

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

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



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 Anlage III der Langfassung)



Prof. Dr.-Ing. Markus Disse  
Institut für Wasserwirtschaft und Ressourcenschutz  
Universität der Bundeswehr München  
Projektbearbeiter: M. Eng. Patrick Keilholz  
(zu Kapitel 4.3 und Anlage II der Langfassung)

## 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 WERKSTOFFWECHSEL IN DER KANALISATION.....</b>                         | <b>4</b>     |
| 2.1 Wirkungsweisen gegenüber Infiltration .....                            | 5            |
| 2.2 Werkstoffwechsel beim Neubau von Kanalhaltungen .....                  | 7            |
| 2.3 Werkstoffwechsel durch den Einsatz von Sanierungsverfahren.....        | 10           |
| <b>3 LABORVERSUCHE ZUR INFILTRATIONSDICHTHEIT .....</b>                    | <b>11</b>    |
| 3.1 Exemplarische Belastung von Neubauprodukten mit Außenwasserdruck ..... | 11           |
| 3.1.1 Versuchsaufbau und -durchführung .....                               | 11           |
| 3.1.2 Ergebnisse.....  | 12           |
| 3.2 Anbindung von Schlauchlinern an Schächte .....                         | 14           |
| 3.2.1 Versuchsaufbau und -durchführung .....                               | 14           |
| 3.2.2 Zusammenfassung der Ergebnisse .....                                 | 16           |
| 3.3 Sanierung von Rohranbindungen an Schachtbauwerke .....                 | 17           |
| 3.3.1 Versuchsaufbau und -durchführung .....                               | 17           |
| 3.3.2 Ergebnisse.....  | 17           |
| <b>4 ABNAHMEKRITERIEN .....</b>  | <b>19</b>    |
| 4.1 Abnahmeprüfungen und -vorgehen .....                                   | 19           |
| 4.2 Schlussfolgerungen für die Abnahme von Werkstoffwechseln .....         | 20           |
| 4.3 Modellrechnungen zum Infiltrationsvermögen undichter Kanäle .....      | 23           |
| <b>5 MARKTÜBERSICHTEN ZU WERKSTOFFWECHSELN UND -ÜBERGÄNGEN.....</b>        | <b>25</b>    |
| <b>6 KONZEPT FÜR PHASE II.....</b>   | <b>27</b>    |
| 6.1 Abstimmung mit den beteiligten Netzbetreibern .....                    | 27           |
| 6.2 Identifizierter Untersuchungsbedarf.....                               | 28           |
| 6.3 Untersuchungsziele und -schwerpunkte.....                              | 29           |
| <b>7 FAZIT.....</b>  | <b>31</b>    |
| <b>8 LITERATUR .....</b>   | <b>32</b>    |

## **ANHÄNGE DER LANGFASSUNG**

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.

