüssigen Verbund** zwischen Sanierungsmaterial und Altrohr herstellen.

### 3.1.1 Kompression von Dichtmaterial

In Anlehnung an [12] kann bei Rohrverbindungen, die durch Kompression eines Dichtmaterials abdichten, in die folgenden Gruppen unterschieden werden:

- Steckverbindung: bewegliche Rohrverbindung, deren Dichtwirkung durch Zusammenstecken von Spitzende und Muffe oder Kupplung in Verbindung mit einem elastischen Dichtmittel erzielt wird.
- Spannverbindung: bewegliche Rohrverbindung, deren Dichtwirkung durch Spannen einer über die zu verbindenden Rohrenden greifenden Manschette erzielt wird, sowie Gliederketten, die durch Verspannen von Gummiteilen mit radialer Ausdehnung z.B. den Ringraum zwischen Rohr und Bohrloch verschließen.
- Schraubverbindung: bewegliche Rohrverbindung, deren Dichtwirkung durch Zusammenstecken von Spitzende und Muffe und anschließendes Verpressen eines elastischen Dichtmittels durch einen Schraubring erzielt wird.
- Flanschverbindung: starre Rohrverbindung, deren Dichtwirkung durch Verpressen eines Dichtmittels zwischen den Flanschen erzielt wird.
- Elastische Dichtmittel: Dichtmittel aus Elastomeren, die durch elastische Verformung in die zu dichtenden Fugen eingebracht werden. Ihre Dichtwirkung gegen unter Druck stehende Flüssigkeiten ist abhängig von den durch die Verformung des Dichtmittels entstehenden gummielastischen Rückstellkräften.

Entsprechend können mit Blick auf die in den folgenden Abschnitten dargestellten Produkte hinsichtlich der **Abdichtung durch Kompression** im Wesentlichen drei Unterarten unterschieden werden:

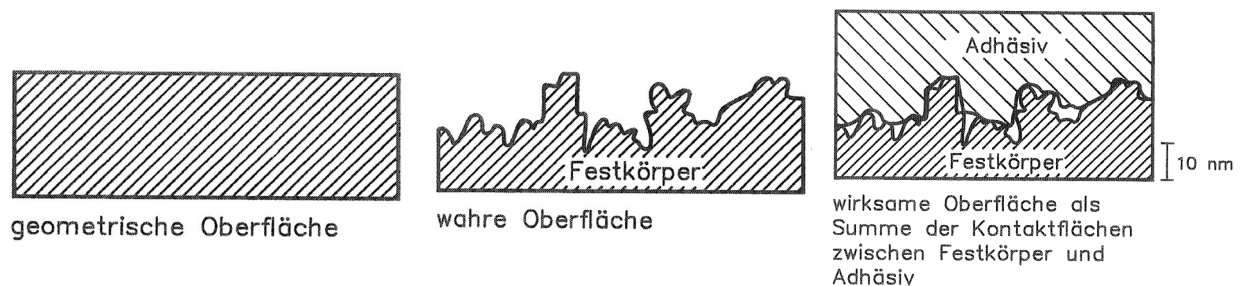
1. Kompression durch **Geometrie** der Bauteile (Steckverbindung, elastische Dichtmittel),
2. Kompression mit zusätzlicher **Verspannung** (Spann-, Schraub-, Flanschverbindung, ggf. mit elastischem Dichtmittel),
3. Kompression bei bestehender Geometrie durch **Aufquellen** des Dichtmaterials.

Inwieweit die Kompressionswirkung über die angestrebte Nutzungsdauer erhalten bleibt, hängt wesentlich von der Dauerhaftigkeit der Materialeigenschaften und Verbindungsgeometrie ab.

### 3.1.2 Adhäsionsschlüssiger Verbund

Ein adhäsionsschlüssiger Verbund kann gemeinhin auf eine Haftwirkung zwischen den Oberflächen verschiedener Körper oder/und Flüssigkeiten zurückgeführt werden. Umfassende Ausführungen zur Verbundwirkung in der Bautechnik enthält z.B. Heft 443 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) [13], an dessen Inhalten sich die folgenden Ausführungen orientieren.

Als Ursache für die Adhäsion werden zum einen mechanische Verzahnungseffekte in mikroskopischem Maßstab und zum anderen spezifische Adhäsionsmechanismen wie beispielsweise molekularphysikalische, thermodynamische Mechanismen oder chemische Bindungen genannt. Bei der mechanischen Adhäsion dringt ein zu Beginn noch flüssiges Adhäsiv in die Poren und Vertiefungen der Oberfläche des Adhärens ein, härtet dort aus und ist nach Abschluss der Aushärtung dort verankert wie beispielsweise Dübel oder Druckknöpfe<sup>1</sup>. Die Verzahnung zwischen dem Adhäsiv und dem Festkörper ist erläuternd in Abb. 3 dargestellt. Die Größe der Kontaktfläche ist somit für die resultierende Verbundwirkung mit von Bedeutung und es wird empfohlen, die Größe der wahren Oberfläche im Rahmen der Untergrundvorbereitung zu vergrößern. Von entscheidender Bedeutung für eine „gute“ Adhäsion in der Grenzfläche zwischen Adhäsiv und Festkörper ist jedoch nicht die Größe der wahren Oberfläche, sondern die tatsächlich vorhandene Grenzfläche zwischen den artfremden Stoffphasen, die als wirksame Oberfläche bezeichnet wird (vgl. Abb. 3, rechts). Definitionsgemäß stellt die wirksame Oberfläche somit immer nur einen Teil der wahren Oberfläche dar, der für guten Verbund möglichst groß ausfallen sollte. ([13], verändert)



**Abb. 3:** Geometrische, wahre und wirksame Oberfläche (schematische Darstellung) [13]

Für eine möglichst große wirksame Oberfläche wiederum sind die Benetzbarkeitseigenschaften der Festkörperoberfläche und das Netzvermögen der Flüssigkeit von Bedeutung, die ihrerseits von den physikalischen und chemischen Eigenschaften der am Benetzungsvorgang beteiligten Stoffphasen beeinflusst werden [13]. Bei der Kanalsanierung werden aus diesem Grund für die Herstellung einer möglichst dauerhaften Verbindung zwischen Altbeton und Reparaturmörtel sogenannte Haftbrücken verwendet. Diese bestehen aus einem Hilfsstoff, der die Haftung zwischen dem alten Untergrund und der neuen Mörtelbeschichtung verbessern soll. Eingesetzt werden hierfür in der Regel Harzlösungen oder Dispersionen, vielfach aber auch zementgebundene Feinmörtel in schlämmfähiger Konsistenz, die dieselben Mischungskomponenten wie der eigentliche Beschichtungsmörtel beinhalten. Das Auftragen des eigentlichen Reparaturmörtels sollte erfolgen, bevor die Haftbrücke vollständig

<sup>1</sup> Das Haftprinzip ist unter dem Begriff „Druckknopf-Theorie“ besonders im Bereich der galvanischen Metallbeschichtung von Polymeren bekannt geworden [13].

angetrocknet ist, da die Haftbrücke ansonsten als Trennschicht fungiert. Für Reparaturarbeiten im Rohrrinnenbereich von Kanälen aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton werden nach [12] folgende Reparaturmörtelarten eingesetzt:

- kunststoffmodifizierte Zementmörtel (PCC),
- Reaktionsharzmörtel (PC),
- Zementmörtel (CC): Diese sind nur geeignet für Bereiche, in denen keine Bewegungen mehr auftreten.

Grundsätzlich wird z.B. bei Sanierungsarbeiten in Bereichen, in denen zu einem späteren Zeitpunkt noch Bewegungen auftreten können, empfohlen, die zu sanierende Stelle etwas tiefer aufzustemmen, mit einem der o.a. Mittel vorzufüllen und anschließend den verbleibenden Bereich mit einer Fugendichtmasse zu verschließen. Auch Infiltrationsprozesse oder Abwasserfluss an der zu sanierenden Stelle müssen berücksichtigt werden, denn bereits schwache Sickerströmungen können den Verbund zwischen Mörtel und Untergrund schwächen. Es gibt auch spezielle Mörtel, so genannte Stopf- oder Quellvergussmörtel, die sich mit oder ohne Feuchtigkeitseinwirkung noch weiter ausdehnen und so die Abdichtung zusätzlich unterstützen. (vgl. [12], [13])

Für Sanierungsharze wie beispielsweise Epoxidharze, Polyurethanharze oder Silikatharze gelten für die Herstellung eines adhäsionsschlüssigen Verbundes hinsichtlich der Untergrundbeschaffenheit die gleichen Randbedingungen.

Bei zementgebundenen Werkstoffen wird davon ausgegangen, dass sich Risse bis zu einer Breite von 0,2 mm bei eindringendem oder durchsickerndem Wasser durch Nachhydratation der Zementteilchen oder durch Sintervorgänge selbsttätig und kraftschlüssig schließen, dieser Vorgang wird als „Selbstheilung“ oder Nachsinterung bezeichnet. [14, 15]

Harze und Mörtel werden im Bereich der Werkstoffwechsel überwiegend für die Sanierung eingesetzt. Um eine dauerhafte Verbundwirkung zum Altrohr zu erzielen, ist die Größe der wirksamen Oberfläche entscheidend.

## 3.2 Werkstoffwechsel beim Neubau von Kanalhaltungen

### 3.2.1 Übergeordnete Regelwerke

Zur Verbindung von Rohren und/oder Anschlussleitungen aus unterschiedlichen Werkstoffen werden beim Neubau von Kanalhaltungen vielfach Bauteile eingesetzt, für die bereits technische Anforderungen im Normen- und Regelwerk definiert sind. In Tabelle 4 sind die wesentlichen Normen mit Anforderungen für die in der Marktübersicht aufgeführten Bauteile (Anhang I) dargestellt. Im Einzelnen enthält Tabelle 4 Angaben zu

- dem jeweiligen Geltungsbereich,
- den in der Norm definierten Anforderungen hinsichtlich (Außendruck-) Dichtheit und
- den für diese Bauteile vorgesehenen Dichtheitsprüfverfahren (insbesondere Außendruck).

Zu unterscheiden ist zwischen Regelwerken, in denen allgemeine Anforderungen an die Kanalisation und insbesondere Rohrverbindungen definiert sind (DIN 4060 [16], DIN EN 476 [17]), und Regelwerken, die werkstoffspezifische Anforderungen enthalten (hier: Steinzeug, Polyvinylchlorid (PVC), Polypropylen (PP), Polyethylen (PE)).

In den beiden übergeordneten Normen, der DIN 4060 [16] und der DIN EN 476 [17], werden ausdrücklich auch Prüfungen unter Außenwasserdruck oder Teilvakuum (Unterdruck) gefordert, wenn Außendruck konstruktionsbedingt der maßgebende Lastfall ist.

Die Regelwerke, die für Bauteile aus PVC-U (DIN EN 1401-1 [18]), PP (DIN EN 1852-1 [19]) oder PE (DIN EN 12666-1 [20]) gelten, fordern neben Überdruckprüfungen mit Wasser außerdem Unterdruckprüfungen mit Luft. Lediglich die DIN EN 295-4 [21], die für Übergangs- und Anschlussbauteile aus Steinzeug und/oder anderen Werkstoffen sowie flexible Kupplungen, Übergangsbaueteile mit Metallbändern, Dichtringe, einsetzbare Anbohrstutzen und Schrumpfmanschetten gilt, fordert nur die Überprüfung der Innendruckdichtheit mit Luft oder Wasser.

Die dargestellten Sachverhalte wecken die Erwartung, dass ein nicht unerheblicher Teil der auf dem Markt verfügbaren Bauteile für Werkstoffübergänge im Rahmen von Eignungsprüfungen bereits Unterdruckprüfungen durchlaufen haben sollte. Gleiches gilt für Fremdüberwachungsmaßnahmen im Rahmen der Qualitätssicherung, wie sie in einigen der aufgeführten Regelwerke turnusgemäß gefordert werden.

Die in den Normen aus Tabelle 4 geregelten Bauteile dichten überwiegend durch elastomere Dichtmaterialien ab, bei denen besonders das Langzeitverhalten für die dauerhafte Abdichtung eine entscheidende Rolle spielt (Relaxation). Die Anforderungen an Elastomerdichtungen für Rohrleitungsdichtungen in der Entwässerung werden in der DIN EN 681-1 [22] definiert.

**Tabelle 4: Regelwerke für Bauteile und Formstücke in der Kanalisation (Neubau)**

Regelwerke mit allgemeinen Anforderungen
<p><b>DIN 4060 [16]: Rohrverbindungen von Abwasserkanälen und -leitungen mit Elastomerdichtungen, Anforderungen und Prüfungen an Rohrverbindungen, die Elastomerdichtungen enthalten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geltungsbereich: Rohrverbindungen von in der Regel drucklos betriebenen Abwasserkanälen und -leitungen sowie für Schächte, die mit Elastomerdichtungen gedichtet werden (Achtung: gilt nicht für Rohrwerkstoffe, für die bereits eine Europäische Norm (EN) erschienen ist),</li> <li>▪ Anforderungen:             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wasserdichtheit bei innerem und äußerem Überdruck von 0 - 0,5 bar (auch unter Abwinklung und Scherlast),</li> <li>2. Prüfung unter Außendruck: dann vornehmen, wenn durch die Konstruktion der Dichtung bedingt dieser Belastungsfall ausschlaggebend ist.</li> </ol> </li> <li>▪ Angaben zum Prüfverfahren: Prüfmedium Wasser, Prüfdauer, Prüfdruck, Angaben zu Prüfaufbau und -ablauf bei Abwinklung und Scherlast.</li> </ul>
<p><b>DIN EN 476 [17]: Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Abwasserkanäle und -leitungen für Schwerkraftentwässerungssysteme</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geltungsbereich: Bauteile wie Rohre, Formstücke und Schächte mit ihren jeweiligen Verbindungen, die als Schwerkraftentwässerungssysteme mit einem größtmöglichen Druck von 40 kPa betrieben werden,</li> <li>▪ Anforderungen für Bauteile, die in erdverlegten Kanälen eingesetzt werden:             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dichtheit bei hydrostatischer Innendruckprüfung,</li> <li>2. Feuchtigkeit an den Außenwänden darf nicht auf Undichtigkeiten beruhen,</li> <li>3. Wenn die Wasserdichtheit der Verbindung hauptsächlich vom Innendruck abhängt, muss zusätzlich eine hydrostatische Wasseraußendruckprüfung oder eine Teilvakuumprüfung durchgeführt werden,</li> <li>4. Prüfdrücke für Erzeugnisse: Rohre, Formstücke, Verbindungen und Schächte 0 kPa auf 50 kPa,</li> </ol> </li> <li>▪ Angaben zum Prüfverfahren:             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. an einem oder mehreren Rohren oder Rohrabschnitten bei Umgebungstemperatur und unter hydrostatischem Druck,</li> <li>2. die Prüfstücke sind mit Wasser zu füllen und vollständig zu entlüften,</li> <li>3. Prüfverfahren, Prüfdauer, Wasserzugabe zum Aufrechterhalten des Prüfdrucks und ggf. die Abwinklung sind in den Produktnormen anzugeben.</li> </ol> </li> </ul>
Regelwerke mit produktspezifischen Anforderungen
<p><b>DIN EN 295-4 [21]: Steinzeugrohrsysteme für Abwasserleitungen und -kanäle - Teil 4: Anforderungen an Übergangs- und Anschlussbauteile und flexible Kupplungen (STEINZEUG)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geltungsbereich: Übergangs- und Anschlussbauteile aus Steinzeug und/oder anderen geeigneten Werkstoffen sowie flexible Kupplungen, Übergangsbauteile mit Metallbändern, Dichtringe, einsetzbare Anbohrstutzen und Schrumpfmanschetten, die mit Steinzeugrohren und -formstücken für den Bau erdverlegter Abwasserleitungen und -kanäle verwendet werden (auch für die Verbindung mit anderen Werkstoffen),</li> <li>▪ Anforderungen: Dichtheit bei einer Innendruckprüfung mit Luft oder Wasser,</li> <li>▪ Angaben zum Prüfverfahren: Prüfmedium, Prüfdruck, Prüfdauer, Wasserzugabe zum Aufrechterhalten des Prüfdrucks (aus Verweisen auf DIN EN 295-1 [23] und DIN EN 295-3 [24]).</li> </ul>
<p><b>DIN EN 1401-1 [18]: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen - Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U) - Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem (WEICHMACHERFREIES POLYVINYLCHLORID (PVC-U))</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geltungsbereich: Rohre, Formstücke und Rohrleitungssysteme aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U), ihre Verbindungen untereinander sowie mit Rohrleitungsteilen aus anderen Kunststoffen oder Rohrwerkstoffen für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle,</li> <li>▪ Anforderungen: Dichtheit bei Innendruckprüfung mit Wasser und Luftunterdruckprüfung (beides auch unter Verformung und Abwinklung) sowie Dichtheit unter Temperaturwechselbeanspruchung,</li> <li>▪ Angaben zum Prüfverfahren: Prüfmedium, Prüfdruck, Prüfdauer usw. (teils Verweise auf DIN EN 1277 [25]).</li> </ul>
<p><b>DIN EN 1852-1 [19]: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen - Polypropylen (PP) - Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem (POLYPROPYLEN (PP))</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geltungsbereich: Rohre und Formstücke aus Polypropylen (PP), ihre Verbindungen untereinander sowie mit Rohrleitungsteilen aus anderen Kunststoffen oder Rohrwerkstoffen,</li> <li>▪ Anforderungen: Dichtheit bei Innendruckprüfung mit Wasser und Luftunterdruckprüfung (beides auch unter Verformung und Abwinklung) sowie Dichtheit unter Temperaturwechselbeanspruchung,</li> <li>▪ Angaben zum Prüfverfahren: Prüfmedium, Prüfdruck, Prüfdauer usw. (teils Verweise auf DIN EN 1277 [25]).</li> </ul>
<p><b>DIN EN 12666-1 [20]: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen - Polyethylen (PE) - Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem (POLYETHYLEN (PE))</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geltungsbereich: Rohre und Formstücke aus Polyethylen (PE), ihre Verbindungen untereinander sowie mit Rohrleitungsteilen aus anderen Kunststoffen oder Rohrwerkstoffen,</li> <li>▪ Anforderungen: Dichtheit bei Innendruckprüfung mit Wasser und Luftunterdruckprüfung (beides auch unter Verformung und Abwinklung) sowie Dichtheit unter Temperaturwechselbeanspruchung,</li> <li>▪ Angaben zum Prüfverfahren: Prüfmedium, Prüfdruck, Prüfdauer usw. (teils Verweise auf DIN EN 1277 [25]).</li> </ul>

In den nachfolgenden Ausführungen sind Produktbeispiele aus den drei Produktgruppen des Falls „Neubau von Kanalhaltungen“ dargestellt (vgl. Abb. 2). In der Marktübersicht (Anhang I) sind weitere Produkte dieser Gruppen aufgelistet. Dort werden zudem umfassende Angaben zu den jeweiligen Einsatzbereichen, Prüfzeugnissen zur Infiltrationsdichtheit und ggf. Konstruktionsrisiken gemacht.

### 3.2.2 Werkstoffwechsel innerhalb von Haltungen

Bauteile für Werkstoffübergänge „Rohr zu Rohr“ (Neubau) lassen sich im Wesentlichen in drei Untergruppen unterteilen:

- Anschlussstücke,
- Außenmanschetten,
- Dichtringe.

Die Abdichtung im Bereich derartiger Werkstoffwechsel wird überwiegend durch die **Kompression** elastomerer Dichtmaterialien erzielt. Aus diesem Grund bestehen auch viele der verfügbaren Bauteile überwiegend aus dem elastomeren Dichtmaterial selbst. Viele Produkte sind in unterschiedlichen Nennweiten verfügbar.

Maßgebliche **Risiken** für In- und Exfiltration sind dann:

- Relaxation der Dichtmaterialien und damit Verlust der Kompression,
- Rohrverformungen und damit Verlust der umlaufenden Kompression,
- Bodenbewegungen, die zu übermäßiger Scherlast an den verbundenen Rohrabschnitten führen.

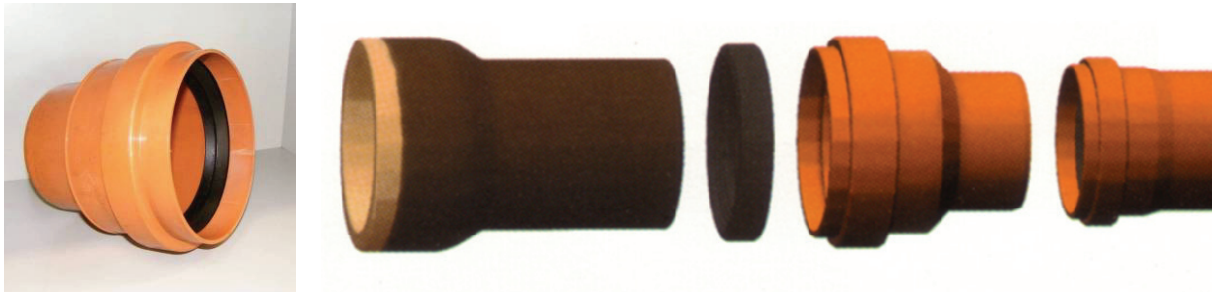
Die Relevanz von Rohrverformungen und Bodenbewegungen für Werkstoffwechsel und Übergänge wurde auch durch die in Abschnitt 4.1 dargestellten Vorversuche bestätigt.

#### Anschlussstücke

Die Verbindung durch Anschlussstücke wird in der Regel durch Einstecken der zu verbindenden Rohrenden (Spitzende und Muffenverbindung) in das jeweilige Bauteil hergestellt.

Das in Abb. 4 dargestellte Anschlussstück beispielsweise dichtet an der Seite des eingeschobenen Steinzeugrohr-Spitzendes über eine in das Bauteil integrierte Elastomerdichtung ab, die nach dem Ineinanderstecken um die Rohraußenseite des Steinzeugrohres komprimiert bzw. verpresst wird. Die Kompression wird an dieser Stelle durch die Bauteilgeometrie erzeugt und aufrechterhalten. Auf Seiten des PVC-Rohres wird die Abdichtung nach Einschieben des Anschlussstückes über die in die Rohrverbindung integrierte Elastomerdichtung, die um das Anschlussstück komprimiert wird, herbeigeführt. Auch hier wird die Kompression durch die Bauteilgeometrie bewirkt. Für die dauerhafte Abdichtung gegen In- und Exfiltration ist es somit erforderlich, dass sowohl die Geometrie des Anschlussstückes als auch die der angeordneten Rohrenden aufeinander abgestimmt sind und langfristig erhalten bleiben.

Derartige Bauteile sind auch für die Verbindung von Bauteilen aus anderen Werkstoffen verfügbar, so insbesondere für den Anschluss an Rohrleitungen aus Polyethylen (PE). Anschlussstücke aus Polyethylen (PE) können direkt an das Rohrende des PE-Rohres angeschweißt werden. Die Abdichtung an dem anderen Rohrende (z.B. PVC, PP) erfolgt dann durch Kompression an der Rohraußenseite.



**Abb. 4:** Bildbeispiel für ein Anschlussstück (links); Montageprinzip (rechts) [26]

### Außenmanschetten

Außenmanschetten für die Verbindung zweier abgelängter Rohrenden bestehen in der Regel aus einem Dichtring aus elastomerem Dichtmaterial, der bei der Montage mittels umlaufender Spannbänder aus Stahl an den Rohraußenseiten der zu verbindenden Rohre komprimiert wird (vgl. Abb. 5). Die Einsatzfähigkeit der verfügbaren Bauteile richtet sich in erster Linie nach den Rohraußendurchmessern der zu verbindenden Rohre. Es können teils auch Rohre mit stark voneinander abweichenden Rohraußendurchmessern verbunden werden. Rohre mit glatter Außenoberfläche können durch Außenmanschetten in der Regel ohne Einschränkung miteinander verbunden werden, sofern ein Bauteil für die entsprechende Außendurchmesserdifférenz verfügbar ist. Auch Betonrohre geben einige Hersteller als Einsatzbereich an.

So genannte flexible (Adapter-) Kupplungen (vgl. Abb. 5, links) können laut Herstellerangaben in der Regel keine Scherlasten aufnehmen. Vor ihrem Einsatz ist folglich sicherzustellen, dass auch zu einem späteren Zeitpunkt im erdüberdeckten Zustand keine Scherlasten auftreten können. Zu beachten ist außerdem, dass die Bauteile in der Regel nicht an Rohrenden mit Muffe angebunden werden können. Sie können entweder für die Verbindung zweier Spitzen oder im Bereich glatter abgelängter Rohrenden eingesetzt werden.

In der Praxis werden derartige Bauteile häufig auch als „Reparatur“-Kupplungen bezeichnet (vgl. Abschnitt 3.3.2 und 3.3.3). Für die fachgerechte Verspannung der Stahlbänder wird seitens der Hersteller üblicherweise ein genaues Drehmoment vorgegeben.

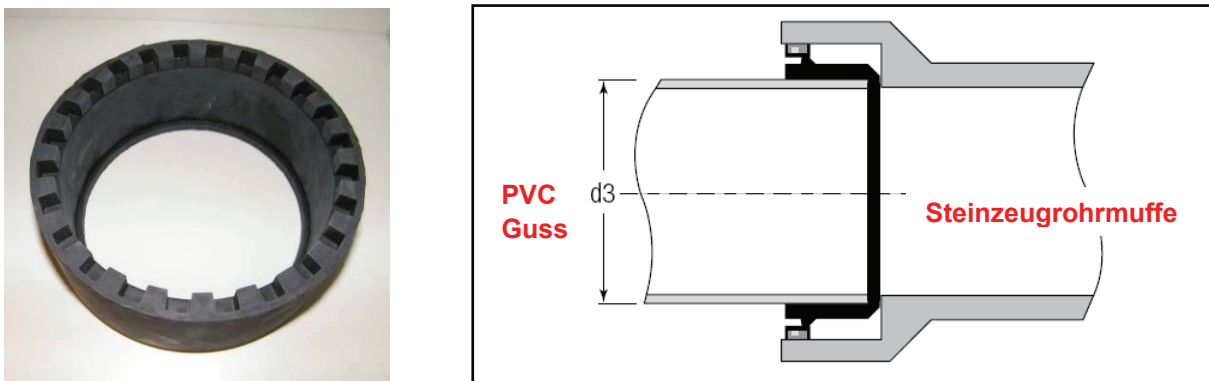


**Abb. 5:** Bildbeispiele für Außenmanschetten; flexible (Adapter-) Kupplung (links) und Manschettedichtung (rechts)

### Dichtringe

Dichtringe bestehen in der Regel vollständig aus elastomerem Dichtmaterial und werden wie eine nachträglich montierbare Dichtung für Muffenverbindungen eingesetzt. Die Abdichtung beim Einsatz derartiger Dichtelemente erfolgt wie bei einer üblichen Muffenverbindung durch Kompression des Dichtmaterials zwischen den beiden Bauteilen und beruht somit auch auf der Geometrie der zu verbindenden Bauteile.

In Abb. 6 ist beispielhaft ein Dichtring dargestellt, der für die Verbindung von Steinzeugrohrmuffen mit PVC- oder Gussrohrspitzenden genutzt werden kann.



**Abb. 6:** Bildbeispiel für einen Dichtring zur Verbindung von Steinzeugrohrmuffen mit PVC- oder Gussrohrspitzende (links); Montageprinzip (rechts) [27]



### 3.2.3 Werkstoffwechsel im Bereich seitlicher Anschlüsse

Werkstoffwechsel im Bereich seitlicher Anschlüsse werden bei der Neuverlegung oder beim Neubau in der Regel durch Hausanschlussstutzen ausgeführt, die Hausanschlussleitungen oder Seitenzuläufe mit dem Hauptkanal verbinden. Die Mehrzahl der erhältlichen Systeme ist lediglich für Hauptrohre aus einem einzelnen Rohrmaterial geeignet, wohingegen einige auch variabel in Hauptrohren aus verschiedenen Materialien einsetzbar sind. Die Stutzen sind für Anschlussleitungen aus bestimmten Werkstoffen und Durchmessern (überwiegend für DN 150 und DN 200) konzipiert, für abweichende Werkstoffe und Nennweiten können Übergangsstücke nach Abschnitt 3.2.2 verwendet werden. Die Abmessungen der Hausanschlussstutzen, wie beispielsweise die Schaftlänge, variieren bei den Herstellern in der Regel je nach Nennweite bzw. Nennweitenbereich. [1]

Der Einbau der Stutzen erfolgt entweder durch Stecken, Einschlagen, Schrauben, Klemmen oder Verschweißen. Alle verfügbaren Produkte ermöglichen den Anschluss an den Hauptkanal in einem Winkel von 90 °, durch die Anordnung konstruktiver Elemente im Bauteil wie z.B. Gelenke wird bei vielen Produkten mittlerweile auch ein abweichender Winkel zugelassen. Da in der Praxis teils auch Anschlüsse an Hauptkanäle mit Innenauskleidung erstellt werden müssen, können einige Produkte auch dafür eingesetzt werden (vgl. Abb. 7).



**Abb. 7:** ***Außenansicht eines Stutzensystems für Kanäle mit Innenauskleidung (links); erstelltes Bohrloch für den Einbau in den Kanal mit Innenauskleidung (Mitte) [28]; Innenansicht eines Stutzensystems für Kanäle mit Innenauskleidung (rechts)***

Die auf dem Markt verfügbaren Bauteile bestehen in der Regel aus Kunststoff, die Abdichtung wird meistens durch die **Kompression** elastomerer Dichtelemente erzielt. Nur vereinzelt sind Stutzensysteme erhältlich, die die Abdichtung zum Hauptrohr über einen **adhäsionschlüssigen Verbund** herstellen. Für die Verbindung mit der Anschlussleitung ist in der Regel in dem Stutzen eine übliche Muffenverbindung vorgesehen. Zwischen Stutzen und Hauptrohr kommen unterschiedliche Abdichtungstypen zum Einsatz, die wie folgt unterteilt werden können:

- Stutzen mit Kompression des Dichtmaterials in der Bohrlochlaibung,
- Stutzen mit Kompression des Dichtmaterials an der Rohrrinnen- und/oder -außenwand,
- Stutzen mit Verbund zum Hauptrohr,
- Stutzen mit Kombinationen aus unterschiedlichen Dichtmaterialien.

Da die Abdichtung überwiegend durch die Kompression elastomerer Dichtelemente erzielt wird, bleiben als maßgebliche Risiken für In- und Exfiltrationsprozesse an der Bauteilschnittstelle zu nennen:

- Relaxation der Dichtmaterialien und damit Verlust der Kompression,
- Überschreitung der Bohrlochtoleranzen und damit fehlende Kompression (bei Kompression in der Bohrlochlaibung),
- Rohrverformungen und damit Verlust der umlaufenden Kompression.

Im Jahr 2002 führte das IKT zusammen mit 14 Netzbetreibern einen IKT-Warentest durch, bei dem eine Vielzahl unterschiedlicher Stutzensysteme getestet und abschließend bewertet wurde. Bis heute beauftragen Anbieter derartiger Anschusssysteme noch Nachtests gemäß dem damals abgestimmten Prüfprogramm. Insgesamt liegen mittlerweile für eine Vielzahl verfügbarer Systeme zufrieden stellende Testergebnisse vor, da u.a. Produktverbesserungen die Folge des Haupttests aus dem Jahr 2002 waren. [1]

Nachfolgend werden die o.a. Abdichtungstypen beispielhaft vorgestellt, weitere verfügbare Produkte sind in der Marktübersicht für Anschlussstutzen (Anhang I) aufgeführt.

### Kompression des Dichtmaterials in der Bohrlochlaibung

Die Abdichtung zwischen Stutzen und Hauptrohr in der Bohrlochlaibung wird in der Regel für Anschusssysteme vorgesehen, die in dickwandige Hauptrohre beispielsweise aus Beton oder Stahlbeton eingebaut werden können. Bei dem in Abb. 8 dargestellten Produkt wird die Abdichtung beispielsweise durch eine Dichtlippe an der Elastomerdichtung herbeigeführt, die in der Bohrlochlaibung komprimiert wird.



**Abb. 8:** Außenansicht eines Stutzens mit Abdichtung in der Bohrlochlaibung (links); Schematische Darstellung des Bauteiles in der Bohrlochlaibung (rechts) [27]

Im Fall eines zu großen Bohrloches ist ggf. die Kompression in der Bohrlochlaibung nicht ausreichend, so dass keine vollständige Abdichtung erzielt werden kann. Die Einhaltung der zulässigen Bohrlochtoleranzen bei der Herstellung der Kernbohrungen scheint vor diesem Hintergrund von großer Bedeutung. Je nach Ausbildung der Dichtlippen besteht zudem die

Möglichkeit, dass die Abdichtwirkung gegenüber Außendruck von der bei Innendruck abweicht.

Ebenfalls im Bohrloch dichten so genannte flexible Anschlussdichtungen ab, die aus einem flexiblen Anschlussdichtelement und einem Spannband aus Metall bestehen. Nach Erstellen der Kernbohrung wird das flexible Dichtelement lose in das Bohrloch eingelegt (vgl. Abb. 9 links). Daraufhin wird das Anschlussrohr ausreichend tief in das Bohrloch eingesteckt, so dass die Anschlussdichtung zwischen Bohrlochlaibung und Anschlussrohr komprimiert wird.

Abschließend wird das Dichtelement durch die Montage eines Spannbandes zusätzlich um das Anschlussrohr komprimiert (vgl. Abb. 9 rechts).

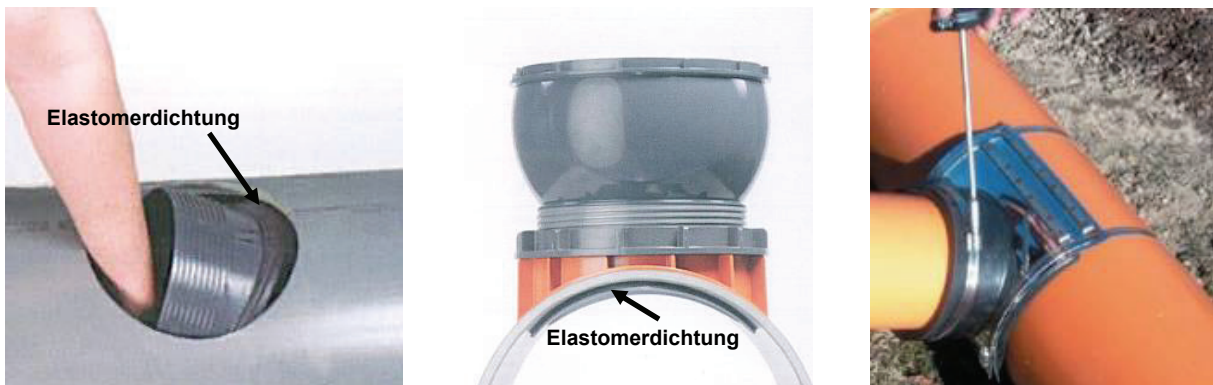


**Abb. 9:** *Einlegen der Anschlussdichtung (links); Einfetten des Rohrendes (Mitte); Montage des Spannbandes mit Drehmomentschlüssel (rechts) [29]*

### **Kompression des Dichtmaterials an der Rohrrinnen- und/oder -außenwand**

Anschlussstutzen, deren Abdichtung durch Kompression des Dichtmaterials an der Rohrrinnen- und/oder -außenwand erfolgt, werden häufig für den Einsatz in dünnwandigen Hauptrohren z.B. aus Polypropylen (PP) oder Polyvinylchlorid (PVC) konzipiert. Es gibt allerdings auch Modelle, die für den Einsatz in dickwandigen Rohren aus Beton oder Stahlbeton geeignet sind. In Abb. 10 (links und Mitte) ist beispielhaft ein Stutzenmodell dargestellt, bei dem nach dem Einbau eine Elastomerdichtung an der Rohrrinnenwand komprimiert wird.