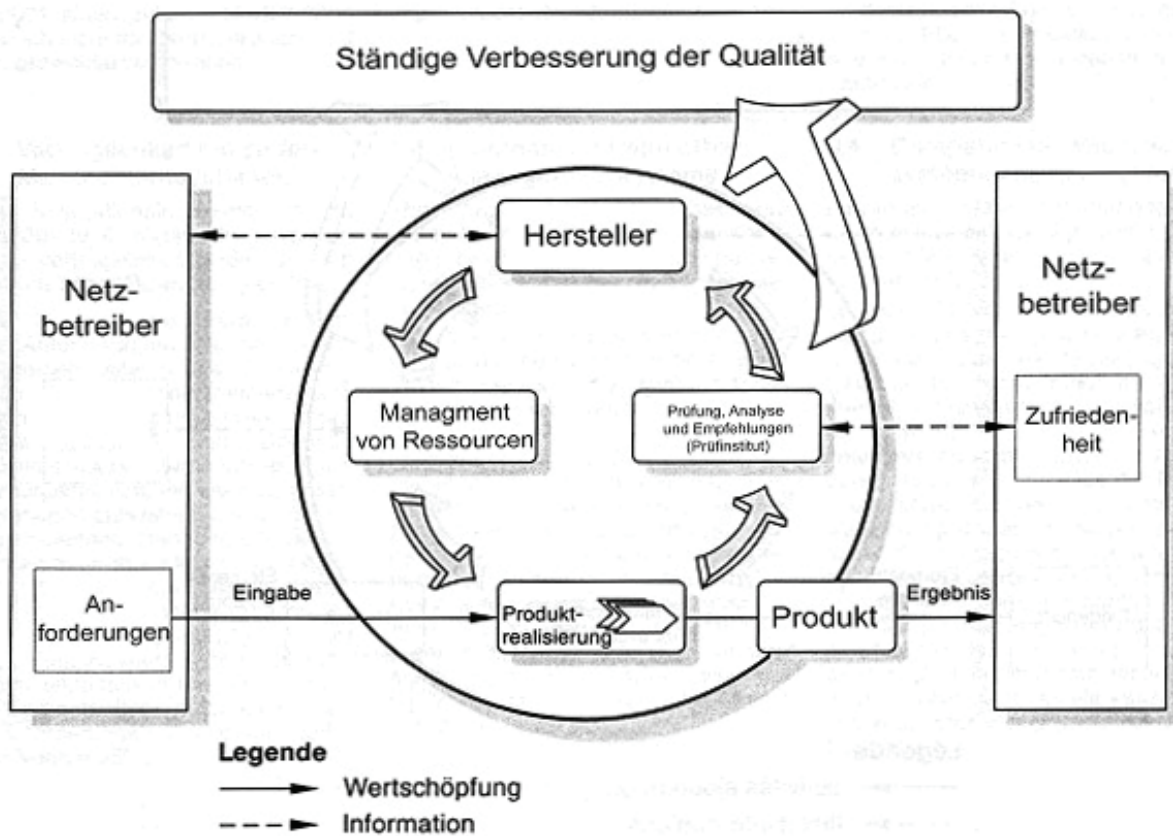
Dieses Gesamtziel wird in einem zweistufigen Vorgehen erreicht. **Ziel der Phase I** dieses Projektes ist es, **Abnahmekriterien für die „Infiltrationsdichtheit“** zu entwickeln und ein **aussagekräftiges und praxisnahes Prüfprogramm** für vergleichende Untersuchungen an Werkstoffwechseln und Übergängen 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 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<br>innerhalb einer Haltung   | Werkstoffwechsel im<br>Bereich von<br>seitlichen Anschlüssen  | Werkstoffwechsel im<br>Bereich von<br>Schacht- und<br>Sonderbauwerksanschlüssen   |
|------------------|---|---|---|
| <b>Neubau</b>    |  <p>Beispiel: Übergang von Rohr zu Rohr (Steinzeug auf Kunststoff)</p> |  <p>Beispiel: Einbindung eines Stutzens 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: Stutzensanierung 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**

Nachfolgend wird zunächst dargestellt, welche Wirkungsweisen gegenüber Infiltration an Werkstoffübergängen vorliegen können (Dichtprinzip). Daraufhin folgen Ausführungen zu den Werkstoffwechseln und Übergängen sowohl beim Neubau als auch bei der Sanierung.

Der Begriff „Haltung“ wird in diesem Zusammenhang zur Vereinfachung der Schreibweise auch für Abwasserleitungen verwendet, so z.B. im Hausanschlussbereich.

## 2.1 Wirkungsweisen gegenüber Infiltration

Die VDI-Richtlinie 2232 [7] 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 [7], [8]):

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.

Bei Werkstoffwechseln und Übergängen wird die kraftschlüssige 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**<sup>1</sup> unter der Verwendung von z.B. Harzen oder Mörteln zwischen den zu verbindenden Elementen erzeugt. Mit Blick auf die Abdichtung durch Kompression kann weiter im Wesentlichen in drei Unterarten unterschieden werden:

1. Kompression durch **Geometrie** der Bauteile,
2. Kompression mit zusätzlicher **Verspannung**,
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.

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

---

<sup>1</sup> Ein adhäsionsschlüssiger Verbund kann gemeinhin auf eine Haftwirkung zwischen den Oberflächen verschiedener Körper oder/und Flüssigkeiten zurückgeführt werden (vgl. Heft 443 DAfStb).

## 2.2 Werkstoffwechsel beim Neubau von Kanalhaltungen

Zur Verbindung von Rohren und/oder Anschlussleitungen aus unterschiedlichen Werkstoffen werden beim Neubau von Kanalhaltungen unterschiedliche Bauteile eingesetzt (Tabelle 1).

**Tabelle 1: Übersicht zu Produktgruppen/Bauteilen beim Neubau**

| Neubau  |
|---|
| <b>Werkstoffwechsel innerhalb von Haltungen</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Anschlussstücke,</li> <li>➤ Außenmanschetten,</li> <li>➤ Dichtringe.</li> </ul>  |
| <b>Werkstoffwechsel im Bereich seitlicher Anschlüsse</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Anschlussysteme mit Kompression des Dichtmaterials in der Bohrlochlaibung,</li> <li>➤ Anschlussysteme mit Kompression des Dichtmaterials an der Rohrrinnen- und/oder -außenwand,</li> <li>➤ Anschlussysteme mit Verbund zum Altrohr,</li> <li>➤ Anschlussysteme mit Queldichtung.</li> </ul> |
| <b>Werkstoffwechsel bei Schacht- und Sonderbauwerksanschlüssen</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Werkseitig in das Schachtbauwerk integrierte Anschlussysteme,</li> <li>➤ Nachträglich auf der Baustelle installierte Anschlussysteme.</li> </ul>   |

Entsprechende technische Anforderungen für die verfügbaren Bauteile werden z.T. bereits im Normen- und Regelwerk definiert. In Tabelle 2 sind die wesentlichen Normen mit Anforderungen für die in der Marktübersicht aufgeführten Bauteile (Anhang I der Langfassung) dargestellt. Im Einzelnen enthält Tabelle 2 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 [9], DIN EN 476 [10]), und Regelwerken, die werkstoffspezifische Anforderungen enthalten (hier: Steinzeug, Polyvinylchlorid (PVC), Polypropylen (PP), Polyethylen (PE)).

In den beiden übergeordneten Normen, der DIN 4060 [9] und der DIN EN 476 [10], 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 [11]), PP (DIN EN 1852-1 [12]) oder PE (DIN EN 12666-1 [13]) gelten, fordern neben Überdruckprüfungen mit Wasser außerdem Unterdruckprüfungen mit Luft. Lediglich die DIN EN 295-4 [14], die für Übergangs- und Anschlussbauteile aus Steinzeug und/oder anderen Werkstoffen sowie flexible Kupplungen, Übergangsbauteile 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 2 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 [15] definiert.

**Tabelle 2: Regelwerke für Bauteile und Formstücke in der Kanalisation (Neubau)**

| Regelwerke mit allgemeinen Anforderungen  |
|---|
| <p><b>DIN 4060 [9]: 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 [10]: 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 [14]: 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 [16] und DIN EN 295-3 [17]).</li> </ul>  |
| <p><b>DIN EN 1401-1 [11]: 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 [18]).</li> </ul>  |
| <p><b>DIN EN 1852-1 [12]: 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 [18]).</li> </ul>   |
| <p><b>DIN EN 12666-1 [13]: 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 [18]).</li> </ul>   |



## 2.3 Werkstoffwechsel durch den Einsatz von Sanierungsverfahren

Beim Großteil der verfügbaren Sanierungstechniken und -verfahren kommen Reaktionsharze oder Mörtel zum Einsatz, die in noch nicht ausgereagtem 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 Verfahrensgruppen existieren derzeit noch keine eigenen Regelwerke des Deutschen Instituts für Normung e.V. oder Produktnormen. Somit kann die DIN EN 13380 [19], 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. [20]), scheinen auch Anforderungen an die Außenwasserdruckdichtheit der Bauteile angemessen.

In Tabelle 3 ist eine Übersicht zu den drei Produktgruppen aus dem Bereich Sanierung inklusive der identifizierten Unterkategorien dargestellt (Details siehe Anhang I der Langfassung).