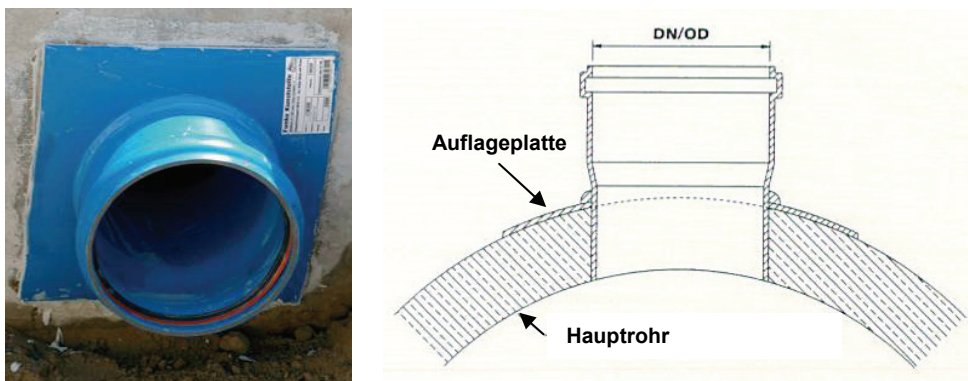
Durch Verschrauben von Anschlussunter- und -oberteil wird die Elastomerdichtung bei dem Stutzen in Abb. 10 (links und Mitte) an der Rohrrinnenwand komprimiert und dichtet somit ab. Neben der Kompression durch Verschrauben gibt es außerdem Konstruktionen, bei denen das Dichtmaterial durch zusätzliche Verspannung durch z.B. umlaufende Stahlbänder komprimiert wird (vgl. Abb. 10, rechts).



**Abb. 10:** *Eindrücken des Anschlussunterteils durch die Bohrung in das Hauptrohr (links) [28]; Seitenansicht (Mitte) eines Anschlusses mit Elastomerdichtung an der Rohrrinnenwand [28]; Anschlussesattel, der durch Verspannung umlaufender Stahlbänder montiert wird (rechts) [30]*

### Anschlussysteme mit Verbund zum Hauptrohr

In Abb. 11 ist ein Anschlussystem zu sehen, das mittels einer Spezialspachtelmasse außen auf das Hauptrohr aufgeklebt wird. Die Spezialspachtelmasse besteht aus Kleber und Härter und wird zwischen Auflageplatte und Außenseite des Hauptrohres verteilt, um dort über die gesamte Fläche einen Verbund einzugehen. Für einen verbesserten Verbund wird vorab ein Primer (Haftvermittler) aufgetragen. Neben der Befestigung wird auch die Abdichtung von der Spezialspachtelmasse übernommen. Laut Hersteller ist der Stutzen auch bei nicht fachgerechten Kernbohrungen einsetzbar.



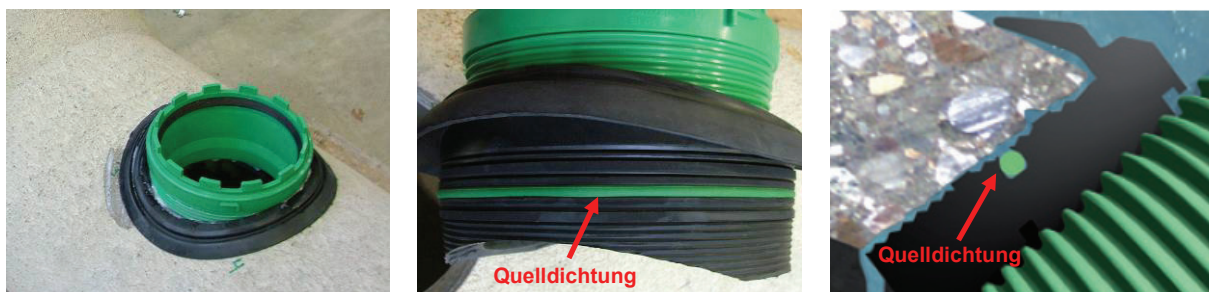
**Abb. 11:** *Anchlusssattel, der von außen auf das Hauptrohr aufgeklebt wird (links) [28]; Schnittzeichnung durch aufgeklebten Anschlussesattel (rechts) [28]*

## Anschlussysteme mit Quelldichtung

Das in Abb. 12 dargestellte Anschlussprodukt ist ein Stutzen, bei dem die Abdichtung durch Kompression des Dichtmaterials in der Bohrlochlaibung hergestellt wird. Neben einem elastomeren Dichtelement aus mehreren Dichtlippen ist im Bereich der Bohrlochlaibung nach dem Einbau außerdem noch ein umlaufender Ring aus wasserquellfähigem Dichtmaterial angeordnet, das laut Herstellerangaben durch den Kontakt mit Wasser eine Volumenzunahme erfährt, dadurch in der Bohrlochlaibung komprimiert wird und die Abdichtung unterstützt. Somit besteht die Möglichkeit, dass Übergänge, die nicht unmittelbar nach dem Einbau bereits komplett wasserdicht sind, in Folge des Quellprozesses noch weiterführend abgedichtet werden können.

Unklar ist in diesem Zusammenhang der geeignete Zeitpunkt für die Abnahme, da je nach Material für den Quellprozess seitens der Hersteller Zeiträume von mehreren Tagen angegeben werden. Demnach liegt auch die vollständige Abdichtung ggf. erst nach Ablauf dieses Zeitraumes vor. Darüber hinaus ist zu hinterfragen, inwieweit die Volumenzunahme des quellfähigen Dichtmaterials und somit auch die Abdichtung dauerhaft sind. Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde für die Überprüfung der Materialeigenschaften von quellfähigem Dichtmaterial ein Prüfprogramm entwickelt und exemplarisch an einem Dichtmaterial durchgeführt (vgl. Abschnitt 4.5). Bei dem hier dargestellten Anschlussystem ist nach Angaben des Herstellers bereits die kanalübliche Luftfeuchtigkeit ausreichend, um den Quellprozess auszulösen.

Je nach Ausbildung der Dichtlippen besteht die Möglichkeit, dass die Dichtheit gegenüber Außendruck von der bei Innendruck abweicht.



**Abb. 12:** *Eingebauter Anschlussstutzen mit kombinierter Abdichtung (links); Außenansicht des Anschlussstutzens mit grüner Quelldichtung (Mitte); Schematische Darstellung der Abdichtung in der Bohrlochlaibung (rechts) [30]*

### 3.2.4 Werkstoffwechsel bei Schacht- und Sonderbauwerksanschlüssen

Die Schacht- und Sonderbauwerksanschlüsse beim Neubau können im Wesentlichen in zwei Untergruppen unterteilt werden. So gibt es zum einen Anschlusssysteme, die bereits werkseitig in das Schachtbauwerk integriert werden, und zum anderen solche, die erst nachträglich auf der Baustelle installiert werden.

Als Dichtmaterial kommen überwiegend elastomere Dichtelemente zum Einsatz. Im Zuge der Systemrecherche stellte sich heraus, dass die Abdichtung in den meisten Fällen sehr aufwändig ist und mindestens zwei unterschiedliche Abdichtungsbereiche umfasst. Sowohl der Übergang zwischen Dichtelement und Schachtbauwerk als auch der Übergang zwischen Anschlussrohr und Dichtelement (Schachtfutter) müssen wasserdicht ausgebildet sein.

Nachträglich installierte Bauteile für die Schachtanbindung von Rohrleitungen werden beispielsweise beim Neuanschluss an einen Betonschacht oder aber bei der Anbindung an Sonderbauwerke oder Schächte aus z.B. Mauerwerk verwendet. Die hierfür angebotenen Systeme werden auf unterschiedlichste Art und Weise abgedichtet.

Der Übergang zwischen Schachtfutter und anzubindendem Rohr wird in der Regel durch die **Kompression** des Dichtelementes zwischen den beiden Bauteilen beim Einschieben des Rohres oder durch nachträgliches Verspannen (Gliederketten) herbeigeführt. Die Wirkungsweise ist mit der einer üblichen Muffenverbindung vergleichbar.

Die maßgeblichen Risiken für den Werkstoffübergang am Schachtbauwerk werden aufgrund der vorgenannten Sachverhalte in der Handhabung auf der Baustelle gesehen, da bei der Herstellung der Anbindung u.a. mit schweren Bauteilen umgegangen werden muss. Zur Vermeidung von Anwendungsfehlern empfiehlt es sich deshalb, das Personal entsprechend zu schulen und die Herstellung der Anschlüsse im Rahmen der Bauüberwachung genau zu beobachten.

### Werkseitig in das Schachtbauwerk integrierte Anschlussysteme

Werkseitig in das (Beton-) Schachtbauwerk integrierte Anschlussysteme (Schachtfutter) bestehen in der Regel vollständig aus einem elastomeren Dichtmaterial. Die Verbindung zwischen Schachtfutter und Betonschacht wird bei den bereits werkseitig integrierten Dichtelementen in der Regel durch Einbetonieren von Verankerungsstegen hergestellt (Abb. 13).

Beim Einschieben des Rohrendes in das Schachtfutter wird das Dichtmaterial um das Spitze **komprimiert**.

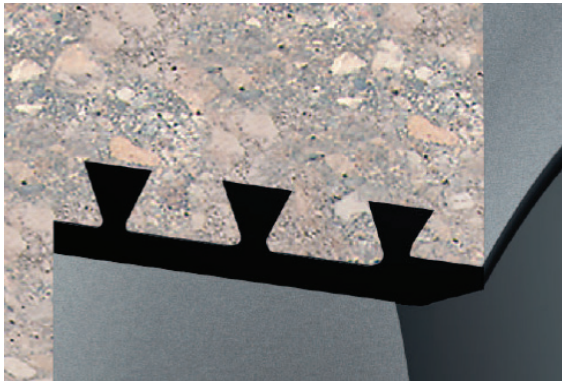


Abb. 13: Einbetonierte Verankerungsstege eines Schachtfutters (Schnittdarstellung) [31]

Ein komplexeres Beispiel ist in Abb. 14 zu sehen. Dabei handelt es sich um ein System, das für den Anschluss von PE-Rohren an Betonschächte verwendet werden kann. Für die Verbindung wird zunächst ein Schachtfutter aus Polyethylen (PE) in der Regel bereits im Betonwerk über spezielle, umlaufende Verankerungsstege in den Schacht einbetoniert.

Die Einschubmuffe wird auf das anzubindende Rohr geschoben und mit diesem verschweißt. Abschließend wird die Einschubmuffe in das Schachtfutter eingeschoben. Die Abdichtung zwischen Schachtfutter und Einschubmuffe erfolgt dabei zum einen über zwei umlaufende, elastomere Dichtringe, die von außen um die Einschubmuffe **komprimiert** werden. Ergänzend ist zwischen den beiden Dichtringen ein Ring aus quellfähigem Dichtmaterial angeordnet, der im Fall von In- oder Exfiltrationen mit Wasser in Kontakt tritt und unter Volumenzunahme ebenfalls komprimieren und abdichten soll.



Abb. 14: Bildbeispiel für ein komplexes Dichtprinzip bei Schachtanschlussystemen [32]

### Nachträglich auf der Baustelle installierte Anschlusssysteme

Für den nachträglichen Anschluss an Schacht- und Sonderbauwerke gibt es Produkte, die u.a. mit Ortbeton in das Schachtbauwerk integriert werden oder aber durch Verschrauben oder Verspannen der Einzelkomponenten montiert werden. Einige Anschlusssysteme sind sowohl für den Anschluss an Hauptkanäle als auch an Schachtbauwerke konzipiert.

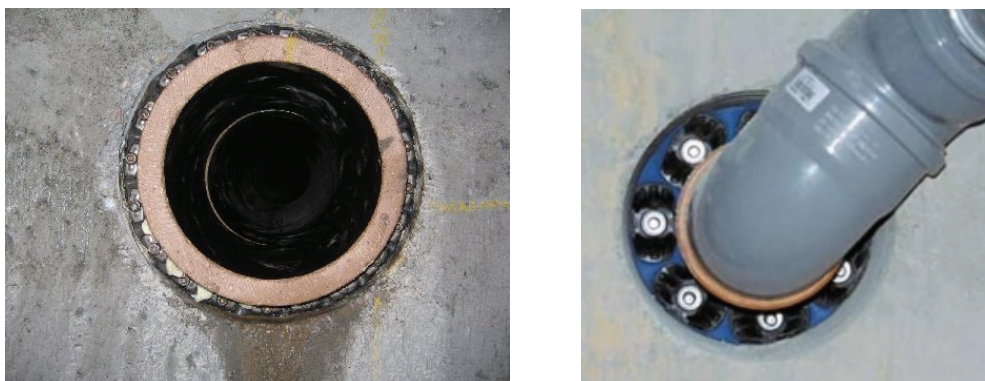
Ist der nachträgliche Anschluss an ein Schachtbauwerk beabsichtigt, muss in der Regel zunächst eine Kernbohrung entsprechenden Durchmessers durch die Schachtwand hindurch erstellt werden.



**Abb. 15:** Bildbeispiel für einen nachträglich installierbaren Schachtanschluss [30]

Einige Produkte, die bereits werkseitig in Betonschächte installiert werden können, sind ebenfalls für die nachträgliche Installation auf der Baustelle geeignet (z.B. Mauerwerkskragen). Dort können sie entweder in einem Betonschacht einbetoniert oder aber in einem Mauerwerksschacht eingemauert werden.

Wird mit hohen Verspanndrucken gearbeitet, z.B. bei Gliederketten (Abb. 16), ist darauf zu achten, dass insbesondere Kunststoffrohre durch den äußeren Verspanndruck nicht überlastet werden (Beulgefahr).



**Abb. 16:** Gliederketten zum dichten Anschluss von Rohren an (Schacht-)Wände; aus [33] (links) und [34] (rechts)



### 3.3 Werkstoffwechsel durch den Einsatz von Sanierungsverfahren

#### 3.3.1 Überblick

Beim Großteil der verfügbaren Sanierungstechniken und -verfahren kommen Reaktionsharze oder Mörtel zum Einsatz, die in noch nicht ausreagiertem Zustand auf der Baustelle verarbeitet werden müssen. Dies hat zur Folge, dass die Endprodukte auch erst vor Ort entstehen und somit werkseitige Produktionskontrollen in Form von Dichtheitsprüfungen wie z.B. bei Formteilen nicht möglich sind.

Für die meisten der in den nachfolgenden Abschnitten dargestellten Verfahrensgruppen existieren derzeit noch keine eigenen Regelwerke des Deutschen Instituts für Normung e.V. oder Produktnormen. Somit kann die DIN EN 13380 [35], die „*allgemeine Anforderungen an Bauteile für die Renovierung und Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen außerhalb von Gebäuden*“ behandelt, für allgemeine Anforderungen hinsichtlich Dichtheit herangezogen werden. Sie gilt im Detail auch für bei der Renovierung oder Reparatur von Abwasserleitungen eingesetzte Werkstoffe wie Mörtel oder Chemikalien und liefert allgemeine Grundsätze für die Ausarbeitung oder Überarbeitung von Produktnormen. Anforderungen hinsichtlich Außenwasserdruck- bzw. Infiltrationsdichtheit sind dort nicht aufgeführt, sondern lediglich Anforderungen an die Innendruckdichtheit bis 0,5 bar. Sollen jedoch „*die Leistungsanforderungen an ein saniertes System denen an ein neues System entsprechen*“ (vgl. z.B. [36]), scheinen auch Anforderungen an die Außenwasserdruckdichtheit der Bauteile angemessen.

In den nachfolgenden Ausführungen sind Produktbeispiele aus den einzelnen Produktgruppen dargestellt. In Anhang I sind weitere Produkte aufgeführt. Umfassende Angaben zu den Einsatzbereichen, Prüfzeugnissen zur Infiltrationsdichtheit sowie Konstruktionsrisiken werden dort aufgezeigt.

### 3.3.2 Werkstoffwechsel innerhalb von Haltungen

Werkstoffwechsel innerhalb von Kanalhaltungen entstehen bei der Sanierung fast ausnahmslos durch Reparaturverfahren, nämlich an der Schnittstelle zwischen Altrohr und Sanierungsmaterial. Definitionsgemäß werden Reparaturverfahren für die Behebung örtlich begrenzter Schäden eingesetzt [37]. Zu der Gruppe der Reparaturverfahren zählen nach ATV-DVWK Merkblatt 143-1 [36] folgende Verfahrensgruppen:

- Kurzliner,
- Innenmanschetten,
- Injektionsverfahren,
- Spachtelverfahren (Roboterverfahren),
- Reparatur von Fugen u. Rohrverbindungen mit Abdichtungsstoffen von Hand,
- Reparatur von Hand von Innen,
- Kleinbaugruben, z.B. für den Austausch einzelner Rohre.<sup>1</sup>

Eine Auswahl charakteristischer und örtlich begrenzter Schadensbilder, die sich für die Reparatur mit einem der oben genannten Verfahren prinzipiell eignen, ist in Abb. 17 dargestellt. Je nach Verfahren können unterschiedliche Rohrinnenweiten und Rohrwerkstoffe repariert werden, z.T. auch Sonderprofile (z.B. Eiprofile).



**Abb. 17:** *örtlich begrenzte Schadensbilder im Kanal (Beispiele); umlaufender Querriss (links); Scherbenbildung (Mitte); fehlendes Wandungsteil (rechts)*

Die Grundproblematik beim Einsatz der meisten Reparaturverfahren unter Grundwassereintritt liegt darin, dass sie überwiegend mit Sanierungsharzen oder Mörteln arbeiten, die nach dem Einbau noch eine gewisse Zeit aushärten müssen. Verfahrensabhangig kann der Aushärtevorgang bis zu mehreren Stunden dauern. Unter fortbestehendem Wasserdruck und – eintritt an der betroffenen Schadstelle besteht aus diesem Grund während des Aushartevorganges die Gefahr, dass Teile des eingesetzten Sanierungsharzes oder Mörtels wieder aus dem schadhaften Bereich herausgespült werden. Die Reparatur ist in solchen Fällen möglicherweise nicht erfolgreich.

Der (adhasionsschlussige) Verbund der Sanierungsmaterialien zum Untergrund und somit auch die Untergrundvorbereitung im Vorfeld der Reparatur sind für die Abdichtung gegen In-

<sup>1</sup> Bauteile wie Auenmanschetten, die beim Austausch einzelner Rohre für die Verbindung zwischen Alt- und Neurohr eingesetzt werden können, werden in Kapitel 3.2 näher behandelt.

und Exfiltration von entscheidender Bedeutung. Die Ausführungsqualität kann demzufolge auch als ein wesentliches Konstruktionsrisiko für die Reparaturverfahren angesehen werden.

Die Verfahrensqualität von insgesamt zwölf Reparaturverfahren (Kurzliner, Innenmanschetten, Injektionsverfahren) wurde im Jahr 2009 im Rahmen eines IKT-Warentests bereits eingehend überprüft. Im Rahmen des Prüfprogramms wurden vielversprechende Verfahren ebenfalls für Reparaturarbeiten unter Grundwassereintritt eingesetzt und im Anschluss der Außenwasserdruck noch für eine geraume Zeit aufrechterhalten und sogar angehoben. Mit dem Großteil der untersuchten Verfahren konnten dabei infiltrationsdichte Reparaturergebnisse hergestellt werden. Nähere Angaben zu dem Untersuchungsablauf und den Ergebnissen können dem Endbericht zum IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ [38] entnommen werden. Weitere Erkenntnisse zu der Außenwasserdruckbeständigkeit von Reparaturverfahren werden derzeit im Rahmen von ergänzenden Untersuchungen zu dem betreffenden IKT-Warentest gewonnen (geplante Fertigstellung bis Mitte 2011).

Die vorgenannten Verfahrensgruppen (geschlossene Bauweise) werden nachfolgend näher erläutert. Verfahren, die bei Lage des Schadens in unmittelbarer Nähe zum Schacht oder im begehbaren Bereich manuell ausgeführt werden können, werden in Kapitel 3.3.4 erläutert.

## Kurzliner

Bei Kurzlinern handelt es sich um partielle Auskleidungen des Kanals, die aus einem Trägermaterial in Kombination mit einem Sanierungsharz bestehen. Als Trägermaterialien kommen üblicherweise Glasfasergewebe oder Polyesternadelfilze zum Einsatz, als Harze stehen u.a. Epoxid-, Polyurethan- oder Silikatharze zur Verfügung. Von stark schrumpfenden Harzen wird bei der Herstellung abgeraten. [39]

Für eine möglichst gute **Verbundwirkung** zwischen Kurzliner und Altrohr wird in den relevanten Regelwerken wie z.B. dem ATV-DVWK-Merkblatt 143 Teil 7 [39] und in den Handbüchern der Verfahrensanbieter die Untergrundvorbereitung in Form von Fräsarbeiten sowie gründlicher Reinigung empfohlen. Der Verbund zwischen Altrohr und Kurzliner ist entscheidend für die dauerhafte Abdichtung, deshalb dürfen nach der Untergrundvorbereitung keine Fette oder sonstigen Rückstände mehr auf der Rohroberfläche zurückbleiben [40].

Die Konfektionierung des Kurzliners erfolgt in Abhängigkeit von der Nennweite des Kanals und der Schadensgeometrie. Das Trägermaterial wird mit der erforderlichen Menge Reaktionsharz getränkt (vgl. Abb. 18), auf einen Versetzpacker aufgewickelt und so zur Schadstelle im Kanal transportiert.

Unter Expansion des Packers mittels Druckluft wird die harzgetränkte Gewebemanschette dort mit einem verfahrensabhängigen Druck (Größenordnung etwa 0,7 bar) an die Rohrwand angedrückt.



**Abb. 18:** *Trägermaterial für Kurzliner vor der Harzimprägnierung (links); Harzimprägnierung des Trägermaterials (Mitte); eingebauter Kurzliner im Kanal (rechts)*

Nach der Applikation im Kanal muss der Kurzliner unter Beibehaltung des Anpressdruckes durch den Sanierungspacker noch einige Zeit aushärten. Die Aushärtezeiten hängen zum einen von dem Sanierungsharz und zum anderen von den örtlichen Randbedingungen wie insbesondere der Temperatur ab. Mit Blick auf Grundwasserinfiltration im Bereich der Schadstellen wird bei zu starkem Wassereindrang empfohlen, ggf. durch geeignete Maßnahmen vorabdichten. [39]

Im Endbericht zum IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ [38] sind weitere Ausführungen zur Verfahrensgruppe „Kurzliner“ enthalten.

## Innenmanschetten

Innenmanschetten für die Reparatur örtlich begrenzter Kanalschäden bestehen in der Regel aus Edelstahl oder Polyvinylchlorid (PVC) und werden vor dem Einbau an der Schadstelle auf der Außenseite mit dem vorgesehenen Dichtmaterial versehen.

Die Dichtfunktion der Innenmanschetten kann entweder durch das Auftragen von Reaktionsharzen oder Mörteln auf der Außenseite der Manschette oder durch Applikation eines Elastomermantels auf der Manschette erzielt werden. Der Einbau aller Systeme erfolgt prinzipiell gleich, lediglich die Vorarbeiten und die Vorbereitung der jeweiligen Innenmanschette unterscheiden sich teilweise.

In Abb. 19 wird der Einbau einer Innenmanschette auszugsweise dargestellt, bei der die Abdichtung über einen Gummi-Ummantelung realisiert wird. Die Innenmanschette wird zunächst mit dem Dichtmaterial ummantelt und so präpariert auf einem Versetzpacker (Abb. 19) zur Schadstelle im Kanal transportiert. Unter Expansion des Versetzpackers an der Schadstelle wird die Manschette aufgeweitet und die Gummi-Ummantelung an die Rohrwand angedrückt. Durch Rücklaufsperrn in den Schlössern der Edelstahlmanschetten bleibt die Aufspannung dauerhaft aufrechterhalten. Die Abdichtung der Schadstelle wird somit durch **Kompression** an den Dichtlippen bewirkt.



**Abb. 19:** *Innenmanschette mit Gummi-Ummantelung vor dem Einbau (links); Innenmanschette auf dem Versetzpacker (Mitte); eingebaute Innenmanschette (rechts)*

In Abb. 20 ist auszugsweise der Einbau einer Innenmanschette dargestellt, die ihre Dichtfunktion unter Verwendung eines Reaktionsharzes erzielt. Die Dichtfunktion hängt ab von dem **Verbund** des eingesetzten Reaktionsharzes zum Altrohr, so dass hier die Untergrubenvorbereitung eine mitunter entscheidende Rolle spielen kann [39].

In einem ersten Schritt wird die Außenseite der Innenmanschette, die in dem Bildbeispiel aus Edelstahl besteht, mit Reaktionsharz beschichtet (Schichtdicke mehrere Millimeter) und so vorbereitet auf dem Versetzpacker an der Schadstelle positioniert. Unter Druckbeaufschlagung des Versetzpackers wird die Außenseite der Innenmanschette an die Rohrwand angedrückt. Der Versetzpacker verbleibt noch einige Zeit an dieser Position im Kanal, da das Reaktionsharz noch aushärten muss. Neben der Beschichtung mit Reaktionsharz besteht außerdem die Möglichkeit, die Edelstahlmanschette mit einem harzgetränktem Glasfasergewebe zu ummanteln.



**Abb. 20:** Beschichten einer Edelstahlmanschette mit Reaktionsharz (links); vollständig vorbereitete Innenmanschette auf dem Versetzpacker (Mitte); im Kanal installierte Innenmanschette (rechts)

Durch die Anordnung mehrerer Innenmanschetten hintereinander in Reihe ist auch eine Reparatur von Schadensbildern möglich, die in Längsrichtung die Länge einer Einzelmanschette übersteigen.

Weitere Ausführungen zur Verfahrensgruppe „Innenmanschetten“ können dem Endbericht zum IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ [38] entnommen werden.

### Injektionsverfahren

Für die Reparatur mittels Injektionsverfahren werden u.a. Reaktionsharze auf Polyurethanbasis eingesetzt. Die Dichtwirkung wird über den Verbund zwischen Sanierungsmaterial und Altrohr hergestellt.

Die Reparatur erfolgt für alle verfügbaren Verfahren in der Regel in ähnlicher Weise. Es wird ein Injektionspacker entsprechender Nennweite und Länge (abhängig von der Ausdehnung des Schadensbildes) ausgewählt, der auf halber Länge eine oder mehrere Injektionsöffnungen hat. Der Injektionspacker wird mittels Seilwinde an die zu sanierende Schadstelle transportiert und dort unter Druckbeaufschlagung aufgeweitet. Die Injektionsöffnung des Packers sollte idealerweise an dem schadhaften Bereich anliegen. Über Harzzuleitungen werden die Injektionskomponenten zur Schadstelle transportiert und dort über die Injektionsöffnungen des Packers verpresst. In Abb. 21 sind der Packereinsatz und das Sanierungsergebnis beispielhaft dargestellt.



**Abb. 21:** Beispiel für einen Injektionspacker (links); Injektionspacker im Kanal (Mitte); freigelegte Injektionskörper in der IKT-Versuchshalle (rechts)

Nach der Injektion verbleibt der Packer noch über einen verfahrensabhängigen Zeitraum an der Schadstelle, damit das Sanierungsmaterial aushärten kann.

Um eine möglichst ideale Verteilung des Injektionsmaterials an der Schadstelle zu erreichen die Haftung in den Rissflanken zu verbessern, sind mitunter umfangreiche Fräsarbeiten erforderlich. Ggf. können auch Hohlräume im Umfeld der Schadstelle mit dem Sanierungsmaterial verfüllt werden.

Weitere Ausführungen zur Verfahrensgruppe „Injektionsverfahren“ können dem Endbericht zum IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ [38] entnommen werden.

### Roboterverfahren (Spachtel- und Verpressverfahren)

Bei der Reparatur mittels Roboterverfahren können partielle Schäden entweder verpresst oder verspachtelt werden. Als Sanierungsmaterialien kommen Reaktionsharze wie beispielsweise Epoxidharze oder mineralische Kleber zum Einsatz.

Für eine gute **Verbundwirkung** und damit Abdichtung an der Schadstelle ist auch bei diesem Verfahren die Untergrundvorbereitung von entscheidender Bedeutung. Für gewöhnlich werden im Rahmen dieser Untergrundvorbereitung sowohl umfangreiche Fräs- als auch Reinigungsarbeiten durchgeführt, so dass im Anschluss daran keine Fette oder sonstigen Rückstände mehr im unmittelbaren Schadensbereich vorhanden sind. Von besonderer Bedeutung bei den Fräsarbeiten sind die Rissflanken, auf denen das eingebrachte Sanierungsmaterial nach Möglichkeit gut haften muss. Je nach Schadensart wird im Anschluss an die Untergrundvorbereitung das betreffende Schadensbild entweder verpresst odererspachtelt. Rissbildungen von geringer Breite (wenige mm) werden in der Regelerspachtelt, wohingegen größere Ausbrüche oder Fehlstellen meist unter Zuhilfenahme einer speziellen Schalungstechnik verpresst werden. [vgl. 38, 41]

Wird ein Schadensbild verpresst, muss zunächst mit einem eigens dafür konzipierten Setzgerät eine Schalungsmanschette (siehe Abb. 22, links) an der Schadstelle platziert und dort aufgeweitet werden, bis sie sich umlaufend an die Rohrinne drückt.



**Abb. 22:** *Setzgerät mit Schalungsmanschette (links); Verpressschuh mit Radialspachtel (Mitte); Sanierungsroboter beim Verspachteln im Rohr (rechts) [38]*

Der Sanierungsroboter wird daraufhin mit einem entsprechenden Verpresswerkzeug sowie ggf. einer Vorratskartusche mit Sanierungsmaterial bestückt und in den Kanal eingelassen. Über Verpressöffnungen in der Schalungsmanschette wird anschließend Sanierungsmaterial in die Schadstelle eingepresst. Die Schalungsmanschette wird nach Aushärtung des Sanierungsharzes entfernt.

Bei der Verspachtelung von Rissbildern wird der Sanierungsroboter mit einem entsprechend der Rissbildung konzipierten Spachtelwerkzeug (z.B. Radialspachtel oder Längsspachtel; Abb. 22 Mitte) sowie einem Verpresswerkzeug und ggf. einer Vorratskartusche mit Sanierungsmaterial eingesetzt. An der Schadstelle im Kanal wird mit dem Verpresswerkzeug zunächst Sanierungsmaterial auf den Riss aufgetragen und anschließend mit dem Spachtelwerkzeug glattgezogen (Abb. 22, rechts).

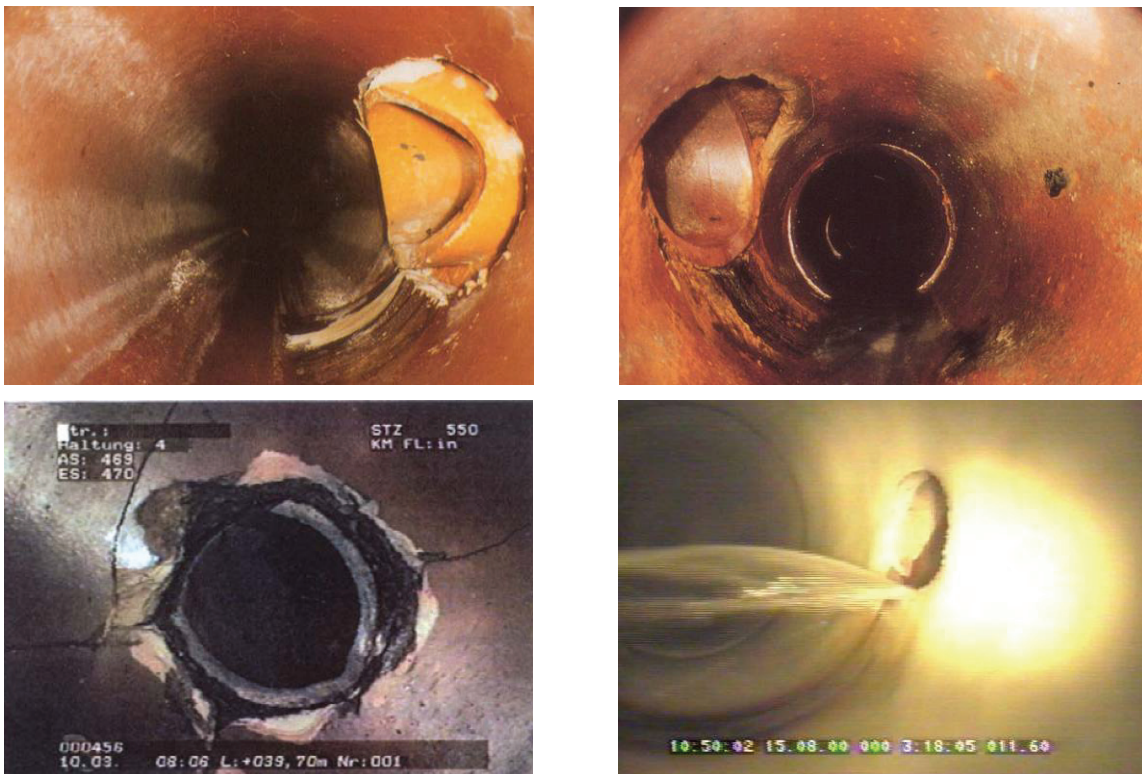
Weitere Ausführungen zur Verfahrensgruppe „Roboterverfahren“ sind im Endbericht des IKT-Warentests „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ [38] enthalten.



### 3.3.3 Werkstoffwechsel im Bereich seitlicher Anschlüsse

Die Sanierung defekter, seitlicher Anschlüsse kann in offener oder geschlossener Bauweise vorgenommen werden. Wird die offene Bauweise gewählt, werden defekte Formteile und falls nötig Kanal- oder Leitungsabschnitte erneuert. Bei der geschlossenen Bauweise kommen Reparaturverfahren, d.h. zum einen Injektions- und zum anderen Hutprofilverfahren, zum Einsatz. Die Arbeiten erfolgen bei der Reparatur in geschlossener Bauweise ausschließlich aus dem Hauptkanal heraus. [2]

Ein zu berücksichtigendes Kriterium bei der Entscheidung zwischen offener und geschlossener Bauweise sollte die Art des vorliegenden Schadensbildes sein. So eignen sich Reparaturverfahren in der Regel für Schadensbilder, die sich im Wesentlichen auf den unmittelbaren Anschlussbereich beschränken, während der Hauptkanal im Bereich des Anschlusses noch weitestgehend intakt ist (Abb. 23, oben links und rechts). Befinden sich hingegen in dem betreffenden Abschnitt des Hauptkanals ebenfalls Schädigungen (Abb. 23, unten links), ist der Einsatz der Reparaturverfahren meist nicht zielführend. Hier muss entweder mit einem geeigneten Verfahren auch der Hauptkanal saniert werden oder es ist der offenen Bauweise, bei der der gesamte schadhafte Anschlussbereich erneuert wird, der Vorzug zu geben.