**Tabelle 3: Übersicht zu den Produktgruppen und Unterkategorien bei der Sanierung**

| Sanierung  |
|--|
| <b>Werkstoffwechsel innerhalb von Haltungen</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kurzliner,</li> <li>➤ Innenmanschetten,</li> <li>➤ Injektionsverfahren,</li> <li>➤ Roboterverfahren (Spachtel- und Verpressverfahren),</li> <li>➤ Reparaturen von Fugen u. Rohrverbindungen mit Abdichtungstoffen von Hand,</li> <li>➤ Reparatur von Hand von Innen,</li> <li>➤ Kleinbaugruben z.B. für den Austausch einzelner Rohre.</li> </ul> |
| <b>Werkstoffwechsel im Bereich seitlicher Anschlüsse</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Reparatur in offener Bauweise,</li> <li>➤ Injektionsverfahren (geschlossene Bauweise),</li> <li>➤ Hutprofilverfahren (geschlossene Bauweise).</li> </ul>  |
| <b>Werkstoffwechsel bei Schacht- und Sonderbauwerksanschlüssen *</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Anschlussanierung mit Injektions- und Spachtelverfahren,</li> <li>➤ Anschlussanierung mit Kurzliner,</li> <li>➤ Anschlussanierung mit Handlaminaten,</li> <li>➤ Systeme für die Anbindung von Schlauchlinern an Schachtbauwerke</li> </ul>  |

\* Für die Sanierung von Anbindungen von Kanälen mit und ohne Innenauskleidung.



### 3 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.

#### 3.1 Exemplarische Belastung von Neubauprodukten mit Außenwasserdruck

##### 3.1.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Beispielhaft wurden zwei Produkte aus der in Kapitel 2.2 näher beschriebenen Produktgruppe für die Verbindung innerhalb von Haltungen im Großversuchsstand im Zuge eines parallelen Projektes (vgl. [21]) 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 4) unterstützen und zum anderen für die Konzeptionierung des Prüfprogramms für Phase II (vgl. Kapitel 6) genutzt werden.

Insgesamt befanden sich 20 Abwasserschächte im Versuchsstand, die auf zwei Rohrebenen jeweils mit den benachbarten Abwasserschächten verbunden waren: DN 150 bei ca. 2,10 m, DN 300 bei ca. 4,70 m über Schachtsohle. Die Kanalhaltungen waren für das Forschungsvorhaben [21] 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.

Es wurden insgesamt 16 Übergangsstücke in den Versuchsstand eingebaut, jeweils acht Manschettendichtungen und acht Kupplungen. 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. Gefällewechsel im Leitungsverlauf waren die Folge.

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.

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 der Langfassung)

Tabelle 4 zeigt fotografische Eindrücke von der Montage der Bauteile im Großversuchsstand des IKT sowie von der anschließenden Füllstandsprüfung.

**Tabelle 4: Montage der Übergangsstücke im Großversuchsstand des IKT**



### 3.1.2 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 Spansschrauben, eine vollständige Abdichtung erzielen. In allen vier Fällen war die Betonoberfläche am Übergangsbereich über die Prüfzeit sichtbar durchfeuchtet. Zu hinterfragen ist, inwieweit die ausgewählten Anschlussstücke für die Verbindung mit Betonrohren bzw. rauen Oberflächen ohne weitere Oberflächenvorbereitung überhaupt geeignet sind.

Nach der Überschüttung der Rohrleitungen und Erzeugen des Außenwasserdruckes (DN 300: ca. 0,47 bar, DN 150: ca. 0,21 bar) konnten im Rohrrinneren 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. 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 Außenwasserdruck 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. Hier bestätigte sich, dass die Bauteile für die Aufnahme von Scherlasten nicht geeignet sind (vgl. Herstellerangaben).

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 beispielhaft 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.

## 3.2 Anbindung von Schlauchlinern an Schächte

### 3.2.1 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 5 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 5: Einbau eines Schlauchliners auf dem Versuchsgelände des IKT**



|   |   |  |
|---|---|--|
|    |      |    |
| <p>Aufbau des Inversions-turms</p>  | <p>Invertieren des Preliners mit Luftdruck</p>  | <p>Imprägnieren des Filzschlauches</p>   |
|   |     |   |
| <p>Walzen des Schlauches</p>  | <p>Invertieren des Schlauches</p>   | <p>Temperatursensor für die Überprüfung der Aushärtetemperatur</p>                   |
|  |    |  |
| <p>Quellband in der Leitung</p>   | <p>Freischneiden des Schachtgerinnes</p>  | <p>Ansicht des geöffneten Schachtgerinnes</p>  |
|  |  |  |
| <p>Füllen des Ringraums zur Überprüfung der Ringspaltdurchlässigkeit</p>            | <p>Wassereintritt durch Ringspalt</p>   |  |

### 3.2.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

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 (gemeint sind die Belastungen für Innendruck (z.B. nach DIN EN 1610 oder DWA-A 139)) waren beide Anbindungen dann undicht. In Tabelle 6 sind exemplarisch die im Rahmen der Voruntersuchungen untersuchten Anbindungstechniken für Schlauchliner an Schachtbauwerke dargestellt.