**Abb. 23:** *Schadhafte Anschlüsse (Beispiele): einragender Anschlussstutzen (oben links); nicht fachgerechter Anschlussstutzen mit sichtbarem Erdreich (oben rechts); schadhafte Anschlussstutzen mit Riss- und Scherbenbildung (unten links); Fremdwassereintritt an schadhaftem Anschlussstutzen (unten rechts)*

Für die heute vorzufindenden Schadensbilder an seitlichen Anschlüssen gibt es vielfältige Ursachen. So gab es etwa in früherer Zeit noch keine Bohrergeräte und Formteile (Anschlussformteile, Sattelstücke und Abzweige). Aus diesem Grund wurden die Hauptkanäle für die

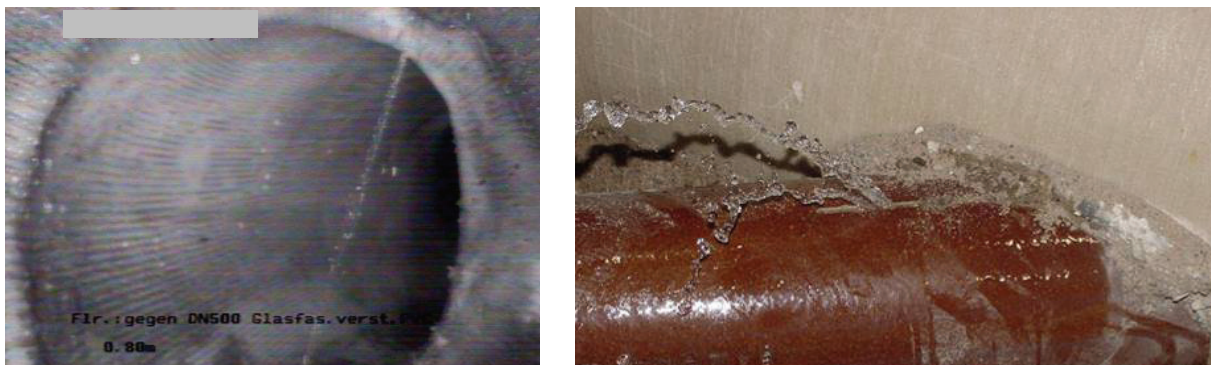
Anbindung von Anschlussleitungen seinerzeit aufgestemmt, die Anschlussleitung eingeführt und abschließend die Anbindungsstelle umliegend mit z.B. Ton, Zementmörtel oder Gussasphalt verspachtelt. Diese nach heutigem Standard veraltete Verbindungsart in Kombination mit Ausführungsfehlern, Werkstoffalterung, Lageabweichungen infolge von Setzungen und mechanischem Verschleiß durch jahrzehntelange Belastungen aus dem Kanalbetrieb führt zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von Schäden wie in Abb. 23. Im Sanierungsfall ist zu beachten, dass die Anschlussleitungen mit unterschiedlichsten Anschlusswinkeln an die Hauptkanäle angebunden sind. Dies ist bei der Auswahl der Reparaturverfahren zu berücksichtigen. (vgl. [2])

Laut Herstellerangaben sind die verfügbaren Reparaturverfahren für defekte Anschlussstutzen überwiegend auch für die Fremdwassersanierung geeignet. Wie allerdings bereits in Kapitel 3.3.2 bei den Reparaturverfahren für Hauptkanäle dargestellt, bestehen vor der Aushärtung des Sanierungsmaterials bei Grundwassereintritt Risiken hinsichtlich Materialauspülungen. Darüber hinaus ist denkbar, dass die Haftung je nach Feuchtegrad beeinträchtigt wird oder es zu einer Materialveränderung infolge einer Vermischung mit Wasser kommt.

Im Jahr 2004 wurden im Rahmen eines IKT-Warentests insgesamt 13 Reparaturverfahren (sieben Injektions- und sechs Hutprofilverfahren) eingehend auf ihre Einsatzfähigkeit hin untersucht. In den Versuchen wurde u.a. ein Grundwasseranstieg simuliert. Bei den Außen- druckprüfungen wurden folgende Ergebnisse beobachtet:

- Hutprofilverfahren (Wasser bis 50 cm über Rohrscheitel): 1 von 15 Reparaturen dicht,
- Injektionsverfahren (Wasser bis Rohrscheitelhöhe): 5 von 21 dicht.

Abb. 24 zeigt beispielhaft Eindrücke aus den Systemprüfungen des damaligen Warentests.



**Abb. 24:** *Wassereintritt durch ein Hutprofil unter Außenwasserdruck (links); Wasseraustritt aus einer mit Hutprofil sanierten Anbindungsstelle (rechts) [2]*

Die Ergebnisse des IKT-Warentests waren insgesamt nicht zufriedenstellend, so dass es sinnvoll erscheint, Weiter- und Neuentwicklungen auf dem Markt erneut zu testen (Verfahrensqualität).

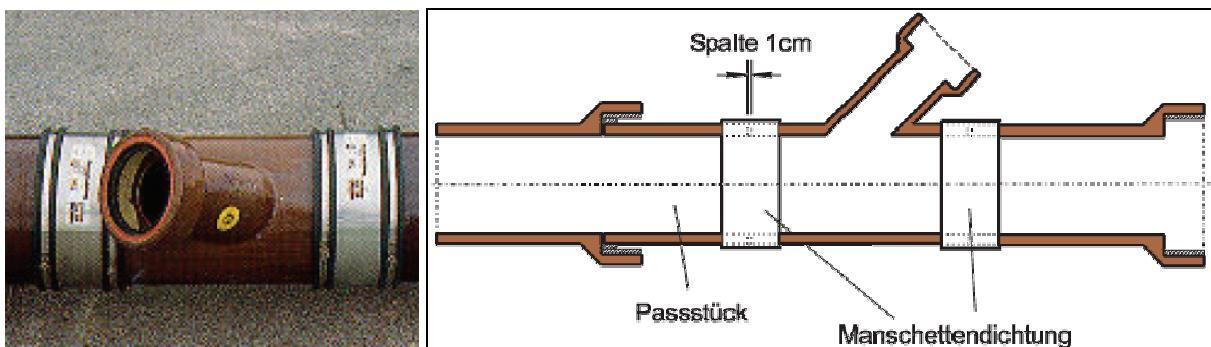
Aus den Rechercheergebnissen geht hervor, dass die Reparaturverfahren für den Einsatz in geschlossener Bauweise ausschließlich mit Reaktionsharzen oder Mörteln für die Abdichtung arbeiten. Der (adhäsionsschlüssige) **Verbund** der Sanierungsmaterialien zum Untergrund ist somit von großer Bedeutung für die Abdichtung. Damit kommt auch der Untergrundvorbereitung eine wichtige Rolle zu. Wird sie nicht in dem erforderlichen Maß vorge-

nommen, bestehen konstruktionsbedingt Risiken hinsichtlich der Dichtwirkung (Ausführungsqualität). Nachfolgend werden die genannten Reparaturverfahren näher erläutert.

### Reparatur in offener Bauweise

Bei der Sanierung seitlicher Anschlüsse in offener Bauweise werden defekte Formteile und falls nötig Kanal- oder Leitungsabschnitte erneuert. [2]

Die Wiederanbindung des erneuerten Abschnittes an den ursprünglichen Kanal wird in solchen Fällen gemäß Abb. 25 mit beispielsweise Manschettendichtungen vorgenommen, die den Verbindungsbereich durch **Kompression** eines elastomeren Dichtmaterials an den Rohraußenseiten abdichten (Details zu den eingesetzten Bauteilen siehe auch Kapitel 3.2).

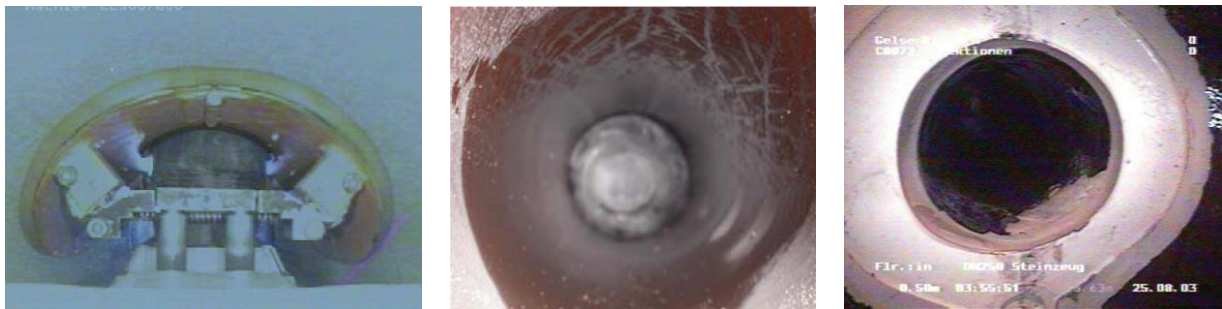


**Abb. 25:** *Beispiel für bei der Anbindung eingesetzte Manschettendichtungen (links) [27]; Anbindung des erneuerten Leitungsabschnittes an den Altbestand (schematische Darstellung) [42]*

### Injektionsverfahren (geschlossene Bauweise)

Bei Reparatur defekter Anschlussstutzen mittels Injektionsverfahren werden der Stutzen und die unmittelbar angrenzenden Rohrbereiche zunächst in Abhängigkeit vom Schadensbild mit einem Fräsroboter vorbereitet [2]. Dabei werden zum einen einragende Bestandteile (z.B. Schadensbild einragender Stutzen) aus dem zu sanierenden Bereich entfernt und zum anderen die Oberfläche für eine gute **Verbundwirkung** zwischen Sanierungsmaterial und Altrohr aufgeraut und der Bereich gereinigt. Im Anschluss daran wird mittels Kanalroboter eine Schalung unter dem defekten Anschlussstutzen positioniert und darüber hinaus eine Blase in den Anschlusskanal eingeführt und dort expandiert (Abb. 23). Der Verpressraum ist somit abgedichtet und es wird damit begonnen, das Injektionsmaterial in die Schadstelle zu verpressen. Als Injektionsmaterialien werden zementgebundene Mörtel, Epoxidharze oder Silikatharze verwendet. Der gesamte Sanierungsvorgang verläuft ferngesteuert aus dem Sanierungsfahrzeug heraus.

Das Sanierungsmaterial muss nach dem Einbringen in die Schadstelle noch aushärten. Der Aushärtprozess verläuft entweder unter Umgebungstemperatur oder ggf. unterstützt durch Wärmeerzeugung. Nach der Aushärtung wird die Schalung aus dem Anschlussbereich entfernt. Sofern erforderlich, erfolgen daraufhin noch Nacharbeiten (z.B. Entfernung von Harzüberschüssen).



**Abb. 26:** *Beispielbilder für die Sanierung mit Injektionsverfahren; Schalung unter dem defekten Anschlussstutzen (links); Absperrblase in der Anschlussleitung (Mitte); fertig verpresster Anschlussstutzens (rechts)*

Die angebotenen Injektionsverfahren sind überwiegend in Hauptkanälen der Nennweiten DN 200 bis DN 800 und Anschlusskanälen DN 80 bis DN 200 einsetzbar.

Die Verfahren wurden überwiegend für Reparaturarbeiten in Kreisprofilen konzipiert, nur wenige sind außerdem in Eiprofilen einsetzbar. Grundsätzlich zählen auch mittels Relining sanierte Hauptkanäle zum Einsatzbereich der Injektionsverfahren. Neben der reinen Schadenssanierung können mit den Injektionsverfahren außerdem Hohlräume im umgebenden Erdreich verpresst werden. [2]

### Hutprofilverfahren (geschlossene Bauweise)

Bei Hutprofilen handelt es sich um Verfahren zur Einbindung von Zuläufen in Kanäle; sie bestehen aus einem Trägermaterial in Kombination mit einem Harzsystem (ggf. mit Innen- und Außenfolie). Häufig werden sie in Kombination mit im Hauptkanal und/oder der Anschlussleitung eingebauten Renovierungsverfahren eingesetzt. (vgl. [43])

Die Hutprofile werden aus einem Trägermaterial (Synthesefasern, Polymerfasern, korrosionsbeständige Verstärkungen z.B. aus Glasfasern oder Kombinationen) hergestellt, das aus einem Schlauchstück mit Kragen bzw. Krempe besteht (vgl. Abb. 27). Die geometrischen Abmessungen von Schlauchstück und Krempe variieren verfahrensabhängig, liegen aber ungefähr in Bereichen von 50 bis 100 mm für die Breite der Krempe und mindestens 200 mm Länge für das Schlauchstück. Die relevante technische Norm DIN EN 13566-4 [44] fordert sowohl für die Breite der Krempe als auch für die Einbindetiefe ein Maß von mindestens 50 mm. Sofern die Einbaulänge 400 mm übertrifft, dient dies laut dem RSV-Merkblatt 7.2 [43] gleichzeitig zur Renovierung der Anschlussleitung. In [43] werden folgende Einsatzarten für Hutprofile unterschieden:

- renovierte und nicht renovierte Hauptkanäle,
- mit PE-Inliner renovierte Hauptkanäle (Krempe des Hutprofils aus PE),
- renovierte und nicht renovierte Hauptkanäle (Krempe des Hutprofils aus PVC),
- mit Wickelrohrverfahren renovierte Hauptkanäle (Hutprofile aus PVC).

Als Harzsysteme kommen Epoxid (EP-) Harze, PUR- (Isocyanat-, Silikat-, Organomineralische) Harze, ungesättigte Polyester- (UP-), Vinylester- (VE-) Harze oder Methacrylat- (AY-) harze zum Einsatz (UP und VE-Harze nur unter Einsatz von Haftbrücken).



**Abb. 27:** *Sanierung mit Hutprofilverfahren (Beispiel); Trägermaterial (links); Einbaupacker mit imprägniertem Trägermaterial auf dem IKT-Gelände (Mitte); installiertes Hutprofil im Kanal (rechts)*

Zu Beginn des Reparaturvorganges wird der defekte bzw. nicht fachgerechte Stutzen mittels eines Fräsroboters vorbereitet, um zum einen einragende Bestandteile (z.B. Schadensbild einragender Stutzen) aus dem zu sanierenden Bereich zu entfernen und zum anderen die Oberfläche für eine gute **Verbundwirkung** zwischen Hutprofil und Altrrohr aufzurauen. Falls zuvor ein Liner in den Hauptkanal eingebaut wurde, muss dieser mittels Fräsroboter im Bereich des Stutzens geöffnet werden und zur Verbesserung der Haftung der später von der Hutprofilkrempe überdeckte Bereich des Liners mit einer Stahlbürste aufgeraut werden. Da-

nach wird der Stutzenbereich gereinigt. Vor dem Einbau wird das Trägermaterial mit einem Harzsystem imprägniert mit dem Ziel, dass in eingebautem Zustand die Krempe an der Rohinnenwand und das Schlauchstück in der Anschlussleitung verklebt sind. Die Imprägnierung erfolgt in der Regel manuell, wird bei einigen Verfahren allerdings durch Erzeugen eines Vakuums unterstützt. Im Anschluss wird das imprägnierte Hutprofil mittels Packer und Kanalroboter zur Schadstelle transportiert (vgl. Abb. 27, Mitte). Durch Expansion des Packers im Bereich des defekten Stutzens wird das Schlauchstück des Hutprofils an die Wandung der Anschlussleitung und die Krempe an die Wandung des Hauptkanals angepresst. [2]

Der Einbauvorgang läuft ferngesteuert aus dem Fahrzeug heraus ab. Die Aushärtung des eingebauten Hutprofils verläuft verfahrensabhängig entweder unter Umgebungstemperatur oder wird durch Wärmeerzeugung unterstützt. Beim Härtungsvorgang dürfen keine Ablösungen oder Schrumpfrisse entstehen, da sonst die Formstabilität und Dichtheit gefährdet sind. Bei Bedarf werden nach Entfernen des Packers aus dem Sanierungsbereich noch Nacharbeiten durchgeführt. Der Einsatz bei der Fremdwassersanierung ist möglich, im Fall zu starken Grundwassereintritts jedoch muss eine geeignete Vorabdichtung erfolgen. [43]

Nach Angaben des RSV-Merkblattes 7.2 [43] existiert für die Hutprofilverfahren derzeit keine normativ geregelte, einheitliche Dichtheitsprüfung. Für gewöhnlich wird sie jedoch anhand einer optischen Kontrolle durchgeführt.

### 3.3.4 Werkstoffwechsel bei Schacht- und Sonderbauwerksanschlüssen

Für die Sanierung defekter Schachtanschlüsse werden unterschiedliche Techniken aus dem Bereich der Reparaturverfahren eingesetzt, denn auch hierbei handelt es sich um örtlich begrenzte Defekte.

Im Gegensatz zu Abschnitten innerhalb des Kanals ist der Anschluss an Schächte oder andere Sonderbauwerke jedoch ein Bereich, der auch in nicht begehbaren Nennweiten in der Regel für Personen zugänglich ist. Aus diesem Grund erfolgen erforderliche Reparaturarbeiten dort häufig händisch. Ein wesentlicher Unterschied besteht in der Reparatur von Anbindungen an Kanäle mit oder ohne Innenauskleidung, auch wenn die angebotenen Verfahren häufig in beiden Fällen eingesetzt werden. Zu beachten ist bei der Anbindung von Kanälen mit Innenauskleidung, dass hier zwei Sanierungsverfahren, die Innenauskleidung und die Anbindungstechnik, an der Schnittstelle zusammentreffen und dort materialbedingt auch Wechselwirkungen unterliegen. Für die gegenwärtig 26 Schlauchlinersystemen mit DIBt-Zulassung (vgl. [45]), die mitunter noch für verschiedene Harztypen gelten, ist bereits übersichtlich eine Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten gegeben. Da gemäß [46] bei ca. 18 % aller Sanierungsmaßnahmen in der öffentlichen Kanalisation Reliningverfahren eingesetzt werden, müssen mit entsprechender Häufigkeit auch die Anbindungen an die Schachtbauwerke wasserdicht hergestellt werden. Für die fachgerechte Wiederanbindung von Schlauchlinern an Schächte wird in der DIN EN 13566-4 [44] beispielsweise gefordert, dass jeglicher verbleibender Ringspalt zwischen dem Schlauchliner und der Rohrleitung unter Verwendung eines geeigneten Kunststoffmörtels zu versiegeln ist. Das Sanierungsergebnis soll dabei in der Lage sein, dem maximal zu erwartenden Grundwasserdruck im Ringspalt standzuhalten.

Weiteres Ziel einer Sanierung im Schachtanschlussbereich sollte sein, einen gelenkigen Verbund zwischen in der Regel zwei unterschiedlichen Materialien herzustellen, der darüber hinaus außerdem langfristig beständig gegenüber betrieblichen Belastungen wie z.B. der Kanalreinigung ist.



**Abb. 28: Undichte Schachtanbindungen (Beispiele)**

Nach derzeitigem Kenntnisstand stellen Undichtigkeiten im Bereich der Zu- und Abläufe, wie sie beispielhaft in Abb. 28 dargestellt sind, ein häufig auftretendes Schadensbild an Abwasserschächten dar [46]. In der Praxis werden für die Sanierung häufig Kurzliner oder Injektionen auf PU-, Epoxid- oder Acryltharzbasis und / oder mineralische Stopfmörtel eingesetzt. Inwieweit die Verfahren auch für den Einsatz im Grundwasser geeignet sind, wurde im Rah-

men von [47] untersucht. Die Erkenntnisse aus diesem Forschungsprojekt sind in Ansätzen in Abschnitt 4.4 dargestellt. Darüber hinaus gibt es Innenmanschetten, die speziell für die Reparatur defekter Schachtanbindungen konzipiert wurden. Die Funktionsweise ist vergleichbar mit der in Abschnitt 3.2.2 dargestellten für Innenmanschetten, die Bauteile sind jedoch kürzer.

Noch schwieriger gestaltet sich die Situation, wenn die Zu- und Abläufe dicht an eine Beschichtung oder Auskleidung des Schachtkörpers anzubinden sind. In solchen Fällen werden in der Praxis Formteile in die Zu- und Abläufe eingesetzt und diese an die Auskleidung anlaminiert, geklebt oder unter Verwendung eines elastomeren Dichtrings gesteckt. [3]

Nachfolgend wird die Anschlussanierung mit Injektionsverfahren näher dargestellt. Weitere Informationen zur Sanierung mit Kurzlinern und Innenmanschetten können Abschnitt 3.3.2 entnommen werden. Auf die speziellen Anbindungstechniken für Schlauchlinersysteme und andere Innenauskleidungen für Abwasserkanäle wird in diesem Abschnitt nicht näher eingegangen, da sie in Abschnitt 4.3 im Rahmen der Voruntersuchungen bereits näher beleuchtet und dargestellt werden.

### **Anschlussanierung mit Injektionsverfahren**

Schadhafte Schachtanbindungen können u.a. mit Injektionsverfahren abgedichtet werden. Als Injektionsmaterialien kommen dabei elastische Polyurethane sowie Harze auf Epoxid- oder Acrylatbasis zum Einsatz. Bei der Auswahl eines geeigneten Injektionsmaterials sollte berücksichtigt werden, dass die Schachtfutter üblicherweise aus Kunststoffen (z.B. GfK) bestehen.

Im Wesentlichen wird das Sanierungsmaterial bei der Reparatur in den Ringraum zwischen Betonrohr und Schachtfutter injiziert und soll dort nach der Aushärtung die Funktion der ursprünglichen Dichtung übernehmen. Da möglicherweise zu späteren Zeitpunkten noch Setzungen im sanierten Übergangsbereich zwischen Abwasserschacht und Kanal auftreten können, sollte die Füllung des Schachtfutters durch das Injektionsverfahren elastisch sein und das Injektionsmaterial dahingehend ausgewählt werden. Um das Verfahren zielführend einsetzen zu können, ist eine Mindestweite des Ringspaltes erforderlich, da andernfalls nicht genügend Material eingebracht werden kann. Die Einsatzfähigkeit ist z.B. in Fällen, in denen das angebundene Rohr in der Sohle unmittelbar auf dem Schachtfutter anliegt, fraglich.

Zu Beginn des Reparaturvorganges wird zunächst eine offenporige Hinterfüllschnur in den Fugenspalt eingelegt und der Fugenspalt mit EP-Harzmörtel oder Betonkleber bündig zur Rohrwand verschlossen. Die beschriebene Konstruktion dient als „Verdämmung“ und soll verhindern, dass während des Injektionsvorganges Teile des Injektionsmaterials über undichte Bereiche im Schachtfutter in den Schacht eintreten.

Daraufhin werden um die Anbindung herum in Sohle, Kämpfern und Scheitel Bohrungen angebracht, in die die Bohrpacker für die Harzinjektion eingesetzt werden können. Die Injektion des Polyurethanharzes erfolgt daraufhin in der Regel über den untersten Packer. Die übrigen Packer werden in erster Linie zur Kontrolle der Umläufigkeit des Harzes genutzt und bei Materialaustritt verschlossen. Daraufhin muss das eingebrachte Harz aushärten. Ist die Aushärtung abgeschlossen, werden die Packer entfernt und die zurückbleibenden Bohrlö-



cher mit EP-Harzmörtel verschlossen. In Abb. 29 sind einige der wesentlichen Verfahrensschritte veranschaulicht.



**Abb. 29:** Verschluss des Fugenspaltes mit Blitzzement (links); Anbringen von Bohrungen für Bohrpacker (Mitte); Harzinjektion über untersten Bohrpacker (rechts)

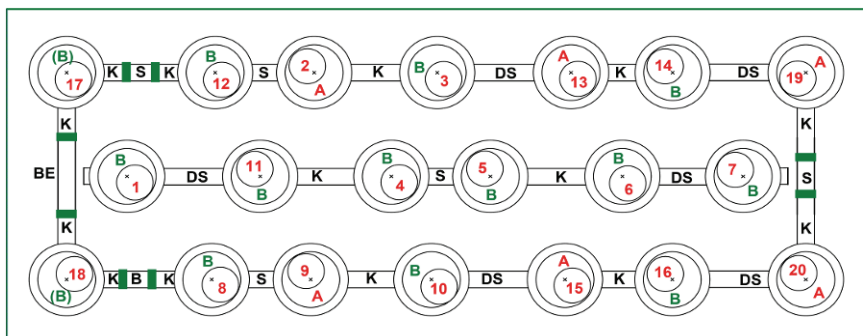
## 4 Laborversuche zur Infiltrationsdichtheit

In dem nachfolgenden Kapitel werden Hintergründe und Ergebnisse von Laborversuchen dargestellt, die dazu dienen, bereits im Rahmen der Phase I des Forschungsvorhabens wichtige Kriterien und Randbedingungen für die in Phase II geplanten, vergleichenden Produkt- und Verfahrensprüfungen zu erfassen.

### 4.1 Exemplarische Belastung von Neubauprodukten mit Außenwasserdruck

Beispielhaft wurden zwei Produkte aus der in Kapitel 3.2 näher beschriebenen Produktgruppe für die Verbindung innerhalb von Haltungen im Großversuchsstand im Zuge eines parallelen Projektes (vgl. [47]) eingesetzt: eine Manschettendichtung und eine Adapter-Kupplung. Ziel dabei war es, sowohl fachgerechte als auch nicht fachgerechte Einbauten mit Blick auf Veränderungen bei Grundwasseranstieg zu beobachten. Die Erkenntnisse hieraus sollten zum einen die Herleitung der Abnahmekriterien (vgl. Kapitel 5) unterstützen und zum anderen für die Konzeptionierung des Prüfprogramms für Phase II (vgl. Kapitel 7) genutzt werden.

Der Testeinbau erfolgte in einem Versuchsaufbau, der zeitgleich für großtechnische Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojektes „Abwasserschächte“ [47] in den Großversuchsstand des IKT eingebaut worden war. Wie Abb. 30 entnommen werden kann, befanden sich insgesamt 20 Abwasserschächte im Versuchsstand, die auf zwei Rohrebenen jeweils mit den benachbarten Abwasserschächten verbunden waren. Die Kanalhaltungen waren für das Forschungsvorhaben [47] nicht von Interesse, so dass sie für den Einbau der ausgewählten Übergangsstücke genutzt werden konnten. Im Rahmen des Untersuchungsprogramms wurde der Großversuchsstand bis ca. 0,5 m unter die Geländeoberkante mit Wasser geflutet, so dass die Übergangsstücke einem Außenwasserdruck ausgesetzt waren. Der Wasserstand wurde für annähernd fünf Monate aufrechterhalten.



**Abb. 30:** Schematische Draufsicht auf den Großversuchsstand des IKT, Untere Ebene; Kennzeichnungen aus Forschungsvorhaben [47]; Übergangsbereiche Kunststoff/Steinzeug (K/S) und Kunststoff/Beton (K/B) mit Außenmanschette (K/B) bzw. Adapter-Kupplung (K/S) ausgeführt.

Es wurden insgesamt 16 Übergangsstücke in den Versuchsstand eingebaut, jeweils acht Manschettendichtungen und acht Kupplungen (Abb. 31). Die Einbaubedingungen wurden dabei variiert nach der Nennweite, den zu verbindenden Rohrwerkstoffen und der Einbauqualität. In der Rohrebene DN 150 wurden mit den Kupplungen Längs- und Höhenversätze

von je ca. 5 bis 10 cm überbrückt. Im Ergebnis kam es zu Gefällewechsellern im Leitungsvlauf (Abb. 31).

Hinsichtlich der Einbauqualität wurde eine Unterscheidung zwischen fachgerechtem und nicht fachgerechtem Einbau getroffen. Der fachgerechte Einbau entsprach den Vorgaben des Herstellers, der für das Anziehen der Spannschrauben ein definiertes Drehmoment vorgibt, wohingegen bei nicht fachgerechtem Einbau die Spannschrauben lediglich so weit angezogen wurden, dass bei Wasserfüllstand der Leitung gerade eine Abdichtung vorlag. Tabelle 5 stellt eine Übersicht über die Einbaubedingungen der Übergangsstücke dar.



**Abb. 31:** *Untersuchte Manschettdichtung (links) und Kupplung (rechts)*

**Tabelle 5:** *Übersicht über die Einbaubedingungen der Übergangsstücke*

Ebene	Werkstoffwechsel	Manschettdichtungen			Kupplungen		
		Gesamt	fachgerecht*	nicht fachgerecht**	Gesamt	fachgerecht*	nicht fachgerecht**
DN 150	PVC - Guss	4 Stk.	2 Stk.	2 Stk.	4 Stk.	2 Stk.	2 Stk.
	PVC - Stz	4 Stk.	2 Stk.	2 Stk.	4 Stk.	2 Stk.	2 Stk.
DN 300	PVC - Beton	4 Stk.	2 Stk.	2 Stk.	4 Stk.	2 Stk.	2 Stk.
	PVC - Stz	4 Stk.	2 Stk.	2 Stk.	4 Stk.	2 Stk.	2 Stk.

\* Montage der Spannschrauben mit Drehmoment nach Vorgabe des Herstellers

\*\* Montage der Spannschrauben handfest, so dass bei Wasserfüllstandsprüfung kein Wasseraustritt

Da die Rohrebenen DN 150 und DN 300 auf unterschiedlicher Höhe des Versuchsstandes angeordnet waren (vgl. Abb. 30), waren die Übergangsstücke nach der Flutung auch unterschiedlich hohen Außenwasserdrücken ausgesetzt. Für die Rohrebene DN 300 betrug der Druck ca. 0,47 bar und für die Rohrebene DN 150 ca. 0,21 bar.

Der Zustand der Versuchsobjekte in den Rohrhaltungen wurde in regelmäßigen Abständen über die anliegenden Schächte optisch erfasst. Ein besonderes Augenmerk bei der Zustandserfassung der Übergänge lag auf der optischen Kontrolle auf Wassereintritt bzw. Infiltrationsdichtheit. Darüber hinaus wurden auch etwaige Lageänderungen infolge von Setzungs- oder Auftriebsprozessen des Bodenkörpers, Rohrverformungen und andere Auffälligkeiten im Bereich des Überganges erfasst. Die gesamte Untersuchungsdauer betrug ca. 4,5 Monate.

Abschließend wurden einige Haltungen exemplarisch unter noch bestehendem Außenwasserdruck einer Innendruckprüfung unterzogen, um die Aussagekraft derartiger Prüfungen zu hinterfragen (vgl. hydrogeologische Betrachtung in Anhang III).

Tabelle 6 zeigt fotografische Eindrücke von der Montage der Bauteile im Großversuchsstand des IKT sowie von der anschließenden Füllstandsprüfung.

**Tabelle 6: Montage der Übergangsstücke im Großversuchsstand des IKT**

		
<p>Positionieren des Rohres mit dem Lastkran</p>	<p>Montage einer Manschettendichtung</p>	<p>Anziehen der Spannschrauben</p>
		
<p>Positionieren einer Kupplung</p>	<p>Anziehen der Spannschrauben</p>	<p>Rohrleitung mit 2 Werkstoffwechsell nach der Montage</p>
		
<p>Wasserstand im Schacht bei der Füllstandsprüfung</p>	<p>Anziehen der Spannschrauben handfest</p>	<p>Erneutes Anlösen einer Spannschraube</p>

## **Ergebnisse**

Bei den Füllstandsprüfungen vor Bodeneinbau im Versuchsstand wurden die Übergangsstücke optisch auf Wasseraustritt hin untersucht. Die eingebauten Übergangsstücke dichteten die Übergangsbereiche Steinzeug/Kunststoff/Guss unabhängig von der Einbauqualität (fachgerecht/nicht fachgerecht) zuverlässig ab. Die Prüfung der Werkstoffwechsel an Betonrohren zeigte allerdings geringfügige Undichtigkeiten. Hier konnten weder die fachgerecht (Montage mit Drehmoment nach Herstellervorgabe) noch die nicht fachgerecht (Montage handfest) montierten Manschettendichtungen, trotz mehrfachem Nachjustieren der Spanschrauben, eine vollständige Abdichtung erzielen. An keiner der vier Verbindungen war ein deutlich tropfender oder fließender Wasseraustritt erkennbar, jedoch war die Betonoberfläche unmittelbar neben den Manschettendichtungen in allen vier Fällen über die Prüfzeit sichtbar durchfeuchtet (vgl. Abb. 32). Zu hinterfragen ist, inwieweit die ausgewählten Anschlussstücke für die Verbindung mit Betonrohren bzw. raue Oberflächen ohne weitere Oberflächenvorbereitung überhaupt geeignet sind.



**Abb. 32:** *Betondurchfeuchtung an einer fachgerecht montierten Manschettendichtung während der Füllstandsprüfungen (links und Mitte); Innenansicht eines Werkstoffübergangs mit Manschettendichtung (rechts)*

Nach der Überschüttung der Rohrleitungen und Erzeugen des Außenwasserdruckes (DN 300: ca. 0,47 bar, DN 150: ca. 0,21 bar) konnten im Rohrinne an den Übergangsstücken zunächst keine sichtbaren Wassereintritte festgestellt werden. Lediglich im Bereich einer Kupplung war Wassereintritt sichtbar, der bis zum Versuchsende auch erhalten blieb, sich jedoch nicht erkennbar vergrößerte. Die betreffende Kupplung war allerdings in einem stark abgewinkelten Leitungsverlauf mit starken Versätzen eingebaut worden.

Eine zuverlässige Bewertung der Manschettendichtungen und Kupplungen in der Ebene DN 300 hinsichtlich Infiltrationsdichtheit wurde erschwert durch den Sachverhalt, dass quasi dauerhaft Wasser im Gerinne des Versuchsaufbaus stand (Abb. 32). Mögliche Wassereintritte unterhalb des Wasserspiegels im Gerinne waren somit kaum erkennbar. Für die betreffenden Bauteile kann aus diesem Grund keine zuverlässige Bewertung hinsichtlich Dichtheit vorgenommen werden.