**Tabelle 6: Übersicht zu den untersuchten Anbindungstechniken für Schlauchliner**

| Anbindung mit Quellband   | Anbindung mit Mörtel  | Anbindung mit Epoxidharz  |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Anbindung mit Quellband und Mörtel  | Anbindung mit Handlaminat   | Anbindung mit Kurzliner   |
|  |  |  |

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.

### 3.3 Sanierung von Rohranbindungen an Schachtbauwerke

#### 3.3.1 Versuchsaufbau und -durchführung

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. Die Sanierungen wurden mittels Injektionsverfahren unter Grundwassereintritt durchgeführt; zum Einsatz kamen dabei unterschiedliche Injektionsmaterialien:

- 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.

#### 3.3.2 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.

Darüber hinaus traten häufig Rissbildungen in der bei der Sanierung aufgetragenen oberen Mörtelschicht (Verdämmung) auf, die sich bevorzugt im Scheitelpunkt befanden (vgl. Abb. 3). Die Lage der Rissbildungen lässt vermuten, dass nach Abschluss der Sanierungsmaßnahmen noch Setzungsprozesse im Bodenkörper stattgefunden haben. An einigen der untersuchten 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 EDVARSEN dauert der Prozess der Selbstheilung etwa 10 bis 50 Tage



[22, 23]. 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 Ausblühung 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. [24]



**Abb. 3:** *Rissbildungen in der oberen Mörtelschicht („Injektionswiderlager“, links); Verfärbungen bzw. Ausblühungen im Sanierungsmaterial infolge von Undichtigkeiten (Mitte und rechts)*

## 4 Abnahmekriterien

### 4.1 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 [25].

Für den Schwerpunkt der „Abnahme von Werkstoffwechseln und Übergängen“ erscheinen die vorgenannten Abnahmeprüfungen auf den ersten Blick theoretisch ebenfalls sinnvoll. Ergänzend nennt die DIN EN 13508 [26] 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.

Beim Einsatz von Sanierungsverfahren kommt auch der Baustellendokumentation des Auftragnehmers eine wichtige Bedeutung zu, denn die Produkte entstehen für gewöhnlich erst vor Ort auf der Baustelle. Insbesondere bei der Sanierung mit Reaktionsharzen oder Mörteln kann die Qualität der Untergrundvorbereitung für den späteren Verbund und somit die Abdichtung gegen In- und Exfiltration von maßgeblicher Bedeutung sein. Nach der Durchführung der Sanierungsmaßnahme können ohne entsprechende Baustellendokumentation keinerlei Rückschlüsse mehr auf die Art und den Umfang der Untergrundvorbereitung getroffen werden.

## 4.2 Schlussfolgerungen für die Abnahme von Werkstoffwechseln

Die heute üblichen Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Bauabnahme von Kanalneubau- und -sanierungsarbeiten, d.h. **optische 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 [27] oder dem DWA-Arbeitsblatt 139 [28] 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 an Fehlstellen akustisch orten, da durch das dort einströmende Medium Geräusche verursacht werden.