Haltungsweise Dichtheitsprüfungen unter bestehendem Außenwasserdruck wurden in zwei Haltungen der Ebene DN 150 durchgeführt, da in allen übrigen Haltungen aufgrund mangelnder Leitungslänge ein ordnungsgemäßer Verbau der Prüfblasen nicht möglich war. In den betreffenden Haltungen waren jeweils zwei Manschettendichtungen eingebaut worden (Werkstoffübergang von PVC auf Gusseisen). Über einen Prüfzeitraum von 30 Minuten wurde ein Innendruck von 0,5 bar aufgebracht, so dass sich bei dem vorliegenden Außenwas-

serdruck eine Druckdifferenz von 0,29 bar ergab. Bei beiden Prüfungen wurden keine Wasserverluste in dem Prüfbehälter festgestellt, die Haltungen samt dort eingebauter Manschettendichtungen konnten als dicht bewertet werden. Über die gesamte Versuchsdauer kam es im Großversuchsstand zu Bodenbewegungen, die auch die Manschettendichtungen und Kupplungen in der Ebene DN 150 betrafen. Es kam zu teils erheblichen Verschiebungen der verbundenen Rohrenden zueinander, die von den Bauteilen kompensiert werden mussten (vgl. Abb. 33). Hier bestätigte sich, dass die Bauteile für die Aufnahme von Scherlasten nicht geeignet sind (vgl. Herstellerangaben).



**Abb. 33:** *Werkstoffwechsel von Steinzeug auf PVC im Großversuchsstand, Zustand vor der Flutung des Versuchsstandes (links) und ca. 2,5 Monate nach der Flutung bei einem konstanten Außenwasserdruck von ca. 0,21 bar (Mitte); Undichtigkeiten in einer Haltung DN 150 mit 2 Kupplungen (rechts)*

Im Bereich einiger Kunststoffrohrenden wurden überdies nach einigen Wochen Ovalisierungen unterschiedlichen Ausmaßes festgestellt. Zwar führten weder die Ovalisierungen noch die Verschiebungen infolge der Bodenbewegungen (Setzungsprozesse, Auftrieb) im vorliegenden Fall zu einem Verlust der Dichtwirkung an den Untersuchungsobjekten. Jedoch waren Versatzbildungen an den Schnittstellen die Folge, die ein Abflusshindernis darstellen können (vgl. Abb. 33). Diese Beobachtungen unterstreichen den Einfluss von Auftriebs- bzw. Bodenbewegungen auf die Funktionsfähigkeit der Leitungen.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass Boden- und Rohrbewegungen unter Auftrieb zu erheblichen Beanspruchungen von Werkstoffwechseln bzw. Übergängen führen können. Allerdings blieb selbst bei nicht fachgerechter Produktmontage die Dichtwirkung der hier beispielhaften eingesetzten Bauteile meist erhalten. Nur bei der Abdichtung auf Betonoberflächen zeigten sich wiederholt Umläufigkeiten zwischen dem Dichtmittel und der rauen Werkstoffoberfläche. Vor einer Montage von Manschetten oder Kupplungen sollten raue Oberflächen ggf. angeschliffen und so geglättet werden.

## 4.2 Laständerung an Schachtanbindungen infolge Sanierung

### 4.2.1 Problemstellung

Bei Reparaturarbeiten mit Injektionsverfahren entstehen im umgebenden Erdreich Injektionskörper, die aus einem Gemisch aus ausgehärtetem Injektionsmaterial und darin eingebundenen Bodenpartikeln bestehen. Bedingt durch die fast vollständige Füllung des Porenraums mit Injektionsmittel ändert sich die Wichte des betroffenen Untergrundbereichs bzw. dessen Eigengewicht. Ebenso erhöhen sich das verdrängte Wasservolumen und damit die resultierende Auftriebskraft. Es ist zu vermuten, dass diese Laständerungen insbesondere in Bereichen kritisch sind, die zu späteren Zeitpunkten noch weitere Belastungen, z.B. aus Abwinkelungen und Scherlasten, erfahren. Verschärft wird diese Situation auch dadurch, dass gerade typische Reparaturstellen, wie defekte Rohrverbindungen (vgl. Abschnitt 3.3.2), defekte seitliche Anschlüsse (vgl. Abschnitt 3.3.3) und defekte Schachtanbindungen (vgl. Abschnitt 3.3.4), derartige Belastungen erwarten lassen.

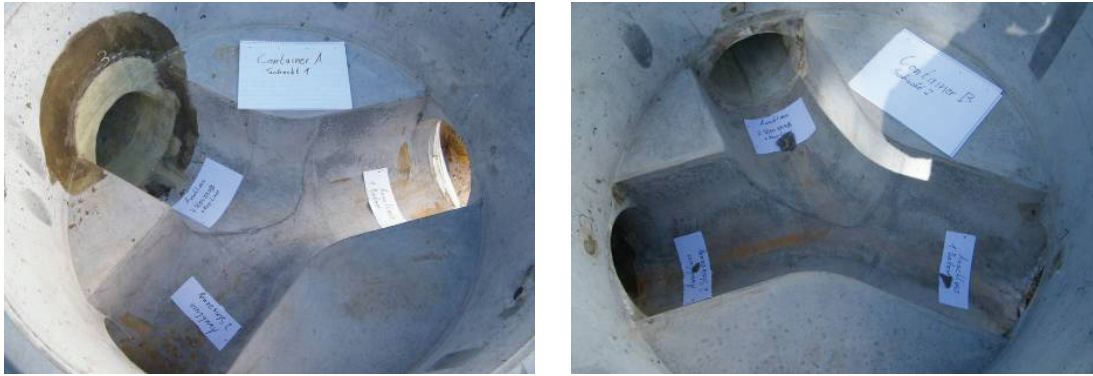
Allerdings ist bisher unklar, in welcher Größenordnung tatsächlich mit Wichteanderungen des Untergrundes zu rechnen ist und ob hieraus tatsächlich Risiken für die Dauerhaftigkeit abzuleiten sind. Der Frage nach der Größenordnung wurde aus diesem Grund im Rahmen von Vorversuchen nachgegangen. Untersucht wurden sechs sanierte Schachtanbindungen, die bereits im Rahmen des Forschungsprojektes „Sanierung von Abwasserschächten“ [47] hergestellt worden waren.

### 4.2.2 Probekörper

Die zu untersuchenden Injektionskörper befanden sich an zwei Schachtunterteilen, die im Rahmen einer Teilprüfung aus [47] in mittelformatigen Versuchsständen eingebaut gewesen waren. In der Zwischenzeit waren die Versuchsstände wieder geräumt worden und die dabei ausgebauten Schachtunterteile mit den angebundenen Rohren und Injektionskörpers befanden sich auf dem Versuchsgelände des IKT.

An beide Schächte waren zwei Steinzeugrohre in der Nennweite DN 300 sowie ein Betonrohr in der Nennweite DN 300 fehlerhaft angebunden. Als Vorschädigung wurden zum einen Teile des Schachtfutters entfernt und zum anderen ein ca. 15 cm langer Riss in den Rohrscheitel des einbindenden Rohrendes eingebracht. Die Sanierung der Anschlüsse erfolgte gemäß der in Abschnitt 3.3.4 dargestellten Vorgehensweise.

Als Injektionsmaterialien wurden ein Elastomerharz auf Polyurethanbasis (Container A, Schacht 1) und ein zweikomponentiges, injizierbares Methacrylatgel (Container B, Schacht 2) an den jeweils drei Schachteinbindungen eingesetzt. In Abb. 34 sind die Innenansichten der beiden Schachtunterteile dargestellt.









**Abb. 34:** *Innenansicht der Schachtunterteile mit den sanierten Anbindungen*

Bei den mit Gelinjektion sanierten Rohranbindungen fiel insgesamt auf, dass das Injektionsmaterial unmittelbar im Bereich der Injektionsbohrungen und des Schachtfutters annähernd in Reinform vorlag. Auch unterhalb des angeschlossenen Rohres wurde in einer dünnen Schicht im Zwickelbereich das injizierte Gel nahezu ohne eingebundene Bodenpartikel vorgefunden. Dieser Sachverhalt ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass sich in den benannten Bereichen entweder vor der Injektion kein Bodenmaterial befand (Schachtfutter, Bereich hinter den Bohrlöchern) oder dieses bei der Injektion in schwach verdichteten Bereichen verdrängt wurde (Zwickelbereich). Darüber hinaus zeigte sich, dass die Injektionskörper im oberflächennahen Bereich bis ca. 15 cm in der Konsistenz vergleichsweise starr und fest waren, während das Material im Inneren relativ elastisch war.







Bei den mit Elastomerharz sanierten Schachtunterteilen waren die Injektionskörper von Anbindung 2 und 3 (vgl. Tabelle 8) bereichsweise miteinander verbunden. Die unteren Segmente der Anbindungsbereiche waren äußerlich stets frei von Injektionsmaterial.



**Tabelle 7: Injektionskörper an Schacht 2 in Container B (Methacrylatgel)**

<b>Rohranbindung 1 (Betonrohr DN 300)</b>	
	
Betonrohr samt Injektionskörper nach der Aufgrabung	Schachtanbindung nach dem Ausbau ohne Betonrohr
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ das angeschlossene Betonrohr ist beim Ausbau aus dem Versuchsstand aus dem Schachtfutter herausgebrochen,</li> <li>➤ dabei sind Bestandteile des Injektionskörpers ebenfalls herausgebrochen (mehrere dm<sup>3</sup>),</li> <li>➤ Injektionskörper an dieser Anbindung war nicht mehr vollständig erhalten.</li> </ul>	
<b>Rohranbindung 2 (Steinzeugrohr DN 300)</b>	
	
Steinzeugrohr samt Injektionskörper nach der Aufgrabung	Schachtanbindung nach dem Ausbau
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ im Injektionskörper des Anschlusses befinden sich insgesamt 3 Fehlstellen, an 2 dieser Fehlstellen wurden mit einem Winkelschleifer Materialproben entnommen, an der dritten ist beim Ausbau Material ausgebrochen,</li> <li>➤ Injektionskörper an dieser Anbindung war nicht mehr vollständig erhalten (fehlende Menge geschätzt: ca. 5 dm<sup>3</sup>).</li> </ul>	
<b>Rohranbindung 3 (Steinzeugrohr DN 300)</b>	
	
Steinzeugrohr samt Injektionskörper nach der Aufgrabung	Schachtanbindung nach dem Ausbau
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ im Injektionskörper des Anschlusses befinden sich insgesamt 3 Fehlstellen, an 2 dieser Fehlstellen wurden mit einem Winkelschleifer Materialproben entnommen, an der dritten ist beim Ausbau Material ausgebrochen,</li> <li>➤ Injektionskörper an dieser Anbindung war nicht mehr vollständig erhalten (fehlende Menge geschätzt: ca. 5 dm<sup>3</sup>).</li> </ul>	

**Tabelle 8: Injektionskörper an Schacht 1 in Container A (Harz auf Polyurethanbasis)**

<b>Anbindung 1 (Betonrohr DN 300)</b>	
	
<p>Betonrohr samt Injektionskörper nach der Aufgrabung</p>	<p>Schachtanbindung nach dem Ausbau ohne Betonrohr</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ das angeschlossene Betonrohr ist beim Ausbau aus dem Versuchsstand aus dem Schachtfutter herausgebrochen,</li> <li>➤ dabei sind ggf. kleine Bestandteile des Injektionskörpers ebenfalls herausgebrochen,</li> <li>➤ Injektionskörper an dieser Anbindung scheint fast vollständig erhalten,</li> <li>➤ Im Bereich des Schachtfutters befindet sich keinerlei Injektionsmaterial.</li> </ul>	
<b>Anbindung 2 (Steinzeugrohr DN 300)</b>	
	
<p>Steinzeugrohr samt Injektionskörper nach der Aufgrabung</p>	<p>Schachtanbindung nach dem Ausbau</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ im Injektionskörper des Anschlusses befindet sich eine kleine Fehlstelle, dort wurde beim Ausbau eine Materialprobe entnommen (fehlende Menge geschätzt: 0,5 dm<sup>3</sup>), unterhalb des Rohres ist im Vergleich wenig Injektionsmaterial,</li> <li>➤ Injektionskörper ist mit dem von Anbindung 3 verbunden.</li> </ul>	
<b>Anbindung 3 (Steinzeugrohr DN 300)</b>	
	
<p>Steinzeugrohr samt Injektionskörper nach der Aufgrabung</p>	<p>Schachtanbindung nach dem Ausbau</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ im Injektionskörper des Anschlusses befindet sich eine kleine Fehlstelle, dort wurde beim Ausbau eine Materialprobe entnommen (fehlende Menge geschätzt: 3 dm<sup>3</sup>), unterhalb des Rohres befindet sich kaum Injektionsmaterial,</li> <li>➤ Injektionskörper ist mit dem von Anbindung 2 verbunden.</li> </ul>	

#### 4.2.3 Gewichtsermittlung für Injektionskörper

Im Anschluss an die detaillierte Dokumentation sollte zunächst anschlussweise die Wichte des Injektionsmaterials bestimmt werden. Dafür war es erforderlich, das anhaftende Injektionsmaterial von Schachtunterteil und Anschlussrohren abzutrennen.

Im Vorfeld wurde unter dem entsprechenden Anschlussrohr eine Kunststoffplane ausgelegt, um auch kleinere Partikel als Bestandteil des Injektionsmaterials auffangen zu können. Das mit Hammer und Meißel abgetrennte und aufgefangene Injektionsmaterial wurde abschließend separat für jeden Anschluss in einen großen Behälter gefüllt und gewogen (Abb. 35).



**Abb. 35:** *Anschlussrohr mit teilweise bereits abgetrenntem Injektionsmaterial (links); gesammeltes Injektionsmaterial einer Schachtanschlusssanierung (rechts)*

#### 4.2.4 Volumen der Injektionskörper

Liegt der mit einem Injektionsverfahren sanierte Abwasserkanal ständig oder zeitweise unterhalb des Grundwasserspiegels, greift neben der resultierenden Gewichtskraft auch eine Auftriebskraft an. Diese ist zum einen von der Rohdichte des verdrängten Mediums und zum anderen von dem verdrängten Volumen abhängig.

Zur Dichtbestimmung wurde DIN 18125-1 [48] herangezogen. Diese Norm gilt für Böden, die einen festen Zusammenhalt haben oder aus denen sich geometrisch regelmäßige Körper ohne Änderung der Dichte gewinnen lassen. Die folgenden zwei Verfahren für die Dichtebestimmung werden in dem Regelwerk genannt:

- Dichtebestimmung über die Masse und das Volumen, wobei das Volumen anhand einer zu messenden geometrischen Form z.B. Würfel, Quader oder Zylinder ermittelt wird,
- Dichtebestimmung über eine Tauchwägung, nach dem archimedischen Prinzip, wobei das Probenvolumen nicht erfasst werden muss.

Für den vorliegenden Anwendungsfall wurde die Dichte anhand von Tauchwägungen bestimmt, da bei Zuschnittarbeiten die Proben ggf. in ihrer Konsistenz verändert oder sogar zerstört worden wären. Auch lassen sich bei Tauchwägung größere Probemengen auf einmal verarbeiten, so dass das gesamte gewonnene Material in die Dichtebestimmung mit einbezogen werden konnte.

In Abb. 36 ist der Aufbau der Tauchwaage dargestellt.



**Abb. 36:** Konstruktion der Tauchwaage (links); Tauchwaage mit Probekörper (rechts)

#### 4.2.5 Ergebnisse

Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass die Wichte der Injektionskörper in ihrer Größenordnung der Wichte des nicht-injizierten Bodens entsprach (ca. 1,5 – 2,0 g/cm<sup>3</sup>). Offensichtlich wurden durch das Injektionsmaterial auch Bodenpartikel in den umgebenden Boden verdrängt. Unter Auftrieb ist dann mit entsprechend stärkerer Auftriebswirkung zu rechnen. Ob hierdurch Schädigungen zu erwarten sind, konnte im Rahmen dieser Voruntersuchungen nicht geklärt werden.

Nach der Einlagerung in Wasser während der Tauchwagungen fiel auf, dass die Probekörper aus Methacrylatgel in ihrer Konsistenz verändert waren. Während sie vor der Einlagerung eher spröde waren, wirkten sie nach der Tauchwägung (ca. 60 Minuten später) elastisch.

## 4.3 Anbindung von Schlauchlinern an Schächte

### 4.3.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Zur labortechnischen Voruntersuchung von Werkstoffwechseln zwischen Schachtbauwerken und Schlauchlinern wurde ein Versuchsaufbau konzipiert, der es ermöglichte, einen in eine Teststrecke eingebauten Schlauchliner (mit Außenfolie) im Ringraum mit Außenwasserdruck zu belasten. Ziel des Versuches war es, an der Teststrecke exemplarisch die gängigsten Anbindungsverfahren bei Schlauchlinern stichprobenhaft auf Außenwasserdruckbeständigkeit zu untersuchen und wesentliche Einflussfaktoren zu erkennen, die für den Sanierungserfolg von Bedeutung sein können.

Die Gesamtlänge der Teststrecke betrug ca. 28 m. Bei Einsatz von sieben Schachtunterteilen im Leitungsverlauf ergaben sich sechs Teilabschnitte (Haltungen). Als Nennweite wurde DN 300 und als Rohrwerkstoff Beton gewählt. In jeder Haltung der Teststrecke wurden sowohl im Scheitel- als auch im Sohlbereich mehrere Bohrungen durch die gesamte Rohrwandung hindurch erstellt, in die Schläuche zur Wasserfüllung des Ringraums, Entlüftung und Druckkontrolle eingeklebt wurden.

Die Teststrecke, inklusive Schlauchliner, wurde zunächst auf dem Außengelände des IKT aufgebaut. Um wetterbedingte Einflüsse, beispielsweise aus Sonneneinstrahlung, auszuschließen, wurden Teile der Teststrecke zu einem späteren Zeitpunkt in die Versuchshalle des IKT verlegt. Die Schachtanbindungen wurden erst nach der Verlegung der Teststrecke hergestellt.

Für den Schlauchliner wurde für diese Vorversuche ein System eingesetzt, das aus einem Nadelfilz als Trägermaterial in Kombination mit Epoxidharz besteht. In ausgehärtetem Zustand betrug die Wanddicke 6 mm. Der Schlauchliner wurde zunächst über die Zwischenschächte durchlaufend eingebaut. Nach der Aushärtung wurde der Schlauchliner in den Zwischenschächten aus dem Schachtgerinne herausgetrennt. In Tabelle 9 sind die wesentlichen Arbeitsschritte des gesamten Einbauvorgangs dargestellt. Um die Durchlässigkeit des Ringraumes vor der Herstellung der Anbindungen zu überprüfen, wurde der Ringraum probeweise mit Wasser befüllt. Da daraufhin Wasser in den Schächten austrat, war der Ringraum ausreichend wasserdurchlässig.

Folgende Anbindungstechniken wurden an den unterschiedlichen Schachtanbindungen eingesetzt:

- Quellband: 2 Anbindungen,
- Mörtel: 1 Anbindung,
- Mörtel und Quellband: 1 Anbindung,
- Epoxidharz: 2 Anbindungen,
- Handlaminat: 2 Anbindungen,
- Kurzliner (dauerelastisches Harz): 2 Anbindungen.

**Tabelle 9: Einbau eines Schlauchliners auf dem Versuchsgelände des IKT**



Aufbau des Inversions-turms



Invertieren des Preliners mit Luftdruck



Imprägnieren des Filzschlauches



Walzen des Schlauches



Invertieren des Schlauches



Temperatursensor für die Überprüfung der Aushärtetemperatur



Quellband in der Leitung



Freischneiden des Schachtgerinnes



Ansicht des geöffneten Schachtgerinne



Füllen des Ringraums zur Überprüfung der Ringspaltdurchlässigkeit



Wassereintritt durch Ringspalt

#### 4.3.2 Anbindungen mit Quellband

In der Schlauchliner-Teststrecke wurden insgesamt zwei Schachtanbindungen mit Quellband als alleinigem Dichtmaterial hergestellt. Als Quellband wurde ein Rechteckprofil mit zwei Höckern eingesetzt (Breite: ca. 20 mm; Höhe: ca. 3,5 bis 4,2 mm (Höcker); Länge: ca. 118 cm), das um den Preliner herum mit den beiden Höckern zur Rohrwandung zeigend zu einem Ring zusammengelegt wurde (Abb. 37). Nach dem Einbau des Schlauchliners lag das Quellband somit spiralförmig im Ringraum zwischen Rohrwandung und Schlauchliner.



**Abb. 37:** *Eingesetztes Quellband an einer Anbindung - Rechteckprofil mit zwei Höckern (links); Preliner mit Quellband umwickelt vor Einbau des Schlauchliners (mittig); Quellband unter dem ausgehärteten Schlauchliner (rechts)*

Beim Einsatz von Quellband besteht die Möglichkeit, dass die Abdichtung an der Schachtanbindung erst eintritt, wenn das Dichtmaterial einige Zeit mit Wasser in Kontakt war und somit infolge des Quellprozesses bereits eine Volumenzunahme stattgefunden hat. Laut Sanierungsfirma tritt die Abdichtung beim Einsatz derartiger Dichtmaterialien an Schlauchlineranbindungen erfahrungsgemäß nach ca. 48 Stunden ein. Um diesen Aspekt bei der Dichtheitsprüfung mit Außenwasserdruck berücksichtigen zu können, war eine besondere Vorgehensweise erforderlich.

In einem ersten Schritt wurde überprüft, ob bereits ohne weiteres Aufquellen des Dichtmaterials eine Abdichtung vorlag. Hierfür wurde der Ringspalt zwischen Rohrwandung und Schlauchliner über das von außen montierte Schlauchsystem mit Wasser befüllt (maximaler Wasserstand ca. 0,5 m über Rohrscheitel). Innerhalb kurzer Zeit (ca. 1-2 Minuten) trat an beiden Anbindungen Wasser in die anliegenden Schächte ein, so dass offenkundig zu diesem Zeitpunkt noch keine Abdichtung vorlag. Daraufhin wurde das Wasser wieder aus dem Ringspalt abgelassen und in der entsprechenden Haltung für die Dauer von 24 Stunden bis zum Rohrscheitel Wasser eingefüllt.

Nach Ablauf der 24 Stunden sollte erneut überprüft werden, ob die Anbindungen dicht oder undicht sind und ob das Quellband ggf. für weitere Zeit in der dargestellten Weise aufgequollen werden muss. Ziel war es, die Anbindungen mit Außenwasserdruck zu belasten, sobald sie bei der Befüllung des Ringspalttes dicht blieben und das Dichtmaterial somit offenbar ausreichend stark aufgequollen war.







**Ergebnis**

Zu Beginn des Versuches, als die Quellbänder noch gänzlich unaufgequollen waren, waren die Anbindungen bei der Befüllung des Ringspaltes mit Wasser noch nicht infiltrationsdicht.

Nach 24 Stunden in Kontakt mit Wasser hingegen waren bereits Veränderungen hinsichtlich der Abdichtung erkennbar, denn an einer der beiden Anbindungen war bei der Befüllung des Ringspaltes mit Wasser keine Wassereintritt in den Schacht mehr sichtbar. Die andere Anbindung jedoch war unverändert undicht, worauf die Kanalhaltung erneut bis zum Rohrscheitel mit Wasser gefüllt wurde. Das Dichtmaterial sollte so für weitere 48 Stunden aufquellen.

Nach Ablauf der 48 Stunden wurde der Ringraum erneut mit Wasser befüllt. Auch dieses Mal war eine Anbindung bei der Befüllung bereits undicht, es wurde jedoch dennoch versucht, einen Wasserdruck von 0,2 bar im Ringraum zu erzeugen. Daraufhin war der Wassereintrang und -verlust an der bereits undichten Anbindung jedoch so stark, dass der Prüfdruck nicht aufrechterhalten werden konnte und die Prüfung abgebrochen werden musste. In Tabelle 10 sind optische Eindrücke von den Prüfungen zusammengefasst.

**Tabelle 10: Eindrücke aus der Füllstandsprüfung an den Anbindungen mit Quellband**

Anbindung 1		
		
vor Start des Quellvorgangs	nach 24 h Quellvorgang	nach 72 h Quellvorgang
Anbindung 2		
		
vor Start des Quellvorgangs	nach 24 h Quellvorgang	nach 72 h Quellvorgang



Generell kann festgehalten werden, dass bereits die spiralförmige Anordnung des Quellbandes im Ringspalt an der Dichtwirkung grundsätzlich zweifeln lässt. Um Aussicht auf eine erfolgreiche Abdichtung zu haben, müsste der Ring zumindest durch Verbindung der Enden z.B. mittels Verklebung miteinander geschlossen werden.

Im vorliegenden Fall zeichneten sich die Konturen des eingelegten Quellbandes nach dem Linereinbau noch deutlich an der Lineroberflache ab (vgl. Abb. 37, rechts). Sofern dies generell unabhängig von Linderdicke und -material sowie dem Fabrikat und den geometrischen Eigenschaften des Quellbandes der Fall ist, könnte eine optische Inaugenscheinnahme der Schachtanbindungen immerhin als Einbaunachweis dienen.

### 4.3.3 Anbindungen mit Mörtel und Quellband

In der Versuchsstrecke wurden zwei Schachtanbindungen mit Mörtel abgedichtet. Bei einer dieser beiden Anbindungen wurde beim Einbau des Schlauchliners zusätzlich ein Quellband eingelegt, welches zur Abdichtung gegenüber In- und Exfiltration beitragen soll (vgl. Abschnitt 4.3.2). Das Quellband wurde an den Enden mit Klebeband verbunden.



**Abb. 38:** *Positionierung des Quellbandes um den Preliner vor Einbau des Liners (links); in der Haltung eingelegtes Quellband – Abstand zum Schacht ca. 20 cm (rechts)*

Bei der späteren Herstellung der Mortelanbindungen wurde um die Anbindungen herum zunächst mittels Schlagbohrer eine dünne Betonschicht weggestemmt und die Oberfläche so für einen besseren Verbund aufgeraut (vgl. Tabelle 11).

Daraufhin wurde ein Mörtel in schlammfahiger Konsistenz („Schlämme“) angemischt und eine erste Schicht als Haftbrücke im Anbindungsbereich aufgetragen. Kurze Zeit später, noch bevor die zuerst aufgetragene Haftbrücke vollständig getrocknet war, wurde eine weitere Schicht des Mörtels aufgetragen. Die Konsistenz des Mörtels war wesentlich fester als bei der zuerst aufgetragenen Haftbrücke. Zudem war die Schicht in diesem Fall erheblich dicker (vgl. Tabelle 11).

Nach Angaben der Sanierungsfirma dauert die Aushärtung je nach Konsistenz des Mörtels und weiteren Randbedingungen wie beispielsweise den Witterungsbedingungen ca. 45 bis 60 Minuten. Die Endfestigkeit ist, wie bei zementgebundenen Mörteln üblich, nach 28 Tagen erreicht. Eine Nachbehandlung des Mörtels wurde im vorliegenden Fall nicht vorgenommen, ist nach Angaben der ausführenden Firma bei dem eingesetzten Material allerdings auch

nicht notwendig. In Tabelle 11 sind die wichtigsten Arbeitsschritte bei der Herstellung der Mortelanbindungen abgebildet.

Ungefähr 1,5 Monate nach der Herstellung der Mortelanbindungen erfolgte die Auenwasserdruckprufung. Der Ringraum des betreffenden Schlauchlinerabschnittes sollte zunächst mit Wasser gefüllt und daraufhin eine Stunde Sättigungszeit abgewartet werden. Im Anschluss sollte ein Wasserdruck von ca. 0,5 bar in dem Ringraum erzeugt werden und dieser über einen Zeitraum von 30 Minuten aufrechterhalten bleiben.

**Tabelle 11: Arbeitsschritte bei der Herstellung der Schachtanbindungen mit Mörtel**



**Ergebnis**

Beide Anbindungen, die mit Mörtel hergestellt wurden, zeigten bereits unmittelbar bei der Befüllung des Ringraumes mit Wasser starke Undichtigkeiten. Aus diesem Grund wurde keine Überdruckprüfung mehr durchgeführt. Das Ergebnis zeigt auf, dass das an einer der Anbindungen eingelegte Quellband zumindest im Ausgangszustand noch nicht abdichtete.



**Abb. 39:** Undichtigkeiten an Mörtelanbindung 1 (links) und 2 (rechts) bei Befüllung

#### 4.3.4 Anbindungen mit Epoxidharz

Zwei Schachtanbindungen wurden mit Epoxidharz hergestellt. Die Untergrundvorbereitung erfolgte analog zu der in Abschnitt 4.3.3 beschriebenen Vorgehensweise.

Die beiden Komponenten des Epoxidharzes (Komponente A: Harz, Komponente B: Härter) wurden maschinell vermischt und das Harzgemisch umgehend an den Schachtanbindungen aufgetragen (vgl. Abb. 40). Abschließend wurde die Oberfläche des frisch aufgetragenen und noch nicht vollständig ausreagierten Epoxidharzes unter Zuhilfenahme von Spülmittel manuell geglättet.



**Abb. 40:** Anmischen des Epoxidharzes (links); Auftragen des Epoxidharzes an der Anbindung (mittig); Anbindung mit Epoxidharz nach Fertigstellung (rechts)

Wenige Tage nach der Fertigstellung erfolgte die Belastung mit Außenwasserdruck. Der Ringspalt der betreffenden Haltung wurde mit Wasser gefüllt und daraufhin eine Stunde Sättigungszeit abgewartet. Im Anschluss wurde durch Anheben des Prüfzylinders auf eine Höhe von 5,00 m über Rohrsohle ein Wasserdruck von ca. 0,5 bar in dem Ringraum erzeugt und dieser über einen Zeitraum von 30 Minuten aufrechterhalten.

#### Ergebnis

Die beiden Anbindungen zeigten in der Sättigungszeit keine Undichtigkeiten. Bei der Prüfung mit einem Außenwasserdruck von 0,5 bar zeigte sich an einer Anbindung eine kleine Undichtigkeit (vgl. Abb. 41).



**Abb. 41:** *Undichtigkeit an einer der beiden Schachtanbindungen mit Epoxidharz*

#### 4.3.5 Anbindungen mit Handlaminat

Insgesamt zwei Schachtanbindungen in der Schlauchliner-Teststrecke wurden mittels Handlaminat saniert. Die Arbeiten fanden ca. vier Monate nach Einbau des Schlauchliners statt.

Durch das Herausschneiden der Schlauchlinersegmente in den Schachtgerinnen war in den Übergangsbereichen zwischen Schlauchliner und Schachtfutter eine Kante entstanden, die vor der Applikation der Handlaminat zunächst angeglichen werden musste. Hierfür wurde eine dünne und flach auslaufende Ausgleichsschicht Mörtel am Ende des Schlauchliners aufgetragen (Abb. 42). Die erforderliche Materialmenge wurde abgeschätzt. Für die Aushärtung des Mörtels wurde ca. eine Viertelstunde bis zum nächsten Arbeitsschritt abgewartet. Als weitere vorbereitende Maßnahme für den Verbund wurden die Bereiche des Schlauchliners und des Schachtes, die später durch das Laminat bedeckt werden sollten, mit einer Flex-Schleifmaschine aufgeraut (Abb. 42).



**Abb. 42:** *Untergrundvorbereitung für die Handlaminat; Auftragen einer Ausgleichsschicht Mörtel (links); komplett angeglichoener Anbindungsbereich (mittig); aufgeraute Schlauchlineroberfläche (rechts)*

Nach Abschluss der Untergrundvorbereitungen wurde das Epoxidharz für die Laminierarbeiten angemischt. Verwendet wurde ein Epoxidharz aus zwei Komponenten (Harz und Härter), dem als Zusatzmittel ein Beschleuniger beigemischt wurde, um die Aushärtezeit zu verkürzen. Für beide Anbindungen zusammen wurde ca. 1 kg Harzgemisch hergestellt. Als Trägermaterial wurde ein GfK-Gewebe mit einem Gewicht von 250 g/m<sup>2</sup> eingesetzt. Nach

Angaben der Sanierungsfirma ist für den vorliegenden Anwendungsfall ein Gewebe mit derart niedrigem Flächengewicht eher geeignet, da es flexibler ist und sich besser um Ecken und Kanten kleben lässt.

Über den gesamten Bereich, der zu laminieren war, wurde zunächst eine dünne Schicht des Harzgemisches aufgetragen. Daraufhin kam das GfK-Gewebe zum Einsatz. Es wurde manuell in kleine Stücke zerteilt und der harzbeschichtete Bereich nach und nach mit den Gewebestücken ausgekleidet. Jedes an die Harzschicht angedrückte Gewebestück wurde mit einer weiteren Schicht Epoxidharz überdeckt. Insgesamt wurde der Anbindungsbereich so mit ca. drei Schichten epoxidharzgetränktem GfK-Gewebe ausgekleidet.

In Tabelle 12 sind die wesentlichen Arbeitsschritte bei Einbau der Handlamine dargestellt.

**Tabelle 12: Arbeitsschritte bei der Herstellung der Schachtanbindungen mit Handlaminat**



Nach Angaben der ausführenden Sanierungsfirma beträgt die Aushärtezeit des verwendeten Epoxidharzes bei Raumtemperatur ca. 30 Minuten, kann jedoch je nach zugegebener Menge des Beschleunigers variieren.

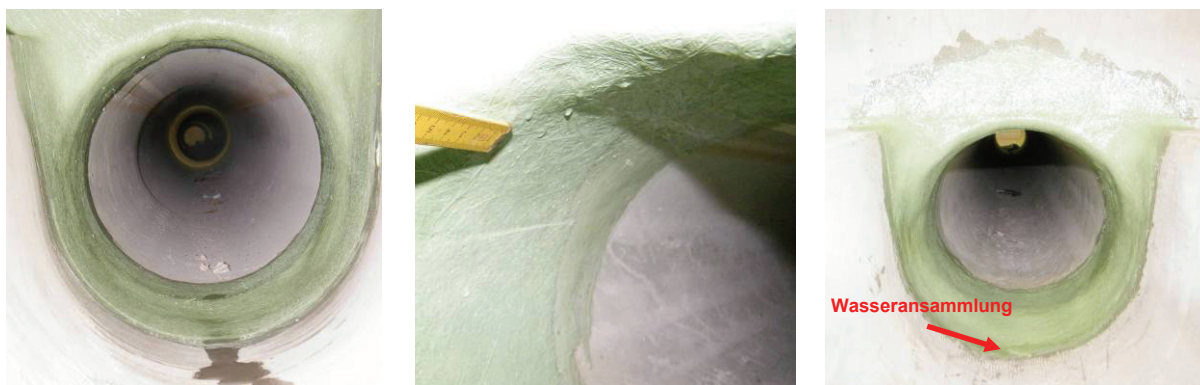
Ungefähr zwei Wochen nach dem Einbau der Handlamine erfolgte die Außenwasserdruckprüfung. Der Ringraum des betreffenden Schlauchlinerabschnittes wurde zunächst mit Wasser gefüllt und daraufhin eine Stunde Sättigungszeit abgewartet. Im Anschluss wurde durch

Anheben des Freispiegelbehalters ein Wasserdruck von ca. 0,5 bar in dem Ringraum erzeugt und über einen Zeitraum von 30 Minuten aufrechterhalten.

### **Ergebnis**

An einer der beiden geprüften Handlaminat-Anbindungen war bereits in der Sättigungszeit Wasseraustritt erkennbar (vgl. Abb. 43, links). Ursächlich hierfür waren Materialundichtigkeiten im Handlaminat.

Die andere Anbindung zeigte ebenfalls Undichtigkeiten, jedoch erst ca. 20 Minuten nach Beginn der Prüfung mit 0,5 bar Auenwasserdruck. Hier fand der Wasseraustritt in der Randzone des Handlaminates statt, so dass in diesem Fall möglicherweise der Verbund zwischen Laminat und Beton versagte.



**Abb. 43:** *Infiltration an den Handlaminaten; Undichtigkeit an Handlaminat 1 (links); Wasserdurchtritt durch das Material an Handlaminat 1 (Mitte); Wasserdurchtritt am Randbereich von Handlaminat 2 (rechts)*

#### 4.3.6 Anbindungen mit Kurzliner

Insgesamt zwei Anbindungen wurden mit einem Kurzliner saniert, der aus Polyesterfaser und einem dauerelastischen Harz auf Methylmethacrylat-Basis bestand. Die Sanierungen fanden auf dem Außengelände des IKT statt.

In einem ersten Schritt wurde der Schlauchliner mit einer Flex-Schleifmaschine bis über die Schachtanschlussmuffen zurückgeschnitten (vgl. Abb. 44). Im Anschluss wurden Schlauchliner- und Betonoberfläche des Schachtes, die später durch das harzgetränkte Gewebe der Kurzliner bedeckt werden sollten, mit dem Werkzeug aufgeraut. Anschließend wurde Haftvermittler angemischt und mit einem Papiertuch am Übergangsbereich zwischen Schlauchliner und Schacht aufgetragen.



**Abb. 44:** *Ausgangszustand mit ca. 1 cm in den Schacht einragendem Linerende (links); Linerende bis über die Schachtanschlussmuffe zurückgeschnitten (Mitte); Auftragen der Haftbrücke (rechts)*

Vor dem Einsetzen des Kurzliners wurde der Bereich unmittelbar an der Linerkante mit dem dauerelastischen Harz zunächst vorprofiliert. Dann erfolgte die Herstellung der Kurzliner. Die Abmessungen des Polyesterfasergewebes wurden dabei so gewählt, dass das harzgetränkte Gewebe nach dem Einbau den Anbindungsbereich sechslagig überdeckte. Die Polyesterfaser wurde beidseitig mit dem Reaktionsharz getränkt, entsprechend sechslagig zusammengefaltet und um den Versetzpacker gewickelt. So präpariert wurde der Versetzpacker im Anbindungsbereich positioniert und das harzgetränkte Trägermaterial unter Aufweitung des Versetzpackers an die Rohrwand angepresst. Der Packerdruck betrug in beiden Fällen ca. 1,1 bis 1,2 bar. Der Versetzpacker verblieb zwecks Aushärtung jeweils noch für ca. 30 bis 40 Minuten in der Haltung. An einer der beiden Anbindungen wurde abschließend noch der ca. 1 cm in den Schacht einragende Kragen des Kurzliners mit Reaktionsharz an die Schachtwand angeglichen.

Einen Tag nach dem Einbau der Kurzliner wurden die Reparaturstellen mit Außenwasserdruck belastet. In einem ersten Schritt wurde über eine Prüfzeit von 30 Minuten ein Außenwasserdruck von 0,2 bar erzeugt, anschließend wurde der Druck auf 0,5 bar erhöht und erneut für 30 Minuten gehalten. In einem letzten Schritt wurde eine weitere Erhöhung des Wasserdruckes auf 0,85 bar vorgenommen. Der letzte Prüfdruck sollte für 24 Stunden beibehalten werden.

**Tabelle 13: Arbeitsschritte bei der Schachtanbindung mit dauerelastischen Kurzlinern**

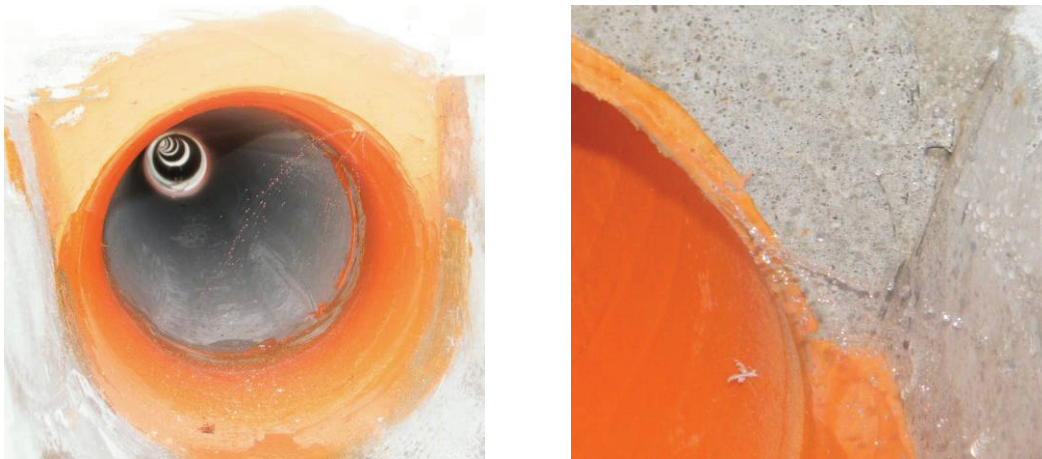
		
<p><b>Vorprofilieren des Übergangsbereiches</b></p>	<p><b>Imprägnieren des Polyesterfasergewebes mit Reaktionsharz</b></p>	<p><b>Aufwickeln des harzgetränkten Gewebes auf den Packer</b></p>
		
<p><b>Packer im Anbindungsbereich</b></p>	<p><b>Angleichen des Schachtkragens</b></p>	<p><b>Fertige Kurzlineranbindung</b></p>

## Ergebnis

Bei den Prüfdrücken 0,2 und 0,5 bar waren beide Kurzliner über die gesamte Prüfzeit wasserdicht. Bei einem Außenwasserdruck von 0,85 bar hingegen zeigten sich an beiden Kurzlinern nach ca. 45 Minuten Prüfzeit Undichtigkeiten (vgl. Abb. 45). Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass die Undichtigkeiten im Rahmen einer üblichen Prüfzeit von 15 oder 30 Minuten (vgl. DIN EN 1610 [49], Arbeitsblatt DWA-A 139 [50], Merkblatt ATV-M 143-6 [51]) nicht aufgetreten bzw. erkannt worden wären.

Es stellt sich die Frage, ob für die Überprüfung der Infiltrationsdichtheit ggf. längere Prüfzeiten veranschlagt werden sollten. Möglicherweise sind hier andere Prüfansätze erforderlich, denn im Gegensatz zu Rückstauereignissen, die in den Kanälen nur kurzzeitig einen Innendruck erzeugen, ist die Belastung durch Außenwasserdruck bei Grundwasser für gewöhnlich längerfristig vorhanden. Offen bleibt darüber hinaus, ob möglicherweise im Fall einer längeren Prüfzeit auch bei einem Druck von 0,5 bar bereits Undichtigkeiten aufgetreten wären.





**Abb. 45:** Infiltration an einer Anbindung mit Kurzliner bei 0,85 bar Außenwasserdruck

#### 4.3.7 Zusammenfassung

Mit dem Großteil der exemplarisch eingesetzten Anbindungstechniken konnte kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden, denn in den meisten Fällen waren an mindestens einer der jeweils zwei Testanbindungen Undichtigkeiten erkennbar, spätestens nach Aufbringen eines Außenwasserdruckes von 0,5 bar. Eine Ausnahme bildeten im vorliegenden Fall die Anbindungen mit einem dauerelastischen Kurzliner.

Es bestanden sichtbare Unterschiede bei der Art und Intensität der Undichtigkeiten. Bei den beiden untersuchten Mörtelanbindungen traten bereits in drucklosem Zustand während der Befüllung des Ringraumes mit Wasser Undichtigkeiten auf. Bei den Handlaminaten war eine der beiden Anbindungen im drucklosen Zustand noch dicht. Eine der zwei Epoxidharzanbindungen war bei der Druckstufe 0,5 bar dicht, bei der zweiten Anbindung hingegen wurden geringe Undichtigkeiten bei dieser Druckstufe festgestellt. Die eingebauten Kurzlineranbindungen waren beide bei 5,00 m Wassersäule dicht, so dass der Druck im Anschluss auf 8,50 m erhöht wurde. Nach 45 Minuten unter dieser, über den Anforderung der Normung hinausgehenden Belastung<sup>1</sup> waren beide Anbindungen dann undicht.

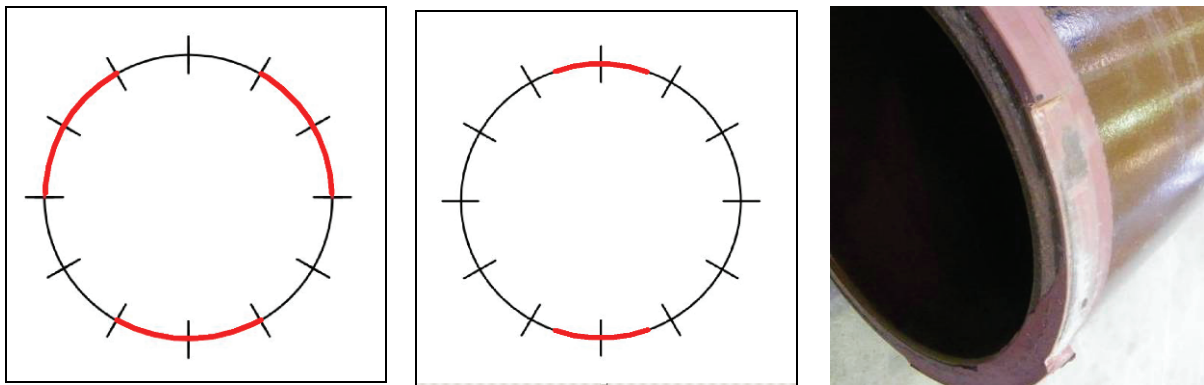
Weiterführende Baustellen- und Laboruntersuchungen scheinen sinnvoll, um anhand einer breiten Datenbasis die o. a. Eindrücke ggf. zu bestätigen oder zu widerlegen; dies gilt insbesondere mit Blick auf das Langzeitverhalten.

<sup>1</sup> Gemeint sind die Belastungen für Innendruck (z.B. nach DIN EN 1610 oder DWA-A 139).

#### 4.4 Sanierung von Rohranbindungen an Schachtbauwerke

Um das Verhalten von sanierten Rohranbindungen unter Außenwasserdruck eingehender zu beobachten, wurden insgesamt 20 sanierte Rohranbindungen im Großversuchsstand des IKT entsprechenden Belastungen ausgesetzt. Jeweils zehn Rohranbindungen wurden hierzu definiert vorgeschädigt und anschließend in den Rohrebenen DN 150 und DN 300 in die Schachtbauwerke eingebaut. Bei den angebundenen Rohren handelt es sich je zur Hälfte um Steinzeug- und PVC-Rohre.

Zur Vorschädigung wurden Teile des Dichtmaterials aus dem Schachtfutter herausgeschnitten; in Abb. 46 sind die entfernten Bereiche schematisch rot dargestellt.



**Abb. 46:** Schematische Darstellung des herausgetrennten Dichtmaterials (rot) an den Anbindungen DN 300 (links) und DN 150 (Mitte); fehlendes Dichtungsmaterial an einem Steinzeugrohr DN 300 (rechts, [47])

Die Sanierungen wurden mittels Injektionsverfahren unter Grundwassereintritt durchgeführt; zum Einsatz kamen dabei unterschiedliche Injektionsmaterialien (zum Sanierungsablauf vgl. Abschnitt 3.3.4):

- Gel (Methacrylatgel),
- Schaum (Polyurethanschaum) in Kombination mit Harz (Polyurethanharz),
- Injektionsmörtel (Zementleim).

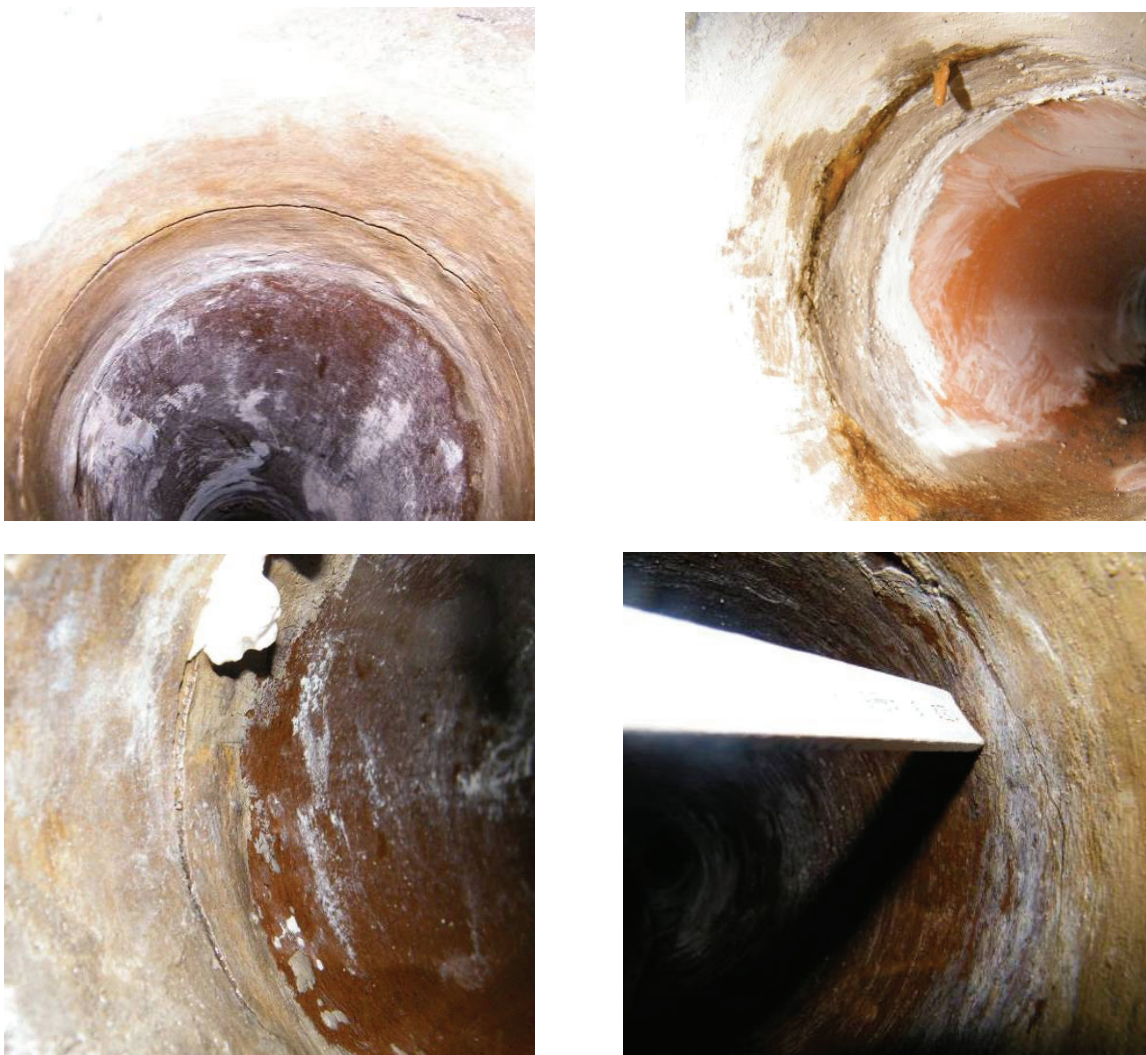
Nach den Sanierungen wurde der simulierte Grundwasserstand im Großversuchsstand weiter angehoben und im Anschluss fast fünf Monate auf einem Niveau von 4,70 m über der Rohrsohle der Rohrebene DN 300 gehalten (ca. 2,10 m oberhalb der Rohrebene DN 150).

Der Zustand der sanierten Rohranbindungen wurde regelmäßig fotografisch und schriftlich dokumentiert. Dabei wurden Auffälligkeiten wie Undichtigkeiten aufgenommen.

### **Ergebnisse**

An vielen der untersuchten Rohranbindungen DN 150 traten im Untersuchungszeitraum Undichtigkeiten auf. Zwar war in der Regel kein stark tropfender oder fließender Wassereintritt vorhanden, an zahlreichen Rohranbindungen waren allerdings starke Durchfeuchtungen sichtbar. In der Regel traten die Undichtigkeiten bereits unmittelbar zu Versuchsbeginn nach Anheben des Grundwasserstandes auf.

Über den Zustand und auch die Abdichtung der sanierten Anbindungen in der Rohrebene DN 300 sind keine genauen Aussagen möglich, da im Gerinne immer Wasser stand. Stark strömender oder fließender Wassereintritt kann aber auch hier ausgeschlossen werden, denn dieser wäre auch unterhalb der Wasseroberfläche sichtbar gewesen.



**Abb. 47: Sanierte Schachteinbindungen (Injektion):  
Rissbildungen in der oberen Mörtelschicht („Injektionswiderlager“)**

Darüber hinaus traten häufig Rissbildungen in der bei der Sanierung aufgetragenen oberen Mörtelschicht (Verdämmung) auf, die sich bevorzugt im Scheitelbereich befanden (Abb. 47). Die Lage der Rissbildungen lässt vermuten, dass nach Abschluss der Sanierungsmaßnahmen noch Setzungsprozesse im Bodenkörper stattgefunden haben. An einigen der unter-

suchten Anbindungen verschlossen sich diese Risse jedoch nach einigen Wochen wieder soweit, dass kein Wasser mehr eindrang. Möglicherweise kann dieser Effekt der so genannten „Selbstheilung“ von Mörteln und Zementen zugeschrieben werden. Dies steht im Zusammenhang mit der Bildung von Calciumcarbonat, wenn der Riss Wasser führt (Reaktion von Calciumhydroxyd im Beton mit dem Kohlendioxyd der Luft (Zusinterung)). Nach Untersuchungen von EDVARDSEN dauert der Prozess der Selbstheilung etwa 10 bis 50 Tage [14, 15]. An diesem Punkt stellt sich die Frage nach einem geeigneten Zeitpunkt für die Abnahme.

Darüber hinaus wurden an einigen undichten Schachtanbindungen bräunliche bis schwarze Verfärbungen festgestellt, die wahrscheinlich auch als Ausbluhung bezeichnet werden können. Diese entstehen durch Kontakt mit Wasser, das durch den Beton wandert und neben den enthaltenen Salzen auch Kohlendioxid und andere atmosphärischen Gase aufnimmt. Schließlich tritt es an der Betonoberfläche aus, verdunstet dort und hinterlässt entsprechende Rückstände. Die mechanischen Eigenschaften und die Dauerhaftigkeit des Betons werden dadurch nur in seltenen Fällen beeinträchtigt. [52]



**Abb. 48:** *Verfärbungen bzw. Ausblühungen im Sanierungsmaterial infolge von Undichtigkeiten (Beispiele)*

## 4.5 Laborversuche mit quellfähigem Dichtmaterial

Wie der Marktübersicht in Anhang I entnommen werden kann, kommen für die Abdichtung an Werkstoffwechseln und Übergängen u.a. Dichtmaterialien zum Einsatz, die in Kontakt mit Wasser aufquellen und infolgedessen an oder zwischen den Bauteilen komprimiert werden. Die Dichtwirkung entsteht entweder vor der Volumenzunahme oder wird durch diese nach einer gewissen Zeit des Kontakts zwischen Material und Wasser erreicht.

Für den Fall, dass die Abdichtung gegenüber In- und Exfiltration erst infolge des Quellprozesses zustande kommt, muss das Dichtmaterial bestimmte Eigenschaften besitzen, die zudem dauerhaft erhalten bleiben. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden folgende wesentliche Fragestellungen identifiziert, ein entsprechendes Prüfprogramm entwickelt und dieses exemplarisch an einem speziellen Dichtmaterial umgesetzt:

- **Generelles Quellvermögen der Materialien:** Die Hersteller geben für ihre wasserquellfähigen Dichtmaterialien in der Regel Maximalwerte für die Volumenzunahme (in Vol.-%) an. Es ist anzunehmen, dass die Abdichtung zwar häufig bereits vor Erreichen des Maximalwertes vorliegt, allerdings kann dennoch von Interesse sein, ob die genannten Maximalwerte auch tatsächlich erreicht werden können.
- **Quellverhalten bei nicht stetiger Durchfeuchtung:** Es stellt sich die Frage, ob das Quellvermögen der Dichtmaterialien möglicherweise beeinflusst wird, wenn das Material nur zeitweise mit Wasser in Kontakt tritt. In der Praxis kann dies z.B. der Fall sein, wenn der Kanal in einem Gebiet mit stark schwankenden Grundwasserständen verlegt ist und sich somit nur temporär unterhalb des Grundwasserspiegels befindet.
- **Temperatureinfluss auf das Quellverhalten:** In der Kanalisation herrschen naturgemäß andere klimatische Bedingungen als im oberirdischen Raum. Aus diesem Grund kann es von Bedeutung sein, ob das Quellvermögen und -verhalten durch niedrigere Temperaturen beeinflusst bzw. beeinträchtigt wird.
- **Einfluss der Luftfeuchtigkeit:** Einige Hersteller behaupten, dass der Quellprozess ihres Dichtmaterials bereits durch die übliche Luftfeuchtigkeit in der Kanalatmosphäre ausgelöst und abgeschlossen wird (ca. 95 % [12]) und somit der Kontakt mit Wasser gar nicht zwingend erforderlich ist. An dieser Stelle ist von Interesse, welchen Einfluss die Luftfeuchtigkeit tatsächlich ausüben kann.
- **Kraftentwicklung infolge des Quellprozesses:** Es ist anzunehmen, dass die Dichtmaterialien infolge der Volumenzunahme Kräfte auf ihre Umgebung ausüben können. Je nach Größenordnung der resultierenden Kräfte steht zu befürchten, dass auch Schäden an den miteinander verbundenen Bauteilen nicht auszuschließen sind. Von Interesse ist an dieser Stelle, in welcher Größenordnung mit derartigen Kräften zu rechnen ist.

Grundsätzlich stellt sich darüber hinaus beim Einsatz quellfähiger Dichtmaterialien die Frage, zu welchem Zeitpunkt die Bau- und Gewährleistungsabnahme stattfinden sollte, um Fehlinterpretationen auszuschließen. Zum einen ist zu überlegen, wann der Quellprozess abgeschlossen und das Dichtmaterial somit voll wirksam ist und zum anderen muss in Betracht gezogen werden, dass jahreszeitlich bedingt unterschiedliche Belastungen durch schwankende Grundwasserstände vorliegen.

Im Rahmen dieser Voruntersuchungen wurde exemplarisch eines der heute angebotenen Dichtmaterialien labortechnisch näher untersucht. Als Materialbasis dieses Quellgummis

dient Polychloropren (CR = chloroprene rubber, auch als Neopren bekannt), das durch radikalische Polymerisation von Chloropren hergestellt wird. Der Quellvorgang des Dichtmaterials wird über wasserquellfähige Polymerharze auf Polyurethan-Basis, die mit der CR-Matrix durch Vulkanisation untrennbar verbunden sind, bewirkt. [53]

Laut Herstellerangaben wird das quellfähige Dichtmaterial u.a. im Bereich Bauwerkschutz beispielsweise für die Abdichtung von Arbeitsfugen in Stahlbetonbauwerken eingesetzt. Darüber hinaus werden auch andere Anwendungszwecke des Hoch-, Tief-, Ingenieur- und Tunnelbaus als Einsatzmöglichkeit angegeben. Auch im Fall drückenden Grundwassers ist das Dichtmaterial laut Hersteller wirksam. Als mechanische Eigenschaften gibt der Hersteller hohe Elastizität und Reißfestigkeit an und darüber hinaus hohe chemische Beständigkeit. Das Dichtmaterial wird in unterschiedlichen Profilarten und dabei jeweils auch in unterschiedlichen Größen angeboten. Neben Rechteckprofilen werden z.B. Rechteckhöckerprofile, Rundprofile, Kastenprofile mit Luftkammern oder Dreihöckerprofile angeboten. [53]

Für die im Folgenden näher beschriebenen Voruntersuchungen wurde ein Quellband mit Rechteckprofil in den Abmessungen 4 mm x 20 mm verwendet. Als Länge wurden für die Versuche 40 mm bzw. 80 mm<sup>1</sup> gewählt.

Die Probekörper wurden regelmäßig mit einem Messschieber vermessen, aus den ermittelten Werten für Länge, Breite und Höhe wurde daraufhin das Volumen bestimmt<sup>2</sup>. Über Quotientenbildung mit dem Ausgangsvolumen konnte so die jeweilige Volumenzunahme angegeben werden.

---

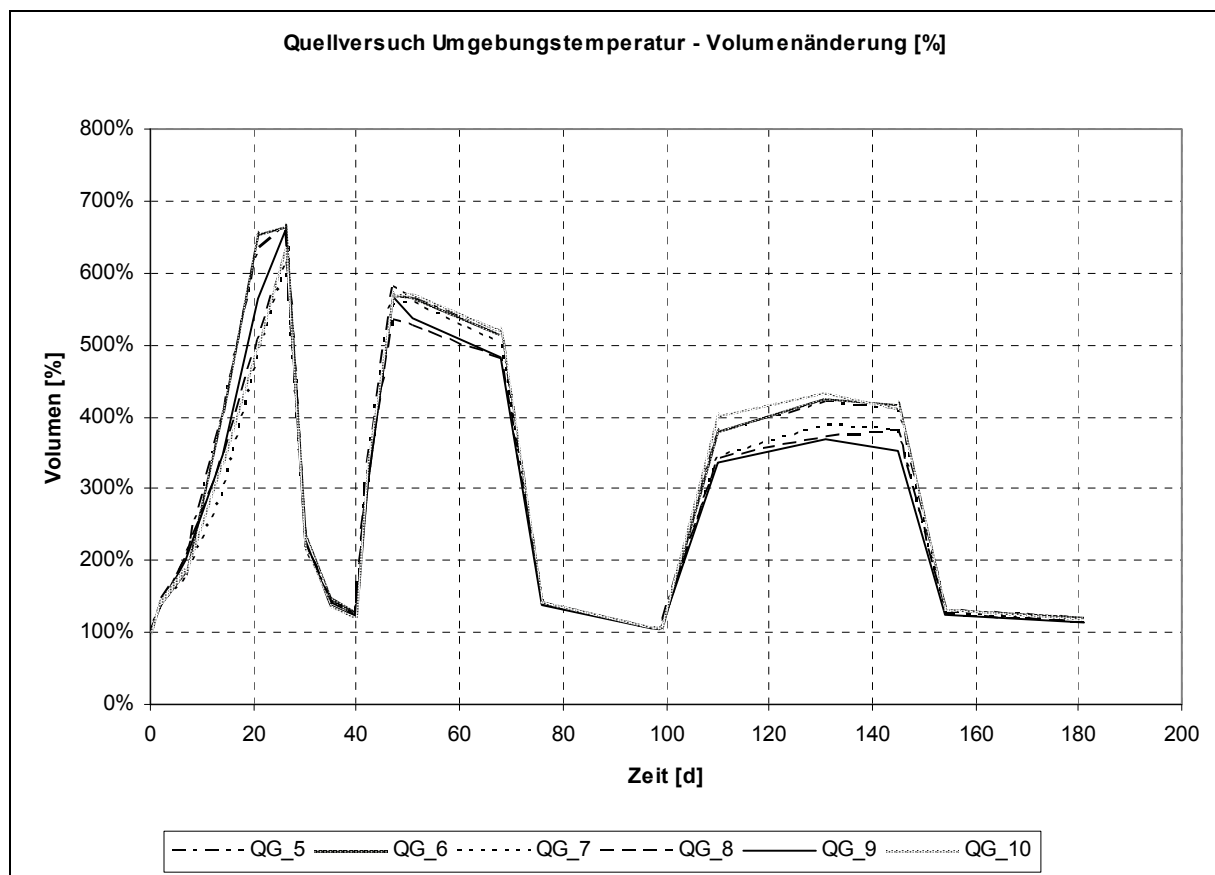
<sup>1</sup> Für die Untersuchungen hinsichtlich Kraftentwicklung wurde eine abweichende Probengröße gewählt. Statt Probenlängen von 40 mm wurden 80 mm eingesetzt.

<sup>2</sup> Eine Ausnahme bilden hier die Untersuchungen hinsichtlich Kraftentwicklung infolge des Quellprozesses. Hier blieben die Proben dauerhaft in einer Konstruktion aus Stahlplatten verbaut, so dass Messungen nicht möglich waren.

### Quellverhalten bei nicht stetiger Durchfeuchtung

In einem ersten Versuch wurden sechs Probestücke unter Raumtemperatur abwechselnd erst bis zur Volumenkonstanz in Wasser eingelagert und daraufhin wieder an der Umgebungsluft getrocknet. Sobald bei der Trocknung keine Volumenabnahme mehr festgestellt wurde, wurden die Proben wieder in Wasser eingelegt. Die Proben durchliefen insgesamt jeweils drei Quellzyklen (dreimal Quellung bis zur Volumenkonstanz und anschließende Trocknung bis zur Volumenkonstanz).

In Abb. 49 ist die Volumenzunahme von sechs Probestücken über insgesamt drei Quellzyklen dargestellt. Wie den Grafen entnommen werden kann, verhielten sich alle sechs Proben hinsichtlich ihrer Volumenzunahme annähernd gleich. Die prozentuale Volumenzunahme nahm mit der Anzahl der Quellzyklen ab. Die Zeiträume der Quellzyklen wurden mit der Anzahl der zuvor bereits durchlaufenen Quellzyklen länger. An diesem Punkt stellt sich die Frage, ob in folgenden Quellzyklen eine weitere Abnahme der Volumenzunahme stattgefunden hätte.

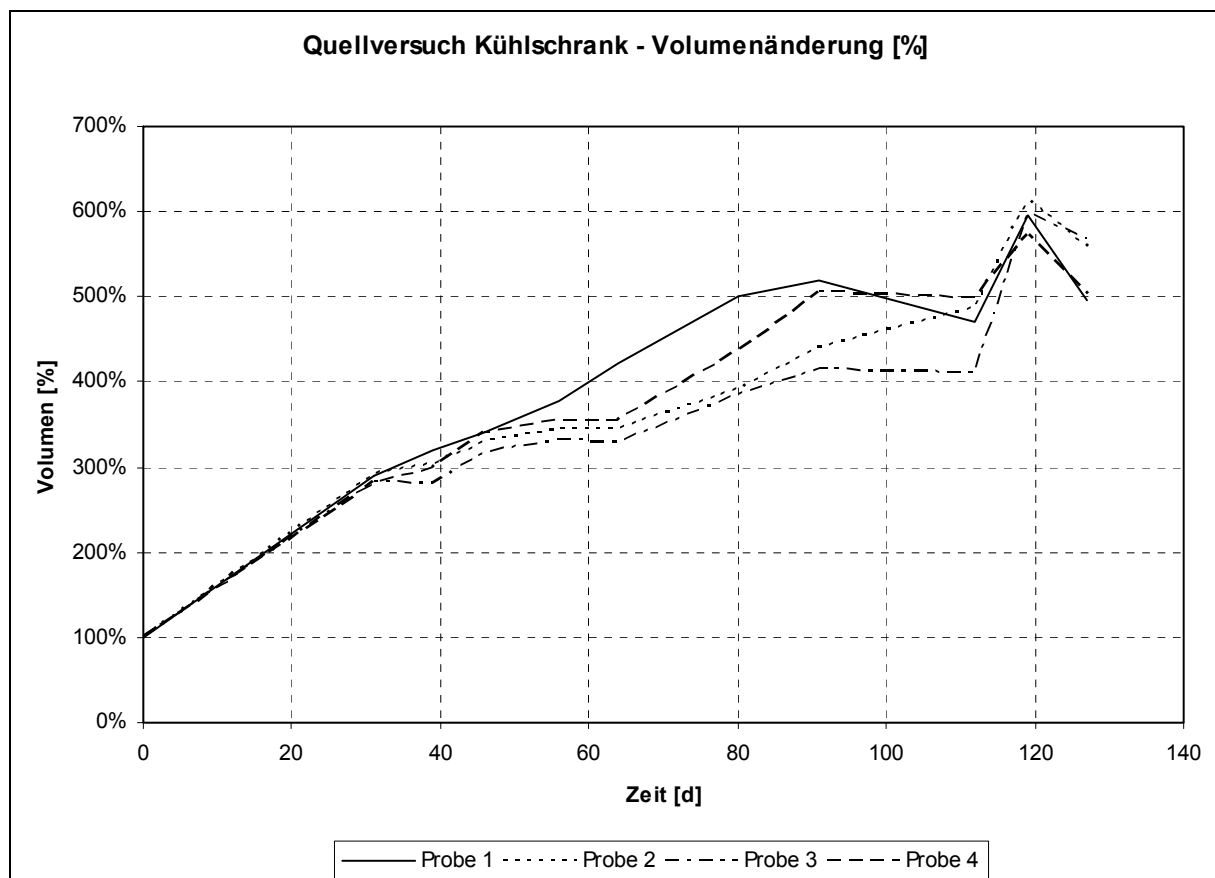


**Abb. 49:** Zusammenhang zwischen Quelldauer und Volumenzunahme für drei aufeinanderfolgende Quellzyklen

### Temperatureinfluss auf das Quellverhalten

Für die Untersuchung des Temperatureinflusses wurden vier Proben samt Wasserbad in einem Kühlschrank bei ca. 6 °C eingelagert. In Abb. 50 ist das Quellverhalten dieser Probe-  
stücke über den Untersuchungszeitraum dargestellt. Auch im Rahmen dieses Versuches  
verhielten sich die Proben hinsichtlich der Volumenzunahme in etwa gleich.

Was jedoch bei einem Vergleich zwischen Abb. 49 und Abb. 50 auffällt, ist die Tatsache,  
dass bei üblicher Raumtemperatur die Proben im Rahmen des ersten Quellzyklus ca.  
25 Tage bis zur Volumenkonstanz benötigten, wohingegen der gesamte Quellprozess bei  
6 °C deutlich verlangsamt ablief und die Proben nach über 120 Tagen immer noch keine  
Volumenkonstanz erreicht hatten. Der Versuch wurde nach diesem Zeitraum abgebrochen.  
Es ist anzunehmen, dass somit der Quellprozess unter den in der Kanalisation herrschenden  
Bedingungen ebenfalls deutlich verzögert abläuft.



**Abb. 50: Quellverhalten von Proben bei einer Temperatur von 6 °C**



### Ergebnisse zum Einfluss der Luftfeuchtigkeit

In einem geschlossenen Prüfbehälter wurde mittels einer übersättigten Kaliumnitratlösung ( $\text{KNO}_3$ ) eine kanalübliche Luftfeuchtigkeit von  $93 \pm 2 \%$  eingestellt. Es sollte untersucht werden, ob bereits diese Luftfeuchtigkeit ausreicht, um den Quellprozess in Gang zu bringen. Darüber hinaus war von Interesse, ob die Luftfeuchtigkeit auf der anderen Seite ausreicht, um bereits vollständig aufgequollene Proben vor der Austrocknung zu bewahren. So wurden zum einen noch gänzlich unaufgequollene und zum anderen bereits vollständig aufgequollene Proben in den Prüfbehälter eingelegt. Die Untersuchung wurde über einen Zeitraum von annähernd drei Monaten durchgeführt. Die Dokumentation von Gewicht und Abmessungen der Probestücke fand in regelmäßigen Abständen statt. Es handelt sich bei den Probestücken 1 bis 4 um die Probestücke, die vor Versuchsbeginn bis zu ihrem maximalen Volumen aufgequollen wurden. Die Probestücke 5 und 6 hingegen waren zuvor nicht mit Wasser in Berührung gekommen.

Der Abb. 51 kann entnommen werden, dass sich nach knapp zwei Monaten die Volumina aller Probestücke, unabhängig von ihrem Ausgangszustand bei Versuchsbeginn, in etwa einem Niveau zwischen ca. 115 und 133 Vol.-% annäherten. Für die restliche Zeit des Versuches hielten sich die Volumina in etwa auf diesem Niveau.

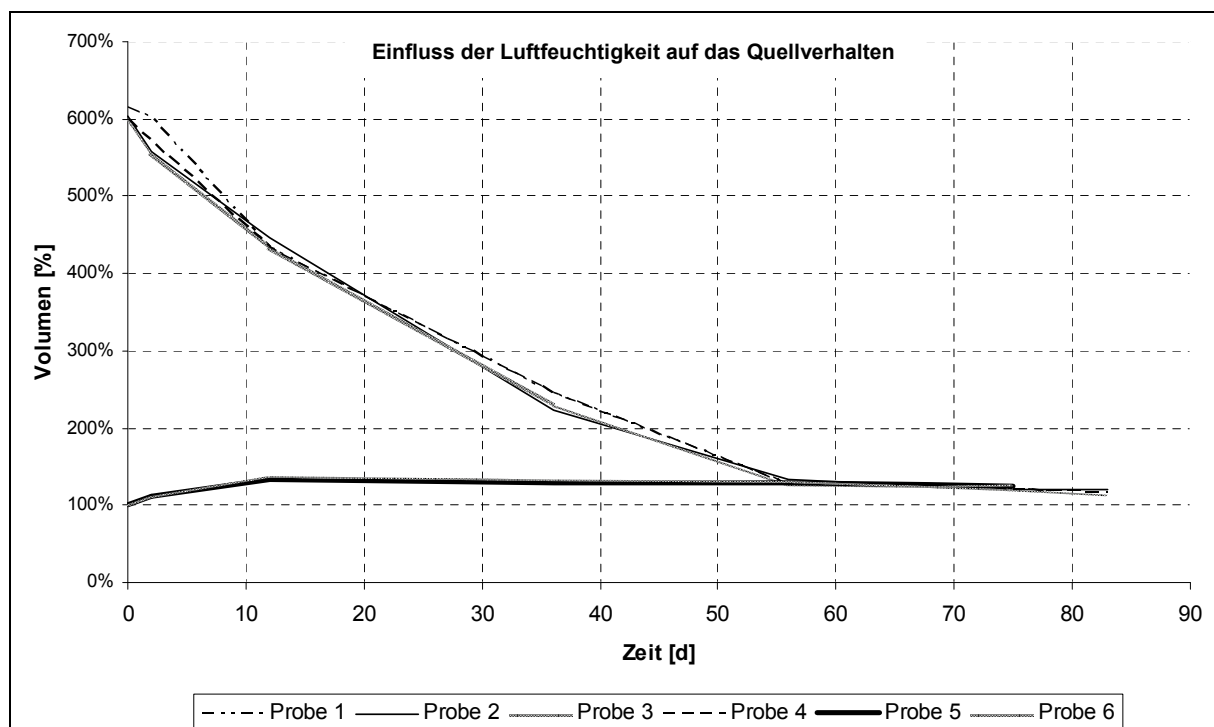


Abb. 51: Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf das Quellverhalten des Dichtmaterials

### **Kraftentwicklung infolge Quellprozess**

Zur Untersuchung der Kraftentwicklung infolge des Quellprozesses wurde die in Abb. 52 dargestellte Konstruktion eingesetzt. Diese bestand im Wesentlichen aus 2 miteinander verschraubbaren Edelstahlplatten und einer Tekscan-Druckmessfolie<sup>®</sup>. In eine der Stahlplatten waren Aussparungen<sup>1</sup> eingestanzt worden, in die insgesamt sieben Probestücke eingelegt wurden (vgl. Abb. 52 links). Die Volumenzunahme wurde somit nur in eine Dimension zugelassen. Im Anschluss wurden eine geeignete Druckmessfolie und die zweite Edelstahlplatte über die Proben gelegt. Die beiden Edelstahlplatten wurden an den Randbereichen umlaufend miteinander verschraubt.

Die gesamte Konstruktion wurde anschließend in einen Behälter eingelegt und dieser mit Wasser befüllt (Abb. 52 rechts). Kurze Zeit nach Versuchsbeginn erfuhren die Proben infolge des Wasserkontakts eine Volumenzunahme, und übten so Druck auf die eingelegte Tekscan-Druckmessfolie<sup>®</sup> aus. Mit dem entsprechenden technischen Equipment wurden die Anpressdrücke ca. einmal am Tag aufgezeichnet (Messgenauigkeit: ca.  $\pm 10\%$ ).



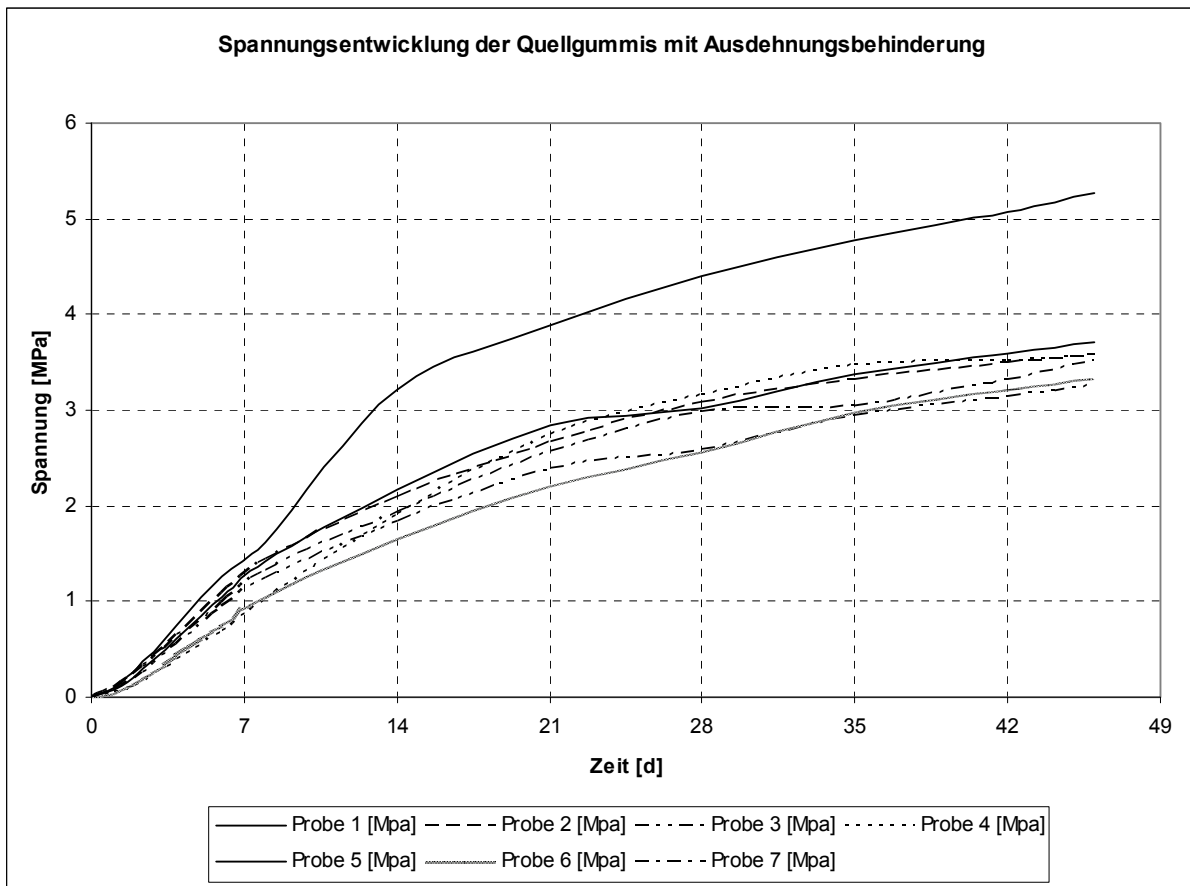
**Abb. 52: Konstruktion für die Spannungsmessungen: Stahlplatte mit eingelegten Proben (links); aufgelegte Tekscan-Druckmessfolie<sup>®</sup> (Mitte); verschraubte Konstruktion in Behälter eingelegt (rechts)**

In Abb. 53 ist die Entwicklung der Anpressdrücke über die gesamte Versuchsdauer dargestellt. Wie Abb. 53 entnommen werden kann, waren die Anpressdrücke nach 42 Tagen bei allen Probestücken in etwa gleich groß. Abgesehen von einer Ausnahme (Probe 5) lagen die Anpressdrücke über den gesamten Versuchsablauf etwa in derselben Größenordnung. Am Ende des Versuches wurden Anpressdrücke in einer Größenordnung von ca. 3,5 MPa gemessen<sup>2</sup>. Im Vergleich wurden beispielsweise im Rahmen eines abgeschlossenen Forschungsvorhabens des IKT im Jahr 2004 [54] in handelsüblichen Rohrverbindungen Anpressdrücke von maximal ca. 0,6 bis 0,7 MPa<sup>3</sup> aufgenommen. Somit lagen die durch das Quellband erzeugten Anpressdrücke in etwa zehnmal so hoch. Da die Proben im vorliegenden Fall jedoch nur in eine Dimension aufquellen konnten, scheinen für den Einsatz im Kanalneubau oder der -sanierung noch weitere Untersuchungen sinnvoll, auch mit Blick auf zusätzliche Schadensrisiken durch die vergleichsweise hohen Anpressdrücke.

<sup>1</sup> Die Aussparungen waren so tief, dass die Proben vor Versuchsbeginn vollständig hineinpassten.

<sup>2</sup> Daraus ergeben sich bei einer Druckfläche von ca. 80 mm x 20 mm resultierende Kräfte über 5 kN.

<sup>3</sup> Maximalwert wurde in einer Tyton<sup>®</sup>-Rohrverbindung DN 300 eines Saint-Gobain Gussrohres gemessen.



**Abb. 53: Spannungsentwicklung der Quellgummis mit Ausdehnungsbehinderung**

## 5 Abnahmekriterien

### 5.1 Rechtlicher Hintergrund der Abnahme

Zur Abnahme von Leistungen und dem rechtlichen Hintergrund finden sich in der Literatur umfassende Ausführungen. Die folgende Argumentation basiert wesentlich auf den Darstellungen in [55].

Die Abnahme einer Werkleistung, die im vorliegenden Fall entweder Maßnahmen des Kanalneubaus oder der -sanierung meint, wird geregelt zum einen im Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) [56] und zum anderen in Teil B der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB/B) [57].

Wesentlich ist die Tatsache, dass der Besteller (Bauherr, Auftraggeber) die Werkleistung des Unternehmers durch die Abnahme „in der Hauptsache“ billigt und den zuvor zwischen den beiden Parteien geschlossenen Vertrag folglich als erfüllt erklärt [58]. Auch Werkleistungen mit unwesentlichen Mängeln müssen laut BGB [56] von dem Besteller abgenommen werden, allerdings ist darauf zu achten, dass bei der Abnahme erkannte Mängel auch tatsächlich beanstandet werden. Im Fall erheblicher Mängel hat der Besteller laut § 634 BGB [56] zudem das Recht auf folgende Sanktionen gegenüber dem Unternehmer:

- Nacherfüllung und damit Beseitigung des Mangels (§ 635 BGB [56]),
- Rücktritt vom Vertrag und Schadenersatz, wenn die Nacherfüllung verweigert, fehlgeschlagen oder unzumutbar ist (§ 636 BGB [56]),
- Ersatzvornahme durch den Besteller, falls der Unternehmer der Aufforderung zur Nacherfüllung nach Ablauf einer angemessenen Frist nicht nachgekommen ist (§ 637 BGB [56]),
- Minderung der Vergütung an den Unternehmer (§ 638 BGB [56]).

An diesem Punkt stellt sich die Frage, wann in der Praxis definitionsgemäß ein erheblicher Mangel vorliegt, der gegenüber dem Unternehmer entsprechend einer der genannten Maßnahmen sanktioniert werden kann. Auch für diese Fragestellung hat der Gesetzgeber eine Lösung gegeben, denn in § 633 BGB [56] sieht er den Unternehmer in der Pflicht, dem Besteller sein Werk frei von Sach- und Rechtsmängeln zu beschaffen. Der Ausdruck „frei von Sachmängeln“ wird in dem Paragraphen weiter definiert als Beschaffenheit, die sich entweder für die nach dem Vertrag vorausgesetzte oder die gewöhnliche Verwendung eignet, bei Werken der gleichen Art üblich ist und die der Besteller nach der Art des Werks erwarten kann. „Frei von Rechtsmängeln“ hingegen ist eine Werkleistung, wenn *„Dritte in Bezug auf das Werk keine oder nur die im Vertrag übernommenen Rechte gegen den Besteller geltend machen können“* [56].

Mit Blick auf die Aufgabe „Fremdwassersanierung“ und das dafür geforderte Leistungskriterium „Infiltrationsdichtheit“ lässt sich 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. Wie die nachfolgenden Kapitel zeigen werden, liegt eine Grundproblematik bei der Abnahme von Werkstoffwechseln und Übergängen in der Bestimmung und Festlegung dieser 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 wie die Ausführungen in den folgenden Abschnitten zeigen werden.

## 5.2 Eignungsprüfungen und Personalqualifikation

Vor der Markteinführung durchlaufen neu entwickelte Produkte üblicherweise eine Reihe von Eignungsprüfungen, im Rahmen derer ihre Einsatzfähigkeit für den Kanalbetrieb unter Beweis gestellt werden soll. Im Rahmen dieser prüftechnischen Nachweise sollte mit Blick auf die hier diskutierte Anforderung „Infiltrationsdichtheit“ belegt werden, dass das vorliegende Konstruktionsprinzip auch einem Außenwasserdruck standhält und unter diesem funktioniert. Dies gilt insbesondere für Produkte, bei denen konstruktionsbedingt z.B. aufgrund der Bauteilgeometrie mit einem nachteiligen Verhalten unter Außenwasserdruck zu rechnen ist. Diesem Anspruch wird bei der Neuverlegung beispielsweise in DIN 4060 [16] und DIN EN 476 [17] Rechnung getragen (vgl. Tabelle 4 in Abschnitt 3.2).

Neben der Dichtheit scheint gerade unter Grundwassereinfluss im Zuge der Fremdwassersanierung auch die Empfindlichkeit der Produkte gegenüber Auftrieb<sup>1</sup> und Bodensetzungen<sup>2</sup> von Interesse zu sein (vgl. auch Erkenntnisse aus Abschnitt 4.1). Hierfür bieten sich Eignungsprüfungen als Abwinklungs- und Scherlastversuche an. Für den Großteil der in Abschnitt 3.2 dargestellten Produktgruppen für den Neubau bzw. die **Neuverlegung** werden derartige Prüfungen in den zuständigen Regelwerken auch bereits gefordert (vgl. Tabelle 4). Die genannten Belastungen müssen von den Bauteilen schadlos und ohne Verlust der Dichtwirkung aufgenommen werden.

Anders gestaltet sich die Situation bei Produkten für die **Sanierung**, denn für den Großteil der relevanten Produktgruppen existieren derzeit noch keine Produktnormen, in denen ähnlich detaillierte Anforderungen wie bei Neubau-Produkten definiert sind. Zur Orientierung können hier die betreffenden Merkblätter der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) und des Rohrleitungssanierungsverbandes e.V. (RSV) herangezogen werden. Ausgehend von dem Grundsatz jedoch, dass „*die Leistungsanforderungen an ein saniertes System denen an ein neues System entsprechen*“ (sinngemäß nach [37] und [59]), lassen sich die o.g. Anforderungen grundsätzlich auch auf die Produkte für die Sanierung übertragen.

Vor diesem Hintergrund erscheint es bei der Durchführung von Fremdwassersanierungen sinnvoll, bereits in der Ausschreibung auch Nachweise zur Einsetzbarkeit für diesen Anwendungsfall zu fordern und ggf. sogar für die Vergabe als grundlegend vorauszusetzen. In Tabelle 15 sind drei mögliche Szenarien dargestellt, um den erforderlichen Nachweis zu erbringen.

Als erste Möglichkeit wird dort aufgeführt, dass Produkte in Übereinstimmung mit einer bestehenden Produktnorm hergestellt werden und in der Produktnorm bereits Prüfungen zu den o.g. Anforderungen, d.h. Infiltrationsdichtheit und Auftriebssicherheit, enthalten sind. In diesem Fall ist es zunächst ausreichend, wenn das Bauteil einen Konformitätsnachweis z.B. in Form eines Ü-Zeichens oder einer CE-Kennzeichnung trägt.

---

<sup>1</sup> Auftriebsprozesse können z.B. bedingt sein durch jahreszeitliche Schwankungen des Grundwasserstandes in Grundwasserwechselzonen. Auch die zunehmende Kanalnetzabdichtung und infolgedessen fehlende Drainierung des Grundwassers kann eine mögliche Ursache für einen Anstieg des Grundwasserpegels und somit Auftriebseffekte sein.

<sup>2</sup> Nachträgliche Bodensetzungen können z.B. auftreten, wenn der Boden in der Bettungszone der Rohrleitung unzureichend verdichtet wurde.

Für viele Produkte, für die (derzeit) noch keine Produktnorm existiert, besteht die Möglichkeit, dass die für die o.g. Anforderungen erforderlichen Nachweise im Rahmen eines Prüfprogramms für eine DIBt-Zulassung überprüft werden. Für andere Produkte wiederum hat das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) derzeit noch keine Zulassungsgrundsätze entwickelt oder aber die bestehenden Zulassungsgrundsätze berücksichtigen die o.g. Anforderungen nicht. In beiden Fällen sind dann von den Herstellern gesonderte Nachweise für die Einsatzfähigkeit zur Fremdwassersanierung beizubringen.

**Tabelle 14: Möglichkeiten des Eignungsnachweises für die Fremdwassersanierung**

<b>Relevante Anforderungen sind in der zuständigen Produktnorm bereits enthalten *</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Anwendung:</b> für Produkte und Verfahren, für die es bereits eine Produktnorm gibt und die in Übereinstimmung mit der Norm hergestellt werden</li> <li>➤ <b>Art des Nachweises:</b> z.B. Konformitätsprüfungen (Ü-Zeichen bzw. CE-Kennzeichnung)</li> </ul>
<b>Relevante Anforderungen werden durch eine DIBt-Zulassung abgedeckt *</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Anwendung:</b> für Produkte und Verfahren, für die es noch keine Produktnorm gibt bzw. die nicht in Übereinstimmung mit einer Norm hergestellt werden</li> <li>➤ <b>Art des Nachweises:</b> Prüfzeugnisse zur Erlangung der DIBt-Zulassung</li> </ul>
<b>Relevante Anforderungen werden weder durch eine Produktnorm noch durch eine DIBt-Zulassung abgedeckt *</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Anwendung:</b> für Produkte und Verfahren, für die es weder eine Produktnorm noch eine DIBt-Zulassung gibt,</li> <li>➤ <b>Art des Nachweises:</b> Prüfzeugnisse entsprechend eigens entwickeltem Prüfprogramm</li> </ul>

\* Als relevante Anforderungen gelten die Beständigkeit gegenüber Außenwasserdruck, Bodensetzungen und Auftrieb.

Ein wesentlicher Vorteil des Übereinstimmungsnachweises (CE) oder einer DIBt-Zulassung besteht darin, dass neben den für die Fremdwassersanierung wichtigen Aspekten auch Informationen über die grundsätzliche Qualität und Eignung des jeweiligen Produktes geliefert werden. So sind im Rahmen von Produktnormen oder Zulassungsgrundsätzen noch weitere praxisrelevante Eigenschaften der Prüfobjekte Gegenstand des Untersuchungsprogramms.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der Eignungsprüfung kann die Entwicklung und Festlegung praxisnaher Qualitäts- bzw. Prüfkriterien sein, die auch in der späteren Abnahmeprüfung eingesetzt werden können, um die für eine Infiltrationsdichtheit maßgeblichen Bauteileigenschaften zu überprüfen.

Insbesondere der Einsatz der in Abschnitt 3.3 dargestellten Sanierungsverfahren erfordert von den Technikern viel handwerkliches Geschick und genaue Kenntnisse über jeden der erforderlichen Verfahrensschritte. Die Personalqualifikation spielt vor allem für die Ausführungsqualität auf der Baustelle eine entscheidende Rolle. Aus diesem Grund werden von den meisten Verfahrensanbietern Schulungen oder Seminare angeboten.

Vor der Auftragsvergabe erscheint es vor diesem Hintergrund erforderlich, von den potentiellen Auftragnehmern Schulungsnachweise einzufordern.

### 5.3 Abnahmeprüfungen und -vorgehen

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 drei Prüfungsschwerpunkte gelten etwa bei der Bauabnahme schlauchlinersanierter Kanäle heutzutage als allgemein anerkannte Regeln der Technik [60].

Für den Schwerpunkt der „Abnahme von Werkstoffwechseln und Übergängen“ erscheinen die vorgenannten Abnahmeprüfungen auf den ersten Blick theoretisch ebenfalls sinnvoll. Nachfolgend wird dargestellt, an welchen Punkten die Prüfverfahren bei der Abnahme von Neubau- und Sanierungswerkstoffwechseln an ihre Grenzen stoßen. Darüber hinaus wird an dieser Stelle hinterfragt, inwieweit Innendruckprüfungen im Falle zu erwartender Grundwasserinfiltration überhaupt praxisrelevant sind, da durch Wasserdruck von außen während der Innendruckprüfung z.B. die Druckdifferenz im Prüfabschnitt verändert wird (vgl. Kapitel 5.5). In Gebieten mit nachweislich schwankendem Grundwasserstand kann vor diesem Hintergrund auch der Zeitpunkt der Dichtheitsprüfung im Kalenderjahr für die Abnahme von Bedeutung sein. Bereits hier deutet sich an, dass für die Fremdwassersanierung alternative Abnahmekriterien erforderlich sind.

Ergänzend nennt die DIN EN 13508 [61] für die Zustandserfassung von Abwasseranlagen auch noch weitere, in der Regel sehr aufwändige Untersuchungsverfahren:

- Untersuchung mittels Sonar,
- Untersuchung mittels Bodenradar,
- Infrarotinspektion,
- Abflussmessung,
- Analyse des Abwassers,
- Infiltrationsmessung.

Von den vorgenannten Verfahren erscheinen zum Einsatz im Rahmen einer einfachen Abnahmeuntersuchung einzig die Durchführung von Abflussmessungen und die Infiltrationsmessung wirtschaftlich vertretbar.



### 5.3.1 Dichtheitsprüfungen vor Ort

Dichtheitsprüfungen werden sowohl mit Wasser als auch mit Luft als Prüfmedium durchgeführt. Gegenüber Dichtheitsprüfungen mit Wasser bieten sowohl die Unter- als auch die Überdruckprüfungen mit Luft einige Vorteile. Zu diesen gehören laut KAUFMANN [62] folgende:

- keine Wasserbeschaffungsprobleme, da die Prüfstrecke nicht befüllt werden muss und keine Wasserschäden bei schlagartigem Rohrbruch,
- konstanter Prüfdruck in der Prüfstrecke unabhängig vom Verlegegefälle,
- schneller Aufbau der Prüfeinrichtung und schnelle Prüfdurchführung,
- Prüfung auch bei Temperaturen unter 0 °C möglich (frostsicher),
- übersichtlicher Aufbau und leichte Anwendung des verschleißfreien Prüfgerätes,
- akustische Leckortung durch Feststellen der Geräuschquelle durch ein einströmendes Medium ist möglich,
- Kosteneinsparung.

Vor dem Hintergrund, dass Abwasseranlagen in Fremdwassergebieten zumindest zeitweise im Grundwasser liegen und dadurch Außenwasserdrücken ausgesetzt sind, scheint die Prüfung mit Luftunterdruck die relevantere Belastung für die Prüfobjekte zu sein. Lediglich die Suche nach geeigneten Prüf- und Bewertungskriterien gestaltet sich zunächst schwierig, denn die relevanten Regelwerke DIN EN 1610 [49] und Arbeitsblatt DWA-A 139 [50] schließen die Unterdruckprüfung bei Lage des Kanals im Grundwasser grundsätzlich aus. In Tabelle 15 sind Hinweise und Einschränkungen dieser beiden Regelwerke für Prüfungen bei Lage des Prüfabschnittes im Grundwasser zusammengefasst.

**Tabelle 15: Zusammenfassung der Hinweise und Einschränkungen zur Dichtheitsprüfung von Abwasserkanälen im Grundwasser aus DIN EN 1610 [49] und DWA-A 139 [50]**

DIN EN 1610
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Steht während der Prüfung der Grundwasserspiegel oberhalb des Rohrscheitels an, darf eine Infiltrationsprüfung mit fallbezogenen Vorgaben durchgeführt werden.</li> </ul>
Arbeitsblatt DWA-A 139
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Die Grundwassersituation zum Zeitpunkt der Dichtheitsprüfung im Bereich des Prüfobjektes ist zu dokumentieren,</li> <li>➤ Grundwasserstand bis 1,00 m über Rohrsohle: Prüfverfahren mit Wasser und Luftüberdruck zulässig,</li> <li>➤ Grundwasserstand zwischen 1,00 m über Rohrsohle und 1,00 m über Rohrscheitel: Prüfverfahren mit Wasser zulässig,</li> <li>➤ Grundwasserstand ab 1,00 m über Rohrscheitel: weder Prüfverfahren mit Wasser noch mit Luft zulässig (Einsatzgrenze),</li> <li>➤ Leitungsprüfung mit Luftüberdruck: Bei anstehendem Grundwasser ist der höchste Grundwasserstand in der Prüfstrecke zu berücksichtigen; der Prüfdruck ist pro 10 cm Grundwasser um 1 kPa zu erhöhen (max. Prüfdruck aus sicherheitstechnischen Gründen dennoch 20 kPa),</li> <li>➤ Leitungsprüfung mit Unterdruck: Die genannten Prüfbedingungen gelten nur für Prüfobjekte, die sich vollständig oberhalb des Grundwasserspiegels befinden.</li> </ul>

Liegt der Rohrscheitel des zu prüfenden Leitungsabschnittes unterhalb des Grundwasserspiegels, gibt die DIN EN 1610 [49] eine Infiltrationsprüfung mit fallbezogenen Vorgaben als mögliches Prüfverfahren an. Was die Infiltrationsprüfung mit fallbezogenen Vorgaben (vgl. Tabelle 15) überhaupt sein soll, wird in der DIN EN 1610 [49] nicht weiterführend erläutert. Andere Quellen wie beispielsweise das Merkblatt 4.3/6 Teil 2 des Bayerischen Landesamtes

für Wasserwirtschaft [63] geben nähere Hinweise. Mit Bezug auf die DIN EN 1610 [49] wird dort die Infiltrationsprüfung als alleinige Dichtheitsprüfung bei der Neubauabnahme nur zugelassen, wenn der Rohrscheitel des gesamten Prüfabschnittes sich mindestens 0,50 m unterhalb des Grundwasserspiegels befindet. Die Bewertung kann laut Merkblatt optisch erfolgen, denn undichte Stellen können durch Wassereintritt ausreichend gut erkannt werden.

Auch für die Durchführung von Druckprüfungen gibt Merkblatt 4.3/6 [63] im Fall umgebenden Grundwassers weitere wichtige Hinweise. So muss bei Innendruckprüfungen je Meter Grundwasserstand über der Rohrsohle der Druck um 10 kPa bis auf maximal 30 kPa erhöht werden. Die Nachteile einer Unterdruckprüfung im umgebenden Grundwasser werden ebenfalls konkretisiert. So wird in dem Merkblatt 4.3/6 [63] darauf hingewiesen, dass bei Lage im Grundwasser der Druckanstieg durch eintretendes Grundwasser im Rahmen der Prüfzeiten zu gering angezeigt wird, so dass man auf Basis dieses Druckanstieges den Prüfabschnitt gar nicht als undicht bewerten würde. Alternativ besteht aber als weiteres Kriterium die Möglichkeit, anhand einer optischen Untersuchung im Anschluss an die Unterdruckprüfung undichte Stellen durch in der Regel gut sichtbaren Wassereintritt (bzw. bereits eingetretenes Wasser) auszumachen. Der übliche Prüfdruck für eine Unterdruckprüfung beträgt in erster Linie aus Gründen der Arbeitssicherheit -10 bis -20 kPa [49].

Das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft empfiehlt, sofern Zweifel am Prüfergebnis bestehen, im Anschluss eine Wasserdruckprüfung durchzuführen. Als weitere zusätzliche Vorteile der Unterdruckprüfung gelten nach [62] folgende:

- Wegfall des Gefährdungspotentials durch unter Unterdruck stehendes Haltungsvermögen,
- Verschlussorgane einfacher und leichter,
- Keine Aufwärmung der Luft in der Haltung,
- Widerlager entfallen,
- Akustische Leckortung durch Feststellen der Geräuschquelle durch ein einströmendes Medium ist möglich (wenn noch nicht überdeckt).

Auch hinsichtlich des umgebenden Erdreichs werden in den geltenden Regelwerken Angaben gemacht. So führt DIN EN 13508-1 [61] aus, dass bei undurchlässigen Böden eine Dichtheitsprüfung geringere Priorität für die Zustandserfassung haben kann. Fraglich ist an dieser Stelle, ob eine Berücksichtigung des umgebenden Erdreiches in der Praxis überhaupt möglich ist, da insbesondere bei der Sanierung, ohne Weiteres nur selten Kenntnisse über die Bodeneigenschaften vorliegen.

Überdruckprüfungen vor Ort können entweder mit dem Prüfmedium Wasser oder Luft durchgeführt werden. Für die Prüfung mit Luft gelten gegenüber der Prüfung mit Wasser die bereits in Abschnitt 5.3.1 aufgeführten Vorteile.

Für die Überdruckprüfungen mit Wasser werden in den geltenden Regelwerken die in Tabelle 16 aufgeführten Prüfparameter genannt.

**Tabelle 16: Prüfparameter für Innendruckprüfungen mit Wasser**

Regelwerk	Prüfobjekt	Prüfdruck	Prüfzeit	Zulässige Wasserzugabe
DWA-A 139	Rohrleitungen	10kPa – 50kPa	30 min	0,15 l/m <sup>2</sup>
DIN EN 1610	Rohrleitungen + Schächte		30 min	0,20 l/m <sup>2</sup>
	Schächte und Inspektionsöffnungen		30 min	0,40 l/m <sup>2</sup>
DIN 1986-30	Grundstücksentwässerungsleitungen	5 kPa *	15 min	0,20 l/m <sup>2</sup>
DWA-M 143, Teil 6	Leitungen einschließlich Schächte	5 kPa	15 min	0,20 l/m <sup>2</sup>

\* Ist dieses bei alten Leitungssystemen nicht möglich, kann die Leitung alternativ bis zur Oberkante des tiefsten Entwässerungsgegenstandes oder Unterkante der Reinigungsöffnung in der Fallleitung mit Wasser aufgefüllt werden

Die Prüfung mit Wasser entspricht laut [50] den Betriebsbedingungen in einem Kanal und ist deshalb in Zweifelsfällen maßgebend. Prüfungen mit Luft können beliebig oft wiederholt werden, während bei einer Prüfung mit Wasser das erste Ergebnis bindend ist.

Wie bereits in Tabelle 15 aufgeführt, werden bereits Grundwasserstände ab 1,00 m über Rohrsohle (Luftüberdruck) bzw. 1,00 m über Rohrscheitel (Wasserdruck) in DWA-A 139 [50] als Einsatzgrenze für die Überdruckprüfungen angesehen. Das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft hingegen gibt in Merkblatt 4.3/6 [63] den Hinweis, dass im Fall anstehenden Grundwassers je Meter Grundwasserstand über der Rohrsohle der Druck um 10 kPa bis auf maximal 30 kPa zu erhöhen ist.

### Schlussfolgerungen

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, einige Einschränkungen. So ist z.B. für Schachtanbindungen derzeit keine adäquate Prüftechnik verfügbar, mit der die alleinige Prüfung der Schachtanbindung durchgeführt werden kann. Auch bei der Prüfung von Stutzen liegen 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 Undichtigkeiten 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 Anschlussstutzen 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. RSV-Merkblatt 7.2 [43] empfiehlt für die Abnahme von Hutprofilen ebenfalls, die Dichtheitsprüfung optisch vorzunehmen.

### 5.3.2 Optische Untersuchungen

Die optische Zustandserfassung bzw. optische Inspektion stellt für den Kanalneubau und die Kanalsanierung das Standardverfahren dar. Definiert wird der Begriff „optische Inspektion“ im DWA-Merkblatt 149-2 [64] als „Erfassung des baulichen/betrieblichen Zustandes durch direkte oder indirekte Inaugenscheinnahme von innen“. Die optische Inspektion kann nach DIN EN 13508-2 [65] auf folgende Arten durchgeführt werden:

- Inspektion der Rohrleitung von innen,
- Inspektion der Rohrleitung von einem Schacht oder einer Inspektionsöffnung aus,
- Inspektion des Schachtes oder der Inspektionsöffnung von innen,
- Inspektion des Schachtes oder der Inspektionskammer von der Oberfläche aus.

Als Inspektionstechniken können dabei eingesetzt werden: ferngesteuerte TV-Kamera, Kanalspiegel und Fotokamera oder es kann eine Begehung stattfinden [65]. Für nicht begehbare Rohrnennweiten kommen heute in der Regel TV-Fahrwagenkameras zum Einsatz, während in begehbaren Rohrnennweiten die direkte Inaugenscheinnahme im Rahmen einer Kanalbegehung gewählt wird.

Eine wesentliche Problematik, die bei der optischen Inneninspektion von Werkstoffwechseln bestehen kann, ist beispielhaft in Abb. 54 dargestellt. Auf dem linken Foto ist die Außenansicht eines Übergangsstückes von PVC auf Steinzeug zu sehen. Auf dem rechten Foto ist derselbe Werkstoffwechsel in der Innenansicht dargestellt. Das verwendete Übergangsstück ist in der Innenansicht nicht mehr sichtbar.



**Abb. 54:** *Werkstoffwechsel von Steinzeugrohr auf PVC-Rohr; Außenansicht (links) und Innenansicht, bei der das Bauteil nicht sichtbar ist (rechts)*

Dieser Umstand liegt darin begründet, dass sich das gesamte eingesetzte Bauteil außerhalb des Rohrquerschnittes im Bereich der Rohraußenseiten befindet. Von der Problematik bei der optischen Untersuchung betroffen sind zahlreiche Produkte aus dem Bereich Neubau (vgl. Kapitel 3.2.2).

In einem nachweislich fremdwasserbelasteten Gebiet kann sich in solchen Fällen zeitweise, wenn der Grundwasserstand temporär unterhalb des Kanals liegt, sogar die Frage stellen, ob das erforderliche Übergangsstück überhaupt eingebaut wurde oder die Rohrenden lediglich auf Stoß aneinandergelegt wurden.

Befindet sich die Prüfabschnitt zum Zeitpunkt der optischen Untersuchung jedoch im Grundwasser, kann bei der optischen Untersuchung eine Überprüfung des Übergangsbereiches auf Wassereintritt erfolgen (Infiltrationsprüfung nach [49] und [63], vgl. auch Abschnitt 5.3.1).

### **Schlussfolgerungen**

Die dargestellten Sachverhalte legen nahe, dass der optischen Untersuchung aus dem Kanalinneren bei Werkstoffwechseln insbesondere mit Blick auf die Funktionsfähigkeit eine bedeutende Rolle zukommt, sie jedoch mit Blick auf die Dichtheit nicht immer ausreicht. Je nach eingesetzten Bauteilen (vgl. Abb. 54) sind ergänzende Maßnahmen zu empfehlen, z.B. bei Einbau von Außenmanschetten in offener Bauweise die Sichtprüfung vor der Überschüttung (vgl. DIN EN 1610 [49], Abschnitt 10 (1) bzw. 12.1).

Bei Infiltrationsprüfungen gemäß Abschnitt 5.3.1 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.

### 5.3.3 Labortechnische Materialprüfungen

Speziell bei Bauprodukten, die vor Ort auf der Baustelle hergestellt werden, können sich labortechnische Materialprüfungen als zusätzliche Maßnahme im Rahmen der Qualitätssicherung anbieten. Dies gilt insbesondere für den Bereich Sanierung (vgl. Abschnitt 3.3).

Durch Eigen- und Fremdüberwachung ist z.B. gemäß dem DWA-Merkblatt 143-20 [40]<sup>1</sup> sicherzustellen, dass die Anforderungen aus dem Eignungsnachweis auch in der Herstellung vor Ort erfüllt werden. Zur Verfügung stehen hier z.B. Methoden

- zur Bestimmung der mechanischen Kennwerte,
- zur Dichtheitsprüfung,
- zur Identifizierung der eingesetzten Inhaltsstoffe,
- zum Nachweis der Dauerhaftigkeit oder
- zur Bestimmung von Haftzugfestigkeitseigenschaften

des verwendeten Materials bzw. Bauteils.

Als problematisch muss an dieser Stelle angesehen werden, dass bei einigen der genannten Prüfmethode eine teilweise Zerstörung des Sanierungskörpers (z.B. bei Haftzugfestigkeitsprüfungen) notwendig ist.

Die Kosten für die labortechnischen Untersuchungen spielen bei der Auswahl geeigneter Methoden in der Praxis eine entscheidende Rolle. Während diese Kosten im Zuge von aufwändigen Renovierungsmaßnahmen (z.B. Schlauchlining) i.d.R. vertretbar sind, kann das Kosten-Nutzen-Verhältnis bei Reparaturmaßnahmen in Frage stehen.

### **Schlussfolgerungen**

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.

---

<sup>1</sup> Das Merkblatt befasst sich mit der Sanierung mittels Kurzliner oder Schlauchliner.

### 5.3.4 Durchflussmessungen

Durchflussmessungen eignen sich, um den Erfolg umfassender Fremdwassersanierungsarbeiten gebietsweise zur Vorbereitung der eigentlichen Bau- oder Gewährleistungsabnahme grob abzuschätzen. Dabei werden i.d.R. die Fremdwasserzuflüsse vor und nach einer Sanierungsmaßnahme miteinander verglichen. Diese Vorgehensweise setzt entsprechend voraus, dass auch vor der Sanierung bereits Messungen durchgeführt werden. Die dabei gesammelten Daten können bereits genutzt werden, um gebietsweise den Sanierungsbedarf bzw. die Sanierungsprioritäten einzuschätzen.

Um im Rahmen von Messkampagnen verlässliche Daten zu erhalten, müssen im Vorfeld die jeweiligen Randbedingungen des Einzugsgebietes genau bekannt sein und folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- Wann ist ein geeigneter Zeitpunkt für Fremdwassermessungen?
- Wo befinden sich geeignete Messstellen im Kanalnetz?
- Über welche Dauer sollten die Messungen durchgeführt werden (Langzeit / Kurzzeit)?
- Welche Messgeräte eignen sich für die geplante Messkampagne?
- Wie sieht eine geeignete Auswertung und Bewertung der Messwerte aus?

Nachfolgend wird auf diese Fragestellungen eingegangen. Hinweise zur Vorbereitung einer Messkampagne finden sich z.B. in [66], [67], [68], [69] und sind nachfolgend zusammengefasst.

#### **Geeigneter Zeitpunkt für Fremdwassermessungen**

Fremdwassermessungen sollten vorzugsweise nachts durchgeführt werden, wenn der Schmutzwasserabfluss minimal ist und das Fremdwasser das Abflussgeschehen dominiert.

Zur Wahl einer geeigneten Jahreszeit sollte im Vorfeld geklärt werden, welche Ursache der Fremdwassereindrang in die Kanalisation in erster Linie hat. Zu unterscheiden ist hier zwischen niederschlagsinduziertem und grundwasserbürtigem Fremdwasser. Handelt es sich bei dem Fremdwasser in erster Linie um infiltrierendes Regenwasser, sollten Mengenbestimmungen in Jahreszeiten durchgeführt werden, in denen es stark regnet. Folglich eignen sich in diesem Fall Messungen im Herbst oder Winter. Sofern es sich bei dem Fremdwasser jedoch in erster Linie um infiltrierendes Grundwasser handelt, sollten Zeiträume gewählt werden, in denen der Grundwasserpegel im Jahresvergleich möglichst hoch oder annähernd maximal ist. In solchen Fällen ist der Fremdwasseranteil im Wesentlichen von der Höhe des Grundwasserpegels abhängig, die systembedingt in der Regel in den Monaten Februar bis April maximal ist. Darüber hinaus sind Einflüsse aus der Nutzung der Grundwasservorräte zur Trinkwassergewinnung und für industrielle Zwecke zu beachten.

### Geeignete Messstellen im Kanalnetz

Um geeignete Messstellen festzulegen, ist das gesamte Entwässerungsnetz anhand der Bestandsunterlagen in geeignete Teileinzugsgebiete zu unterteilen. Im Ergebnis sollte sowohl der Gesamtabfluss jedes Teileinzugsgebietes als auch der Abfluss jedes Hauptsammlers an einem Messpunkt direkt vor der Kläranlage erfasst und die Teileinzugsgebiete mit dem meisten Fremdwasseraufkommen identifiziert werden.

Um Fremdwasserschwerpunkte festzulegen, können die maßgeblichen Fremdwasserquellen durch fortschreitende Abflussmessungen in den Knotenpunkten der Teileinzugsgebiete noch weiter eingegrenzt werden. Dabei bietet es sich an, durch Ortsbegehung vorab die Abflussverhältnisse bis hin zur Fließtiefe an den potentiellen Messpunkten zu erkunden und für die Auswahl aussagekräftiger Messpunkte zu nutzen (vgl. Abb. 55). Darüber hinaus lässt sich auf dieser Basis die hydraulische und bauliche Eignung des Messschachtes für eine Abflussmessung einschätzen und eine geeignete Messtechnik auswählen.



**Abb. 55:** Klarer Abfluss in den Messschächten als mögliches Indiz für Fremdwasser

### Dauer der Messungen

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, sich entweder für eine langfristige Beobachtung der Abflüsse über mehrere Monate oder aber für eine einmalige Messkampagne, bei der der Abfluss während des Nachtminimums über mehrere Nächte erfasst wird, zu entscheiden.

Die gewählte Untersuchungsdauer hat üblicherweise auch Einfluss auf die Wahl des Messverfahrens. Bei längeren Betriebsdauern stellen hydraulische Messverfahren (z.B. Messwehr) eine kostengünstige Lösung dar, wohingegen für einmalige Messkampagnen in der Regel mobile Messgeräte mit kurzen Ein- und Ausbauezeiten vorzuziehen sind. Auch lassen sich so in den wenigen Stunden des nächtlichen Durchflussminimums gleich mehrere Messstellen nacheinander erfassen.

Für den vorliegenden Anwendungsfall bietet sich der Einsatz mobiler Messgeräte an, da einmalige Messkampagnen mit hoher Erfassungsdichte gezielt Aufschluss über den Erfolg von Sanierungsmaßnahmen geben können.

### Auswahl einer geeigneten Messtechnik

Für die Durchführung von Durchflussmessungen stehen grundsätzlich unterschiedliche Messverfahren aus den folgenden vier Gruppen zur Verfügung:

- Hydraulische Messverfahren (z.B. Venturi-Gerinne, Messwehr),



- Fließgeschwindigkeitsverfahren (z.B. MID-Ultraschalllaufzeitverfahren),
- Tracer-Messungen (Zudosierung von Farb- und Salztracer),
- V/h-Messungen (z.B. Messflügel, MID-Sonde + W-Messung),
- weitere Messungen (volumetrische Durchflussmessungen).

Jedes Messsystem erfordert unterschiedliche hydraulische und bauliche Randbedingungen. Für den mobilen Einsatz eignen sich besonders magnetisch-induktive Messgeräte (MID). Vorteilhaft ist die vergleichsweise genaue Messung auch geringer Abflüsse, bei gleichzeitig unkomplizierter Handhabung des Messgerätes. Das Gerät wird im Zulauf eines Messschachtes installiert und der Rohrquerschnitt durch die integrierte Dichtblase soweit abgedichtet, dass der Gesamtabfluss vollständig durch den reduzierten Querschnitt des MID fließt. Abb. 56 zeigt Beispiele für geeignete Messtechnik.



**Abb. 56:** *Magnetisch-Induktive Durchflussmessung (links); Ultraschallmesssensor für die Messung von Wasserstand und Fließgeschwindigkeit (Mitte); Muffendichtheitsprüfgerät mit eingebautem MID-Messgerät z.B. für die Einzelmessung an einem Hausanschluss (rechts)*

### **Schlussfolgerungen**

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).

### 5.3.5 Dokumentationspflichten der Auftragnehmer

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 (vgl. Abschnitt 3.3.4). Bei Arbeiten mit Reaktionsharzen oder Mörteln ist die Untergrundvorbereitung für den späteren Verbund und somit die Abdichtung gegen In- und Exfiltration von maßgeblicher Bedeutung (vgl. auch Abschnitt 3.3).

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). Ggf. ist eine separate Abnahme dieser Leistungen vorzunehmen (vgl. [36]).

Weiter Prüfungen vor Ort wie beispielsweise Dichtheitsprüfungen sind ebenfalls in der Baustellendokumentation festzuhalten [50].

Produkt- bzw. verfahrensspezifische Hinweise können Anhang I entnommen werden.

#### 5.4 Schlussfolgerungen für die Abnahme von Werkstoffwechseln

Die heute üblichen Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Bauabnahme von Kanalneubau- und -sanierungsarbeiten bestehen für gewöhnlich aus **optischen Untersuchungen** und **Dichtheitsprüfungen vor Ort**. Auch für die Abnahme von Werkstoffwechseln und Übergängen im Falle der Fremdwassersanierung erscheinen diese beiden Prüfungen grundsätzlich sinnvoll, sollten jedoch durch zusätzliche Maßnahmen ergänzt werden.

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<sup>1</sup> 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.

Anstatt der üblichen Überdruckprüfung mit Luft oder Wasser gemäß der DIN EN 1610 [49] oder dem DWA-Arbeitsblatt 139 [50] erscheint es für die Abnahme auf Infiltrationsdichtheit zweckmäßiger, eine **Prüfung mit Luftunterdruck** durchzuführen. Bei der Luftunterdruckprüfung wird physikalisch die tatsächlich relevante (Außendruck-)Belastung auf die Prüfobjekte aufgebracht<sup>2</sup>. Wird vor der Überdeckung des Kanalabschnittes eine Unterdruckprüfung durchgeführt, lassen sich Undichtigkeiten ggf. auch akustisch orten und beheben.

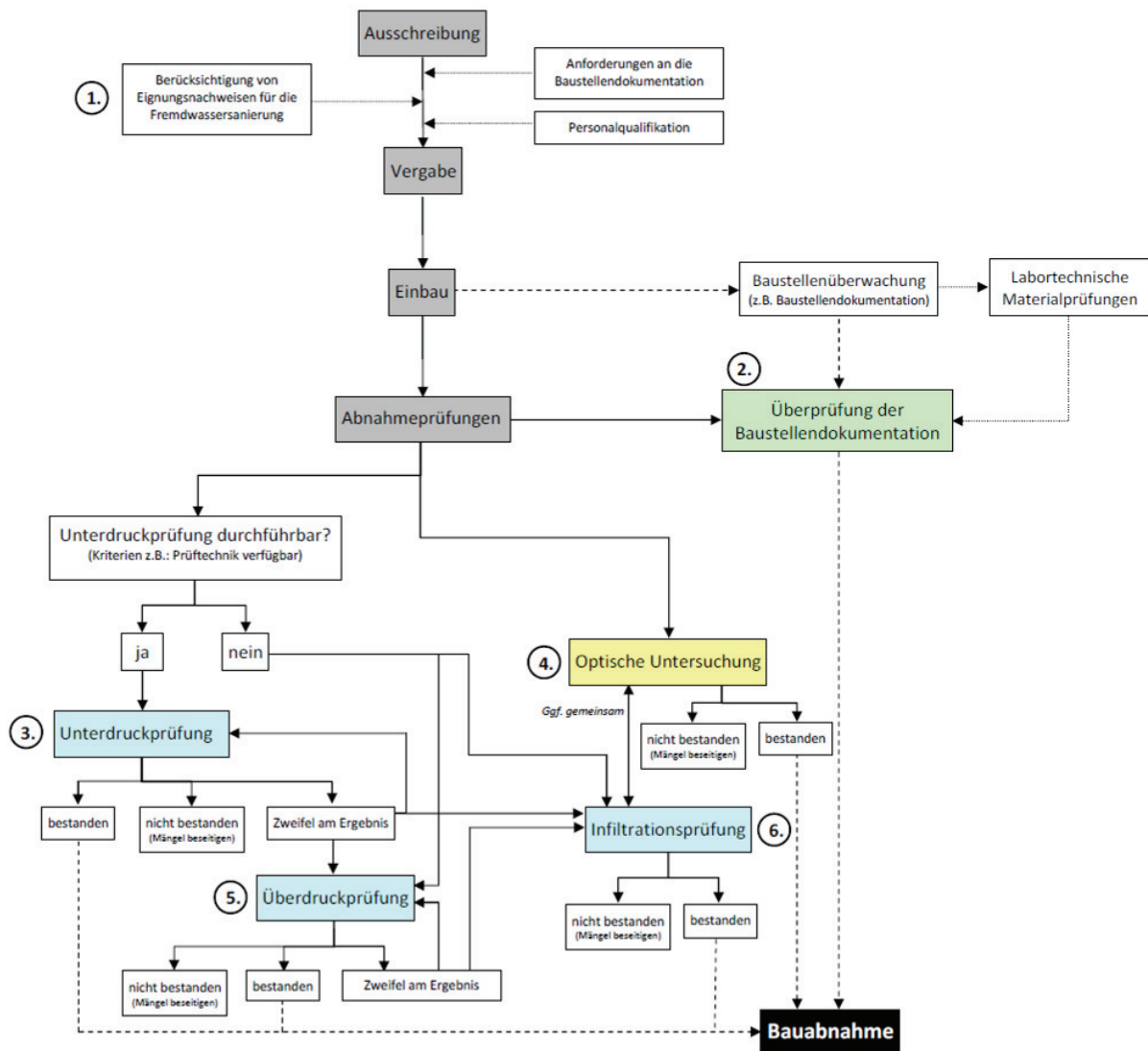
Weitere technische Vorteile und Risiken sind in Abschnitt 5.3.1 dargestellt: Liegt der Prüfabschnitt während der Unterdruckprüfung im Grundwasser, ist eine regelwerkskonforme Prüfungsdurchführung und -bewertung auf Basis von Druckänderungen nicht mehr möglich. Auch die Zuverlässigkeit der Prüfung kann in Frage gestellt sein, denn das an Undichtigkeiten eindringende Grundwasser führt im Gegensatz zu eindringender Luft nur zu einem unwesentlichen Druckanstieg in der Prüfstrecke. Eine anschließende optische Kontrolle des Prüfabschnittes auf Wassereintritte (infolge des Unterdrucks) scheint daher sinnvoll (**Infiltrationsprüfung**) (vgl. [63]).

In Zweifelsfällen sind andere Prüfverfahren einzusetzen, wie beispielsweise **Überdruckprüfungen** mit Luft oder Wasser. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass eine Überdruckprüfung nur bei Produkten, deren Verhalten unter Innen- und Außendruck vergleichbar erscheint, zweckmäßig ist. Der innere Prüfdruck sollte dabei in Abhängigkeit des Grundwasserstandes gewählt, d.h. ggf. auch erhöht werden.

In Abb. 57 ist die geschilderte Vorgehensweise schematisch zusammengefasst. Die Auswahl eines 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 (vgl. Abschnitt 7.1, Diskussion mit kommunalen Vertretern).

<sup>1</sup> Viele Anbieter können derartige Nachweise derzeit noch nicht liefern (vgl. Anhang I).

<sup>2</sup> Physikalisch handelt es sich auch bei der sog. „Unterdruck“-Prüfung um einen Überdruck, allerdings von außen. Der Luftdruck im Inneren des Rohres wird durch Luftmengenentzug unter den atmosphärischen Luftdruck von 1 bar abgesenkt, so dass die Druckdifferenz zwischen äußerem atmosphärischem Druck und dem nun geringeren inneren Leitungsdruck zu einer Außendruckbelastung führt.



**Abb. 57: Vorgehensweise: Begleitung und Abnahme der Fremdwassersanierung (schematischer Ablauf)**

Vor Umsetzung der in Abb. 57 dargestellten Vorgehensweise sind noch die mit Ziffern gekennzeichneten technischen Aufgaben in weiteren Untersuchungen zu klären. 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:**

- Als Projektergebnis enthält die Marktübersicht in Anhang I bereits für jede Produktgruppe Hinweise zur Baustellendokumentation mit Blick auf die Gewährleistung von „Infiltrationsdichtheit“. Es werden z.B. Anforderungen an die zu dokumentierenden Einbauzustände (z.B. Oberflächenvorbereitung) gestellt. Diese Anforderungen sind systematisch weiterzu-

entwickeln, so z.B. durch 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 [49] 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 Prüftechnik** 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 achten ist. Besonders zu akzeptablen Toleranzen fehlen Angaben. Ein Bildkatalog mit entsprechenden Informationen für die eingesetzten Produktgruppen kann hier weiterhelfen.

### 5. Überdruckprüfungen:

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

### 6. Infiltrationsprüfungen:

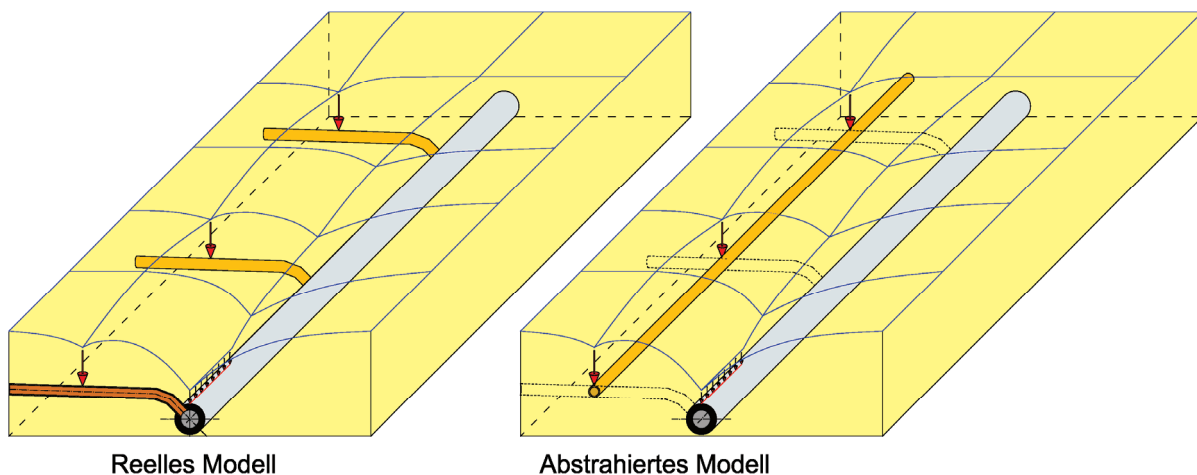
- Der vorliegende Endbericht enthält in Kapitel 5.3.1 bereits Informationen zu Infiltrationsprüfungen. Da diese Prüfungsart in den geltenden Regelwerken derzeit jedoch nur am Rande erfasst wird, fehlen hier ausführliche **Handlungsempfehlungen zum Ablauf und zur Umsetzung**. Für die zuverlässige Anwendung von Infiltrationsprüfungen erscheinen weitergehende Informationen zur Vorbereitung, Durchführung und Auswertung notwendig.

## 5.5 Modellrechnungen zum Infiltrationsvermögen undichter Kanäle

Beispielhaft wurden vom Institut für Wasserwirtschaft und Ressourcenschutz der Universität der Bundeswehr in München Modellrechnungen durchgeführt, in denen der Einfluss undichter Kanäle auf den Bodenwasserhaushalt modelltechnisch herauszustellen war (Anhang II). Vorrangig ging es somit um die Auswirkungen von Infiltrationsprozessen an undichten Kanälen auf den Grundwasserstand. Zum Einsatz kam das FE-Simulationsprogramm FEFLOW (Finite Element Subsurface FLOW & Transport Simulation System).

Ziel war es, in einem ersten Schritt zu überprüfen, ob die Nachbildung von schadhaften Kanalnetzen mit vertretbarem Aufwand generell möglich ist und welche Grenzen bei der Modellierung zu beachten sind. In der Betrachtung sollten Einflüsse aus beispielsweise Bodenart, Grundwasserstand, Leistungsfähigkeit des Grundwasserleiters auf die Infiltrationsraten sowie Schadstellengeometrie herausgestellt werden. Konstruktionselemente wie z.B. Rohrleitungen werden dabei in dem Bodenkörper dargestellt, indem der Rohrmantel als undurchlässige Bodenschicht abgebildet wird. Im Bereich simulierter Schadstellen, über die Wasser infiltrieren kann, wird die Durchlässigkeit durch Variation des  $k_f$ -Wertes erhöht.

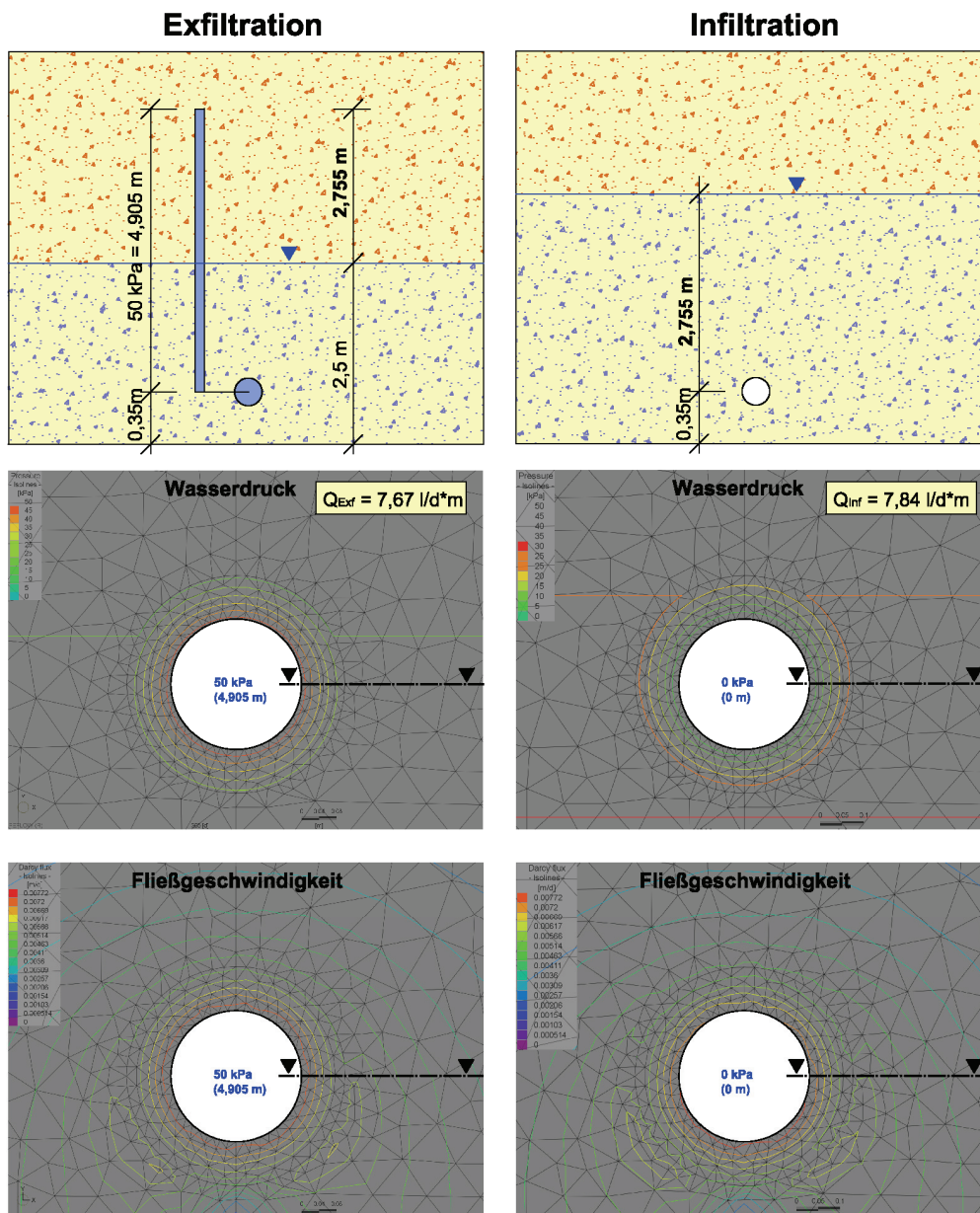
Bereits zu Beginn der Arbeiten zeigte sich, dass eine dreidimensionale Abbildung von Rohrleitungen und Kanalnetzen zwar möglich ist, sich allerdings äußerst aufwändig gestaltet. Die Modelle wurden daher weitergehend abstrahiert und die Eignung der getroffenen Abstraktionen anhand von Sensitivitätsanalysen überprüft. Insbesondere war ein Einfluss der Abstraktion auf die Grundwasserströmung weitgehend auszuschließen. In Abb. 58 sind beispielhaft ein der geometrischen Wirklichkeit entsprechendes („reelles“) Modell und ein für den vorliegenden Anwendungsfall optimiertes, abstrahiertes Modell dargestellt.



**Abb. 58:** Modellabstraktion eines Kanalabschnittes in FEFLOW (Beispiel aus Anhang II)

Es wurden mehrere Modelle bestehend aus Rohrleitungen und teilweise Schächten modelliert, die übliche Schadensbilder wie Längs- und Querrisse sowie undichte Muffen berücksichtigten.

In einem besonderen Untersuchungsschritt wurde modelltechnisch überprüft, inwieweit bei einer Innendruckprüfung mit 0,5 bar anstehendes Grundwasser einen nennenswerten Einfluss auf das Prüfergebn haben kann. Die Modellierung erfolgte unter der Annahme, dass die geprüfte Rohrleitung eine Undichtigkeit besitzt, die innerhalb einer Prüfzeit von 30 Minuten Exfiltrationsraten in der Größenordnung des Schwellenwertes nach DIN EN 1610 [49] in Höhe von 0,15 l/m<sup>2</sup> zulässt. Bei einer Rohrleitung in der Nennweite DN 300 ergibt sich ein Exfiltrationsausfluss von 6,78 l/(d\*m).



**Abb. 59:** Vergleich der Wasserdrücke (oben) und der Fließgeschwindigkeiten (unten) bei Exfiltration und Infiltration mit gleichem Druckpotential (Anhang II)

Im Ergebnis zeigte sich, dass die im Vorfeld vermuteten Einflussfaktoren auf die Infiltrationsrate (Bodenart, Grundwasserstand, Leistungsfähigkeit des Grundwasserleiters sowie Art der Schadstelle) anhand der Modellberechnungen bestätigt werden konnten. Bei allen Modellen hat sich allerdings herausgestellt, dass Leakage-Faktoren für Schadstellen unbedingt erforderlich sind, um die Modelle zu kalibrieren bzw. anzupassen. Damit auch das Verhalten des Grundwassers richtig simuliert werden kann, ist es unbedingt erforderlich, die zu den Leakage-Faktoren gehörenden Randbedingungen zu dokumentieren. Die Randbedingungen besitzen einen sehr großen Einfluss auf die Ausdehnung von Absenktrichtern, die über den Schadstellen entstehen. Dadurch haben diese wiederum einen großen Einfluss auf den Grundwasserstand und die Infiltrationsrate an der Schadstelle. Die genaue Ermittlung der Leakage-Faktoren in Abhängigkeit zur Randbedingung sollte durch weitere Forschungsprojekte untersucht werden.

Darüber hinaus wurde überprüft, ob bei gleichem Druckpotential unter Innen- und Außen- druck die in- bzw. exfiltrierenden Wassermengen voneinander abweichen (Abb. 59). Die Durchlässigkeit des Rohrs wurde auf den Grenzwert der maximal zulässigen Exfiltration eingestellt. Anschließend wurden die Modelle mit den angepassten Leakage-Faktoren als Infiltrationsmodell verwendet, bei denen ebenfalls die Grundwasserstände variiert wurden. Es zeigte sich, dass sich besonders bei höheren Grundwasserständen erkennbar größere Infiltrationen als Exfiltrationen einstellen können.

Die detaillierte Darstellung der Modellrechnungen sowie der Ergebnisse kann dem beigefügten Bericht des Institutes für Wasserwirtschaft und Ressourcenschutz der Universität der Bundeswehr München (Anlage II) entnommen werden.



## 6 Marktübersichten zu Werkstoffwechseln und -übergängen

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde zu allen sechs der in Kapitel 3 dargestellten Produktgruppen für Werkstoffwechsel eine detaillierte Marktrecherche (vgl. Anhang I) durchgeführt. Ein besonderer inhaltlicher Aspekt waren produktbezogene Nachweise und Prüfzeugnisse über die Einsatzfähigkeit bei Außenwasserdruck. Wurden die entsprechenden Nachweise zu einem Produkt geliefert, sind diese in der Marktübersicht unter der Überschrift „*Relevante Prüfzeugnisse und Nachweise*“ aufgeführt. Im Detail finden sich dort Informationen zu der Art der vorgenommenen Prüfung (Norm, Prüfzeit, Prüfdruck), Prüfinstitut, Prüfdatum sowie Angaben zu Probekörpergeometrie und -beschaffenheit. Wurden hingegen bisher keine entsprechenden Prüfungen durchgeführt, ist an dieser Stelle der Vermerk „*nicht vorhanden*“ zu finden. Hat der Hersteller diesbezüglich keine Auskunft erteilt, steht dort ebenfalls „*nicht vorhanden*“. Insgesamt sind die nachfolgend aufgeführten Informationen zu den Produkten in den Marktübersichten aufgeführt:

- **Name des Produktes**,
- **Name des Herstellers und Firmenlogo**,
- **Konstruktionsmerkmale** wie beispielsweise Werkstoff, Besonderheiten hinsichtlich Dichtprinzip und sonstige konstruktive Besonderheiten,
- Eckdaten zur **DIBt-Zulassung** (falls vorhanden) wie Zulassungsnummer, Ablauf der Gültigkeit, Zulassungsgegenstand unter Angabe der einbezogenen Nennweiten und Rohrwerkstoffe,
- **IKT-Warentest-Ergebnis**, sofern in der betreffenden Produktgruppe bereits ein IKT-Warentest durchgeführt wurde und der Hersteller mit dem entsprechenden Produkt teilgenommen hat,
- **Relevante Prüfzeugnisse und Nachweise**, mit denen die Einsatzfähigkeit unter Außenwasserdruck belegt werden kann,
- **Einsatzbereich des Produktes** gemäß Herstellerangaben (Rohrwerkstoffe, Nennweiten, Schadensbilder etc.).

Die Angaben zu den Einsatzbereichen variieren je nach Produktgruppe. So wurden für die Produkte aus dem Bereich Neubau in der Marktübersicht insbesondere Angaben zu Nennweite und Rohrwerkstoff bzw. -material der zu verbindenden Elemente aufgeführt. Für den Sanierungsbereich wurden zusätzlich noch Angaben zu sanierbaren Schadensbildern aufgenommen. Übergreifend für jede Produktgruppe werden in der Marktübersicht zudem Hinweise zu den **Konstruktionsrisiken** aufgeführt sowie besondere Sachverhalte benannt, auf die bei der Abnahme zu achten ist.

In Abb. 60 ist exemplarisch ein Gestaltungsbeispiel aus der Marktübersicht für den Neubau seitlicher Anschlüsse dargestellt. In Anhang I findet sich die vollständige Marktübersicht mit Stand 15.03.2011.

**Funke Kunststoffe GmbH**  
**CONNEX Anschluss mit Kugelgelenk**



**Konstruktionsmerkmale:**

- Werkstoffe: Anschlussformstück aus Polyvinylchlorid (PVC), Elastomerdichtungen aus Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM),
- Aufnahme von Setzungsbewegungen wie Scherlasten und Abwinklungen bis 11° durch integriertes Kugelgelenk,
- erforderliches Montagewerkzeug: Gewinderadschlüssel des Herstellers.

**DIBt-Zulassung:**

- Zulassungsnummer Z-42.1-376 (gültig bis 30. April 2015),
- Anschlussrohre in den Nennweiten DN/OD 160 und DN/OD 200.

**IKT-Warentest „Hausanschlussstutzen“:** Teilnahme 2010 ⇒ Note „GUT“ (1,9)  
 (Modell für Anschlussrohre DN/OD 160, Hauptrohr DN/OD 315 aus PVC-U)

**Relevante Prüfzeugnisse und Nachweise:**

**Water Research Center Plc (März 2003)**

- Nachweis der Wasserdichtheit bei Unterdruck von -0,3 bar unter Verformung des PVC-U-Hauptrohres von 10 % (Probekörper: PVC-Anschluss DN/OD 200, Hauptrohr DN 400 aus Beton mit Kunststoffauskleidung (Fabekun®)),
- Nachweis der Wasserdichtheit bei Unterdruck von -0,5 bar in PVC-U-Hauptrohren unter Scherlast von 25 N/mm am Stutzen (Probekörper: PVC-Anschluss DN/OD 200, Hauptrohr DN 400 aus Beton mit Kunststoffauskleidung (Fabekun®)),
- Nachweis der Wasserdichtheit bei Unterdruck von -0,3 bar in PVC-U-Rohren unter einem Drehmoment bzw. Versatz nach EN 12256 (Probekörper: PVC-Anschluss DN/OD 200, Hauptrohr DN 400 aus Beton mit Kunststoffauskleidung (Fabekun®)),

**Einsatzbereich gemäß Herstellerangaben**

Nennweite		Rohrmaterial	
Hauptrohr	Anschlussrohr	Hauptrohr	Anschlussrohr *
DN/OD 200 bis DN/OD 1500	DN/OD 160 und DN/OD 200	- Polyvinylchlorid hart (PVC-U)	- Polyvinylchlorid hart (PVC-U) - Polypropylen (PP)
DN 250 bis DN 1500		- Glasfaserverstärkter Kunststoff (GfK)	
DN 200 bis 630		- Polypropylen (PP),	
DN 200 bis DN 600		- Asbest- und Faserzement	

\* Anschlussleitungen aus anderen Werkstoffen wie GfK, PP (gewellt, gerippt), Guss oder Steinzeug bei Ergänzung passender Übergangsstücke.

**Abb. 60: Gestaltungsbeispiel aus der Marktübersicht (Neubau seitlicher Anschluss)**

## 7 Konzept für Phase II

Mit Abschluss der Projektphase I stehen den Netzbetreibern allgemeine und produktbezogene Abnahmekriterien zur Bewertung von „Infiltrationsdichtheit“ zur Verfügung (Kapitel 5 bzw. Anhang I). Als Grundlage für die weitergehende, vergleichende Untersuchung von Verbindungssystemen in Phase II des Projektes wurde darüber hinaus ein aussagekräftiges und praxisnahes Prüfprogramm entwickelt, das in diesem Kapitel zusammengefasst wird und im Forschungsantrag für Phase II detailliert dargestellt ist. Übergeordnete Aspekte sind dabei die Vergleichbarkeit der Prüfungen durch die Wahl gleichbleibender Randbedingungen im Versuch sowie die praxisorientierte Abstimmung des gesamten Versuchsprogramms auf die Anforderungen der beteiligten Netzbetreiber.

Als Untersuchungsschwerpunkt sind großtechnische Versuche im Maßstab 1:1 geplant. Mit den Ergebnissen dieser Tests sollen den Netzbetreibern neutrale und unabhängige Informationen zur Einbauqualität und Betriebsqualität der unterschiedlichen Produkte und Verfahren zur Verfügung gestellt werden, um zuverlässigere Entscheidungen für Investitionen in Fremdwassergebieten treffen zu können.

### 7.1 Abstimmung mit den beteiligten Netzbetreibern

Um die Untersuchungsschwerpunkte der Projektphase II an den Erfordernissen der Praxis auszurichten, wurden die einzelnen Projektschritte in Einzelgesprächen mit zahlreichen Netzbetreibern abgestimmt. Im Rahmen der Ergebnispräsentation am 21.02.2011 wurden die Projektergebnisse schließlich in ihrer Gesamtheit einer Lenkungsgruppe aus 12 Netzbetreibern vorgestellt und ausführlich diskutiert. Dabei zeigte sich insbesondere, dass für einige Produktgruppen hinsichtlich der Eignung für die Fremdwassersanierung noch weitergehender Untersuchungsbedarf besteht.

Weitere Abstimmungen mit den Mitgliedern des „KomNetGEW - Kommunales Netzwerk Grundstücksentwässerung“ bestätigten die besondere Bedeutung für den Themenbereich Grundstücksentwässerung. Im Rahmen eines Workshops zum Thema „Sanierungsberatung“ am 09.02.2011 wurden den Netzwerkmitgliedern die relevanten Projektergebnisse vorgestellt. In einer abschließenden Umfrage unter den Teilnehmern konnten die Produktgruppen, für die seitens der Betreiber die größte Relevanz und die größten Unsicherheiten bestehen, identifiziert werden.

Die Ausführungen und Empfehlungen in den folgenden Abschnitten 7.2 und 7.3 basieren grundlegend auf den Anforderungen, die in den o.a. Abstimmungsprozessen geäußert wurden. Abschnitt 7.3 fasst die entsprechenden Untersuchungsschwerpunkte und Untersuchungsziele der Projektphase II zusammen.

## 7.2 Identifizierter Untersuchungsbedarf

Die Diskussion der vorliegenden Forschungsergebnisse zur Infiltrationsdichtheit von Werkstoffwechseln und Übergängen mit den beteiligten Netzbetreibern zeigt, dass bei insgesamt drei der sechs Produktgruppen aus Kapitel 3 in der Praxis noch erhebliche Unsicherheiten und Investitionsrisiken für die Fremdwassersanierung bestehen. Dies betrifft Produkte und Verfahren

- zur Sanierung seitlicher Anschlüsse,
- zur Sanierung von Schacht- und Sonderbauwerksanschlüssen,
- zum Neubau/zur Erneuerung von Übergängen innerhalb von Haltungen (Rohr zu Rohr).

Dieser Sachverhalt wird durch die Ergebnisse aus den Voruntersuchungen in Kapitel 4 bestätigt.

Die übrigen drei Produktgruppen werden vorläufig nicht weiter betrachtet. So wurde die Qualität seitlicher Anschlüsse für den Neubau im IKT-Warentest „Hausanschluss-Stutzen“ [1] bereits im Jahr 2002 detailliert untersucht und auch in Nachtests der Hersteller weiterverfolgt [70, 71, 72, 73, 74, 75, 76]. Darüber hinaus zeigten sich für diese Produktgruppe keine besonderen Konstruktionsrisiken gegenüber Außenwasserdruck (vgl. Anhang I). Einflüsse, die durch Auftrieb oder Bodenbewegungen entstehen können, werden im Warentest-Prüfprogramm bereits durch die Simulation von Scherlasten und Abwinkelungen berücksichtigt.

Werkstoffwechsel innerhalb von Haltungen beim Einsatz von Reparaturverfahren (vgl. Kapitel 3.3.2) wurden im Jahr 2009 im Rahmen des IKT-Warentests „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ [38] untersucht. Im Einzelnen wurden fünf Reparaturverfahren auf ihre grundsätzliche Einsatzfähigkeit bei der Fremdwassersanierung untersucht, vier erfüllten die Prüfkriterien. Im Übrigen ist die Infiltrationsdichtheit von ausgewählten Reparaturverfahren auch Gegenstand einer entsprechenden Projektergänzung (Vergabenummer 06/181.1).

Für den Anschluss an Schacht- und Sonderbauwerke bei der Neuverlegung wurden die Konstruktionsrisiken als gering eingestuft. Auch die Anwendungshäufigkeit ist nach Auskunft der Netzbetreiber gering.

### 7.2.1 Sanierung seitlicher Anschlüsse - Reparatur von Anschlussstutzen

Im Bereich seitlicher Anschlüsse besteht laut aktueller Umfragen [46] hoher Sanierungsbedarf. Die nachhaltige Sanierung setzt qualitativ gute Verfahren voraus.

Die Ergebnisse des IKT-Warentests aus dem Jahr 2004 [2], bei dem zwölf der damals verfügbaren Verfahren (Injektions- und Hutprofilverfahren) umfassend auf ihre Leistungsfähigkeit hin untersucht wurden, wiesen darauf hin, dass kaum geeignete Reparaturverfahren am Markt verfügbar waren. Insbesondere für das im Rahmen dieses Forschungsberichtes besonders untersuchte Leistungskriterium „Infiltrationsdichtheit“ erzielten die getesteten Reparaturverfahren stark verbesserungswürdige Ergebnisse. In der Zwischenzeit sind sechs Jahre seit der Erstauflage des IKT-Warentests vergangen, so dass die Hersteller der damals untersuchten Reparaturverfahren ausreichend Gelegenheit hatten, ihre Verfahrenstechnik zu optimieren. Darüber hinaus wurden in der Zwischenzeit vollständig neue Verfahrenstechniken entwickelt. Eigene Untersuchungen der Hersteller hinsichtlich einer tatsächlichen Eignung der Verfahren für die Fremdwassersanierung fehlen allerdings.

Durch die Umsetzung des § 61a Landeswassergesetz Nordrhein-Westfalen [77] steht darüber hinaus zu erwarten, dass zahlreiche defekte Stutzen in den nächsten Jahren verstärkt auch instandgesetzt werden. Häufig werden Stutzensanierungen dabei in der Praxis mit Renovierungen der Hauptkanäle beispielsweise durch Schlauchliner ausgeführt. Durch die im Rahmen des Vorhabens beteiligten Netzbetreiber wurde hier ein Schwerpunkt für Untersuchungen im Rahmen eines IKT-Warentests gesehen (s.a. [78]). Dabei sollen auch die in [79] nach Grundwasseranstieg beobachteten Auftriebseffekte an Hausanschlussleitungen durch ergänzende Messungen näher untersucht werden.

### 7.2.2 Sanierung von Schacht- und Sonderbauwerksanschlüssen

Die in Abschnitt 4 dargestellten Voruntersuchungen zur Sanierungsqualität an Schachtanbindungen sowie die Forschungsergebnisse in [4, 80] zeigen, dass weitergehende Untersuchungen zu dieser Thematik notwendig sind. Insbesondere mit Blick auf die Anbindung von Schlauchlinern und anderen Innenauskleidungen scheinen zuverlässige Verfahren speziell für die Fremdwassersanierung bisher nicht verfügbar. Allerdings werden alleine 26 Schlauchlinersysteme mit einer DIBt-Zulassung und noch weitere ohne Zulassung [45] angeboten, so dass mit den verfügbaren Anbindungstechniken eine Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten existieren. Fremdwassereintritte im Bereich derartiger Anbindungen sind nach Einschätzung kommunaler Abwasserbetriebe in der Praxis besonders häufig anzutreffen.

Wie die Produktrecherche sowie Gespräche mit Verfahrensanbietern und Netzbetreibern auch zeigten, wird die Ursache im Versagensfall häufig nicht bei der jeweiligen Anbindungstechnik, sondern vielmehr bei dem eingesetzten Auskleidungsverfahren gesehen. So wird vermutet, dass zu einem späteren Zeitpunkt ablaufende Schrumpfungsprozesse in den Gewebeauskleidungen zu Rissbildungen in den eingesetzten Sanierungsharzen oder -mörteln führen. Wurden unterschiedliche Firmen mit der Auskleidung bzw. Einbindung beauftragt, stellt sich dann die Frage, welche Firma zur Verantwortung zu ziehen ist. Untersuchungen zum zeitlichen Verlauf und den Einflussfaktoren für Schrumpfprozesse der Schlauchlinermaterialien können hier Orientierung geben, um derartige Prozesse zu vermeiden bzw. zu beherrschen.

### 7.2.3 Neubauprodukte für Übergänge innerhalb von Haltungen

Liegt die Zuständigkeitsgrenze zwischen öffentlicher und privater Kanalisation an der Grundstücksgrenze, so ist auch innerhalb der Hausanschlussleitung mit planmäßigen Werkstoffwechseln und Übergängen zu rechnen. Wird für erforderliche Sanierungs- oder Erneuerungsmaßnahmen die offene Bauweise gewählt, werden auch für diese Verbindung wieder besondere Übergangsstücke eingesetzt.

Die Marktübersicht in Anhang I zeigt für diese Produktgruppe eine Vielzahl unterschiedlicher Produkte, deren generelle Qualität und Eignung zur Fremdwassersanierung nur selten nachgewiesen ist. Mit Blick auf die in Abschnitt 3.2.2 aufgezeigten Konstruktionsrisiken, insbesondere in Verbindung mit der Relaxation der Dichtungsmittel, erscheinen Kurz- und Langzeitprüfungen zur Infiltrationsdichtheit der Bauteile auch für Neubauprodukte sinnvoll.

### 7.3 Untersuchungsziele und -schwerpunkte

In der nachfolgenden Tabelle 17 sind Vorschläge für mögliche Untersuchungsziele und -schwerpunkte in einer zweiten Projektphase zusammengestellt. Zugrunde gelegt wurden der Tabelle die in Abschnitt 7.2 als besonders problematisch herausgestellten drei Produktgruppen.

**Tabelle 17: Vorschlag für mögliche Untersuchungszielen und -schwerpunkten für die in Projektphase II noch weitergehend zu untersuchenden 3 Produktgruppen**

Sanierung seitlicher Anschlüsse (Reparatur von Anschlussstutzen)	
Untersuchungsziele	Untersuchungsschwerpunkte
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Vergleichende Untersuchung von Reparaturverfahren für Anschlussstutzen für die lokale Reparatur und den Einsatz im Zuge der Schlauchliniersanierung</li> <li>➤ Mitbetrachtung andere Sanierungsziele wie beispielsweise Funktionsfähigkeit und Beständigkeit gegenüber betrieblichen Belastungen</li> <li>➤ Identifikation der Verfahren, die nachweislich auch für die Fremdwassersanierung geeignet sind</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Großversuche in der IKT-Versuchshalle (unterschiedliche Versuchsstände)</li> <li>➤ Simulation von Grundwasser</li> <li>➤ Standardsanierungen (Wasserstand 1,50 m)</li> <li>➤ Extremsanierungen (Wasserstand bis 5,00 m)</li> <li>➤ Untersuchung der Langzeiteinflüsse (2 Monate)</li> </ul>
Sanierung von Schacht- und Sonderbauwerksanschlüssen	
Untersuchungsziele	Untersuchungsschwerpunkte
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Beschreibung von Qualitätseinflüssen im Zuge der Sanierungspraxis</li> <li>➤ Abnahmekatalog für „Schachtanbindungen sanierter Haltungen“</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ IN-SITU-Untersuchungen</li> <li>➤ Analyse laufender und abgeschlossener Liningmaßnahmen (Schlauchlining, Close-Fit) mit Einsatz verschiedener Anbindungstechniken</li> </ul>
Neubauprodukte für Übergänge innerhalb von Haltungen	
Untersuchungsziele	Untersuchungsschwerpunkte
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Erkenntnisse zu genereller Leistungsfähigkeit und den Einsatzgrenzen der Produktgruppe für die Fremdwassersanierung</li> <li>➤ Ggf. Vorqualifikation für Langzeitversuche im Rahmen einer möglichen Phase III</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kurzzeituntersuchungen auf Infiltrationsdichtheit in Druckkammer</li> <li>➤ Aufbringen zusätzlicher Belastungen wie Verformungen, Scherlasten oder Abwinkelungen</li> </ul>

Der Tabelle kann entnommen werden, dass hinsichtlich der **Sanierung seitlicher Anschlüsse** empfohlen wird, die auf dem Markt verfügbaren Reparaturverfahren für Anschlussstutzen vergleichenden Untersuchungen zu unterziehen. Neben der Infiltrationsdichtheit sollten auch andere Sanierungsziele wie beispielsweise die Funktionsfähigkeit mit in die Betrachtung einbezogen werden. Am Ende werden die nachweislich für die Fremdwassersanierung geeigneten Verfahren identifiziert. Um die vorgenannten Ziele zu erreichen, werden Großversuche unter Simulation von Grundwasser vorgeschlagen. Dabei kann z.B. zwischen sogenannten Standard- und Extremsanierungen je nach Grundwasserstand und Zustand des Hauptkanals unterschieden werden. Kriecheinflüsse von Kunststoffen (Sanierungswerk-

stoffe) werden durch eine Langzeitbelastung mit Auenwasserdruck von zwei Monaten berücksichtigt.

Für die **Sanierung von Schacht- und Sonderbauwerksanschlssen** sollten zunächst Qualittseinflsse im Zuge der Sanierungspraxis aufgenommen und abschließend in einem Abnahmekatalog für Schachtanbindungen sanierter Kanle zusammengefasst werden. Hierfür wird vorgeschlagen, den Untersuchungsschwerpunkt auf IN-SITU-Untersuchungen zu legen. Außerdem sollen laufende und bereits abgeschlossene Liningmanahmen, bei denen die maßgebenden unterschiedlichen Anbindungstechniken eingesetzt werden, einer weitergehenden Auswertung unterzogen werden.

Für **Neubauprodukte innerhalb von Haltungen** können Kurzzeitversuche unter Auenwasserdruck als Vorqualifikation für Langzeitversuche durchgeführt werden. Diese Vorqualifikation kann in Druckkammer vorgenommen werden, in der die bergangsstcke eingebaut und dann mit Auenwasserdruck belastet werden. Dabei werden auch zusätzliche praxisnahe Belastungen wie Scherlasten und Abwinkelungen auf die Verbindungen aufgebracht.



## 8 Fazit

### **Schwachstelle „Übergänge und Werkstoffwechsel“**

Sowohl die Analyse der Konstruktionsrisiken der angebotenen Produkte als auch erste Voruntersuchungen im Rahmen der Labortests bestätigen, dass Übergänge und Werkstoffwechsel ein besonderes Risiko für den Erfolg einer Fremdwassersanierung darstellen. Viele Sanierungsverfahren stellen sehr hohe Anforderungen an die Untergrundvorbereitung, um überhaupt einen Verbund zwischen den beteiligten Werkstoffen herstellen zu können. Die Vorversuche an Schachtanbindungen für Linersanierungen erbrachten nur in wenigen Fällen ein zufriedenstellendes Ergebnis. All dies gewinnt an Bedeutung, wenn die gesamte Dichtwirkung der Sanierungsmaßnahmen nur noch von der Dichtheit dieser Übergänge abhängt. Auch zeigten sich die im Versuchsstand unter Auftrieb beobachteten Neubauprodukte empfindlich gegenüber den resultierenden Bodenbewegungen. Das für Phase II des Projektes vorgeschlagene Prüfprogramm (Kapitel 7) orientiert sich gerade an diesen Schwachstellen.

### **Komplexe Bauteile fordern Verständnis und bautechnische Hinweise**

Die Wirkung eines Bauteils unter Außenwasserdruckbelastung erschließt sich vielfach nur bei genauer Betrachtung der Konstruktionsdetails, so z.B. von Haftverbundwirkungen und Anpressmechanismen. Ein entsprechendes Verständnis des Anwenders scheint Voraussetzung zu sein, um Ausführungsfehler sicher zu vermeiden. Kapitel 3 und die Marktübersicht in Anhang I geben hier detaillierte bautechnische Hinweise für die Herstellung der Verbindungssysteme unter Berücksichtigung der Infiltrationsdichtheit. Diese können dem Anwender als Unterstützung für eine fachgerechte Ausführung, ggf. auch im Rahmen der Vertragsgestaltung, dienen. Risiken die sich aus der Auftriebsempfindlichkeit der Bauteile ergeben, sollen darüber hinaus in Phase II des Projektes erfasst werden.

### **Abnahme „Infiltrationsdichtheit“: Technische Ansatzpunkte mit Klärungsbedarf**

Die heute übliche Bauabnahme durch optische Untersuchungen und Überdruckprüfungen vor Ort sollte durch zusätzliche Maßnahmen und konstruktionsbedingte Abnahmekriterien ergänzt werden. Fehlinterpretationen lassen sich so ausschließen und die Aussagekräftigkeit der Bauabnahme mit Blick auf das Kriterium „Infiltrationsdichtheit“ erhöhen. Hier bieten sich z.B. besondere Eignungsnachweise für Produkte, Anforderungen an die Baustellendokumentation, sowie Infiltrationsprüfungen und Unterdruckprüfungen mit Luft an. Da sich allerdings die Prüfabläufe und -kriterien bisher nicht an dem Lastfall Außenwasserdruck orientieren, besteht hier noch erheblicher Klärungsbedarf, z.B. hinsichtlich geeigneter Modellebenen, Unterdruckstufen, Dokumentationsformen und Abläufe vor Ort (vgl. „Infiltrationsprüfung“).

### **Kritisches Bauteil für die Sanierung: Anschlussstutzen**

Das häufigste Schadensbild mit erheblichen Infiltrationsrisiken ist der schadhafte Anschluss an den Hauptkanal. Entsprechend sind sowohl im Neubau als auch bei der Sanierung besondere Anforderungen an die Ausführung zu stellen. Das betrifft vor allem den Anschluss an mit Linern sanierte Hauptkanäle, da es sich dabei um einen der häufigsten Anwendungsfälle für die Stutzensanierung handelt. Zudem ist hier mit hohen Ausführungsrisiken aufgrund der geometrischen Randbedingungen und unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften zu rechnen. Vergleichsprüfungen dieser Produkte können einen Schwerpunkt für die weiteren Untersuchungen in Phase II darstellen.

## 9 Literatur

- [1] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.; Puhl, R.: Endbericht zum „IKT-Warentest Hausanschlussstutzen“; im Auftrag von 14 Kanalnetzbetreibern; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2001.
- [2] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.: Endbericht zum „IKT-Warentest Reparaturverfahren für Anschlussstutzen“; im Auftrag von 26 Kanalnetzbetreibern; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2004.
- [3] Bosseler, B.; Puhl, R.: Endbericht zur Studie „Beschichtungsverfahren zur Sanierung von Abwasserkanälen“; Studie zu Qualitätseinflüssen und Einsatzgrenzen anhand von Praxis- und Laboruntersuchungen; im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2005.
- [4] Bosseler, B.; Sokoll, O.; Diburg, B.; Beck, S.: Endbericht zum Forschungsvorhaben „Abnahme von Liningmaßnahmen – Materialnachweise und Bewertung der Linerqualität“; im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2009.
- [5] Ergebnistabellen des IKT-Warentests „Reparaturverfahren für Anschlussstutzen – Injektionsverfahren bei Standardschaden“ (Februar 2006); „Reparaturverfahren für Anschlussstutzen – Injektionsverfahren bei Extremschaden“ (November 2004); IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur.
- [6] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN ISO 9001 Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen; Beuth Verlag; Berlin; Dezember 2000.
- [7] Hennerkes, J. A.: „Reduzierung von Fremdwasser bei der Abwasserentsorgung“, Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften; genehmigt von der Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen; Essen 2006.
- [8] Bosseler, B.; Schlüter, M.; Engelberg, M.: Endbericht zum „Pilotprojekt der Stadt Billerbeck, Fremdwassersanierung – Konzept und Umsetzung im Mischsystem“; im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2009.
- [9] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN 1185-2 Dränung; Regelung des Bodenwasser-Haushaltes durch Rohrdränung, Rohrlose Dränung und Unterbodenmelioration, Wesentliche Angaben für Planung und Bemessung; Beuth Verlag, Berlin, Dezember 1973.
- [10] Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI): VDI-Richtlinie 2232 Methodische Auswahl fester Verbindungen - Systematik, Konstruktionskataloge, Arbeitshilfen; Beuth Verlag, Berlin, Januar 2004.

- [11] Moro, J. L.: Baukonstruktion - vom Prinzip zum Detail, Band 3, Umsetzung; Springer-Verlag, Heidelberg, 2009.
- [12] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisationen; 3. Auflage; Ernst & Sohn Verlag, Berlin, November 1998.
- [13] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): Heft 443 Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen unter Verwendung von Kunststoffen; Beuth Verlag, Berlin 1994.
- [14] Becker, A.: Wannan aus Beton; veröffentlicht in der Zeitschrift „Tiefbau“; BG BAU - Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft; März 2009.
- [15] Iványi, G.: Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton; veröffentlicht in der Zeitschrift „Der Prüflingenieur“; Bundesvereinigung der Prüflingenieure für Bautechnik e.V.; Oktober 2004.
- [16] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN 4060 Rohrverbindungen von Abwasserkanälen und -leitungen mit Elastomerdichtungen - Anforderungen und Prüfungen an Rohrverbindungen, die Elastomerdichtungen enthalten; Beuth Verlag, Berlin, Februar 1998.
- [17] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 476 Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Abwasserkanäle und -leitungen für Schwerkraftentwässerungssysteme; Beuth Verlag, Berlin, August 1997.
- [18] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 1401-1 Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen - Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U) - Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem; Beuth Verlag, Berlin, Dezember 1998.
- [19] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 1852-1 Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Polypropylen (PP) – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem; Beuth Verlag, Berlin, Juli 2009.
- [20] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 12666-1 Kunststoff Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen – Polyethylen (PE) – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem; Beuth Verlag, Berlin, März 2006.
- [21] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 295-4 Steinzeugrohrsysteme für Abwasserleitungen und -kanäle - Teil 4: Anforderungen an Übergangs- und Anschlussbauteile und flexible Kupplungen; Beuth Verlag, Berlin, Mai 1995. (Entwurf)
- [22] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 681-1 Elastomer-Dichtungen - Werkstoff-Anforderungen für Rohrleitungs-Dichtungen für Anwendungen in der Wasserversorgung und Entwässerung - Teil 1: Vulkanisierter Gummi; Beuth Verlag, Berlin, November 2006.
- [23] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 295-1 Steinzeugrohrsysteme für Abwasserleitungen und -kanäle - Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und Verbindungen; Beuth Verlag, Berlin, Juni 2010. (Entwurf)

- [24] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 295-3 Steinzeugrohrsysteme für Abwasserleitungen und -kanäle - Teil 3: Prüfverfahren; Beuth Verlag, Berlin, Juni 2010. (Entwurf)
- [25] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 1277 Kunststoff-Rohrleitungssysteme - Erdverlegte Rohrleitungssysteme aus Thermoplasten für drucklose Anwendungen - Prüfverfahren für die Dichtheit von elastomeren Dichtringverbindungen; Beuth Verlag, Berlin, März 2004.
- [26] Baustoffoutlet: Internetauftritt. [www.strato.de](http://www.strato.de); Stand 22. November 2010.
- [27] Steinzeug Abwassersysteme GmbH: Internetauftritt. [www.steinzeug.com](http://www.steinzeug.com); Stand 22. November 2010.
- [28] Funke Kunststoffe GmbH: Produktkatalog; Stand Februar 2010.
- [29] Mücher Dichtungen® GmbH & Co. KG: Produktkatalog; Stand Februar 2011.
- [30] REHAU AG + Co: Internetauftritt. [www.rehau.com](http://www.rehau.com); Stand 22. November 2010.
- [31] DS Dichtungstechnik GmbH: Internetauftritt. [www.dsseals.com](http://www.dsseals.com); Stand 22. November 2010.
- [32] FRIATEC Aktiengesellschaft: Internetauftritt. [www.friatec.de](http://www.friatec.de); Stand 22. November 2010.
- [33] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.; Homey, C.: Endbericht zum Forschungsvorhaben „Anschlusskanäle und Grundleitungen; im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2005.
- [34] PSI Products GmbH: Internetauftritt. [www.psi-products.de](http://www.psi-products.de); Stand Februar 2011.
- [35] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 13380 Allgemeine Anforderungen an Bauteile für die Renovierung und Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen außerhalb von Gebäuden; Beuth Verlag, Berlin, Oktober 2001.
- [36] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA): Merkblatt ATV-DVWK-M 143-1 Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 1: Grundlagen; DWA-Regelwerk, Hennef, August 2004.
- [37] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 752 Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden; Beuth Verlag, Berlin, April 2008.
- [38] Bosseler, B.; Harting, K.; Färber, D.: Endbericht zum „IKT-Warentest Reparaturverfahren für Hauptkanäle“; im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW, des Umweltministeriums des Landes Baden-Württemberg und von 26 Kanalnetzbetreibern; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2009.
- [39] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA): Merkblatt ATV-DVWK-M 143, Teil 7 Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Kurzliner und Innenmanschetten; DWA-Regelwerk, Hennef, April 2003.

- [40] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA): Merkblatt DWA-M 143-20 Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 20: Prüfung und Beurteilung von Sanierungsverfahren; Anforderungen, Prüfkriterien und Prüfeempfehlungen – Schlauchliningverfahren und Kurzliner; DWA-Regelwerk, Hennef, November 2005.
- [41] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA): DWA-M-143-16 Teil 16: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Roboterverfahren; DWA-Regelwerk, Hennef, Dezember 2006.
- [42] EuroCeramic GmbH: Internetauftritt. [www.euroceramic.de](http://www.euroceramic.de); Stand 20. Oktober 2010.
- [43] Rohrleitungssanierungsverband e.V. (RSV): RSV-Merkblatt 7.2 Hutprofiltechnik zur Einbindung von Anschlussleitungen, Reparatur/Renovierung – Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung; RSV-Merkblattreihe, Lingen (Ems), Februar 2009.
- [44] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 13566-4 Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen), Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauchlining; Beuth Verlag, Berlin, April 2003.
- [45] ZTV – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für die Materialprüfung an Probe­stücken vor Ort härtender Schlauchliner; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2010.
- [46] Berger, C.; Falk, C.: Zustand der Kanalisation in Deutschland, Ergebnisse der DWA-Umfrage 2009; Hennef 2010.
- [47] Bosseler, B.; Liebscher, M.; Gillar, M.: Endbericht zum Forschungsvorhaben „Sanierung von Abwasserschächten – Untersuchung von Materialien und Systemen zur Abdichtung und Beschichtung“; im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2011 (Entwurf, unveröffentlicht).
- [48] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN 18125-1 Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Dichte des Bodens – Teil 1: Laborversuche; Beuth Verlag, Berlin, Juli 2010.
- [49] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 1610 Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen; Beuth Verlag, Berlin, Oktober 1997.
- [50] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA): Arbeitsblatt DWA-A 139 Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen; DWA-Regelwerk, Hennef, Dezember 2009.
- [51] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA): Merkblatt ATV-M 143-6 Teil 6: Dichtheitsprüfungen bestehender erdüberschütteter Abwasserleitungen und -kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck; DWA-Regelwerk, Hennef, Juni 1998.

- [52] Bauberatung Zement: Zement-Merkblatt Betontechnik B 27 Ausblühungen - Entstehung, Vermeidung, Beseitigung; Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V.; Dezember 2003.
- [53] TPH Bausysteme GmbH: Internetauftritt. [www.tph-hamburg.com](http://www.tph-hamburg.com); Stand 22. September 2010
- [54] Bennerscheidt, C.; Schmiedener, H.: Endbericht zum Forschungsvorhaben „Wurzel- einwuchs in Abwasserleitungen und Kanäle“; im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Insti- tut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2004.
- [55] Beck, S.: Endbericht zum Verbundprojekt „Gewährleistungsabnahme Schlauchlining“; im Auftrag von 5 Netzbetreibern; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsen- kirchen 2009 (unveröffentlicht).
- [56] Bürgerliches Gesetzbuch (BGB). In der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Januar 2002 (Neubekanntmachung des BGB v. 18.08.1896 (RGBl., S. 195) in der ab 01.01.2002 geltenden Fassung), in: Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Honorarordnung für Architekten und Ingenieure; 24. Auflage; Beck-Texte im Deut- schen Taschenbuch Verlag, München 2007.
- [57] Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB): Teil A: Allgemeine Bestim- mungen über die Vergabe von Bauleistungen; Teil B: Allgemeinen Vertragsbedingun- gen für die Ausführung von Bauleistungen; Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbe- dingungen für Bauleistungen – in den Fassungen von 2006, in: Vergabe- und Ver- tragsordnung für Bauleistungen – Honorarordnung für Architekten und Ingenieure; 24. Auflage; Beck-Texte im Deutschen Taschenbuch Verlag, München 2007.
- [58] Hankammer, G.; Mentlein, H.: Abnahme von Bauleistungen – Tiefbau, Erkennen und Beurteilen von Planungs- und Ausführungsmängeln; 1. Auflage; Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln 2006.
- [59] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA): Merk- blatt ATV-DVWK-M 143-1 Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Ge- bäuden - Teil 1: Grundlagen; DWA-Regelwerk, Hennef, August 2004.
- [60] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA): Merk- blatt DWA-M 143-3 Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 3: Schlauchliningverfahren (vor Ort härtendes Schlauchlining) für Abwasserleitun- gen und -kanäle; DWA-Regelwerk, Hennef, November 2005.
- [61] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 13508-1 Zustandserfassung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden –Teil 1: Allgemeine Anforderun- gen; Beuth Verlag, Berlin, Februar 2004.
- [62] Kaufmann, O.: Zur Dichtheitsprüfung von Rohren mit Hilfe von Luftüber- und Unter- druck; Dissertation zur Erlangung des Grades Doktor-Ingenieur der Fakultät für Bauin- genieurwesen der Ruhr-Universität Bochum; Bochum 1997.

- [63] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft: Merkblatt Nr. 4.3/6 Prüfung alter und neuer Abwasserkanäle – Teil 2: Prüfverfahren; München, Juli 1999.
- [64] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA): Merkblatt DWA-M 149-2 Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion; DWA-Regelwerk, Hennef; November 2006.
- [65] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 13508-2 Zustandserfassung Von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion; Beuth Verlag, Berlin, September 2003.
- [66] Birkner, T.; Bosseler, B.: Wissen Fremdwasser, Teil 1: Wann messen? IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; erschienen als eNewsletter, Gelsenkirchen, Dezember 2001.
- [67] Birkner, T.: Wissen Fremdwasser, Teil 2: Wo messen? IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; erschienen als eNewsletter, Gelsenkirchen, Januar 2001.
- [68] Birkner, T.: Wissen Fremdwasser, Teil 3: Wie messen? IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; erschienen als eNewsletter, Gelsenkirchen, Februar 2002.
- [69] Birkner, T.: Wissen Fremdwasser, Teil 4: Auswertung und Interpretation der der Messergebnisse; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; erschienen als eNewsletter, Gelsenkirchen, März 2002.
- [70] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.; Puhl, R.: Endbericht zum „IKT-Warentest Hausanschlussstutzen“ – Denso-Anschlussstutzen für PVC; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2001.
- [71] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.: Endbericht zum „IKT-Warentest Hausanschlussstutzen“ – AWADOCK-Anschlussystem; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2002.
- [72] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.: Endbericht zum „IKT-Warentest Hausanschlussstutzen“ – Denso-Anschlussstutzen für Steinzeug; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2003.
- [73] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.: Endbericht zum „IKT-Warentest Hausanschlussstutzen“ – Flexoset-Anschlusselement B; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2003.
- [74] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.; Engelberg, M.: Endbericht zum „IKT-Warentest Hausanschluss-Stutzen“ – Plasson LightFit Anschlussattel; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2005.
- [75] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.: Endbericht zum „IKT-Warentest Hausanschlussstutzen“ – Keramisches Anschlusselement C100 - C150; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2006.

- [76] Bosseler, B.; Färber, D.: Endbericht zum „IKT-Warentest Hausanschlussstutzen“ – CONNEX-Anschluss mit Kugelgelenk; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2010.
- [77] Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen – Landeswassergesetz – LWG; Stand 31. März 2010.
- [78] Bosseler, B.; Schlüter, M.: Endbericht zum Forschungsvorhaben „Qualitätseinflüsse Schlauchliner – Stichproben-Untersuchung an sanierten Abwasserkanälen“; im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2003.
- [79] 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.
- [80] Bosseler, B.; Schlüter, M.; Meyer, P.: Endbericht zum Forschungsvorhaben „Untersuchung der Qualität ausgeführter Kanalsanierungen – am Beispiel der Schlauchverfahren“; im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2001.