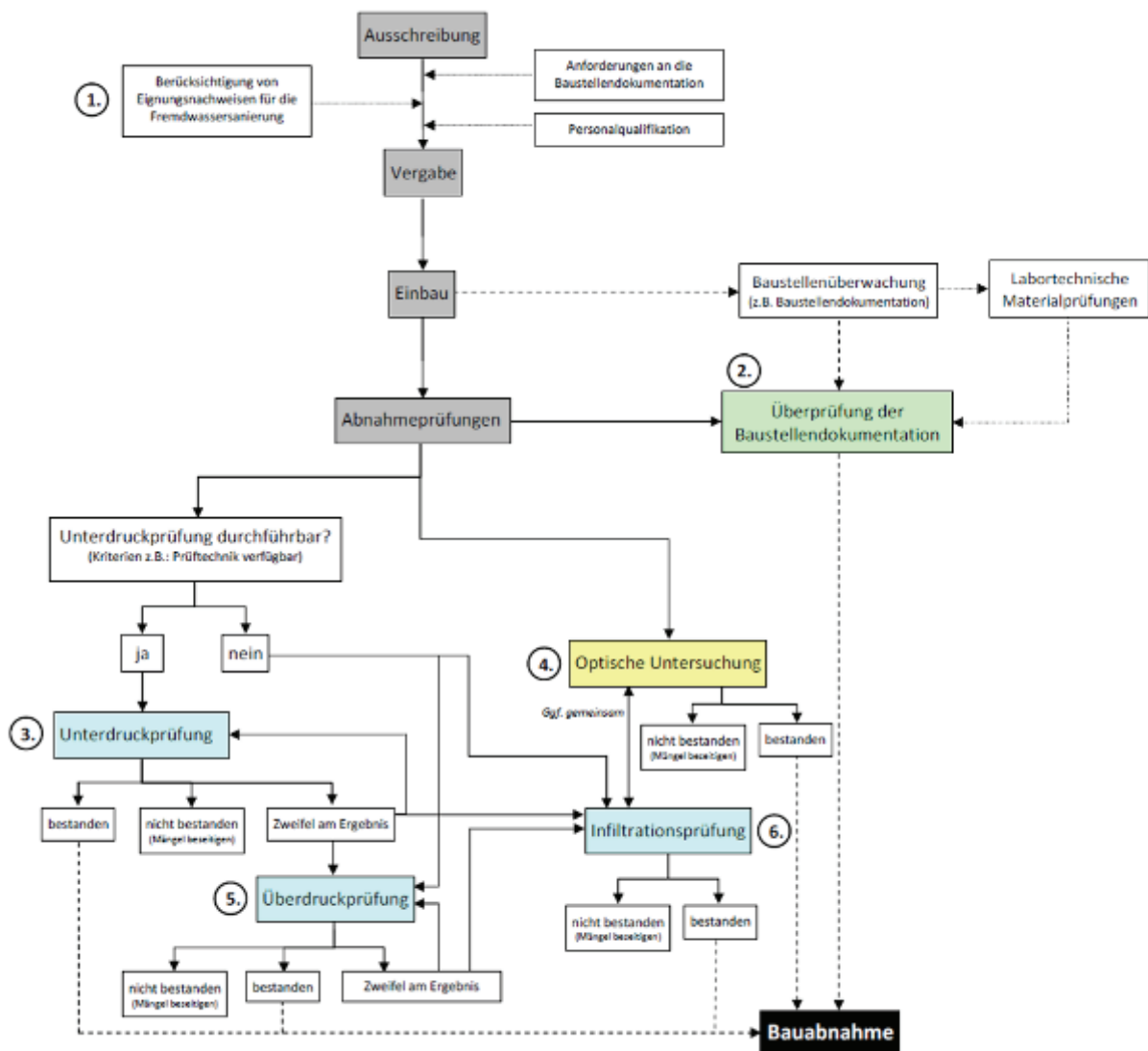
Liegt der Prüfabschnitt während der Unterdruckprüfung im Grundwasser, ist eine regelwerkskonforme Prüfungsdurchführung und -bewertung auf Basis von Druckänderungen nicht mehr möglich. Auch die Zuverlässigkeit der Prüfung kann in Frage gestellt sein, denn das an Undichtigkeiten eindringende Grundwasser 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. [29]).

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. 4 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 6.1, 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. 4: Vorgehensweise: Begleitung und Abnahme der Fremdwassersanierung (schematischer Ablauf)**

Vor Umsetzung der in Abb. 4 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 der Langfassung 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 weiterzuentwickeln, so z.B. durch einen Anforderungs-Bildkatalog für die unterschiedlichen Bauphasen einer Sanierung (z.B. Rohroberflächen nach dem Fräsen).

### 3. Unterdruckprüfungen:

- Für die Abnahme auf Infiltrationsdichtheit sind ggf. höhere Druckstufen als in DIN EN 1610 [27] 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 der Langfassung auf Basis der Konstruktionsprinzipien Abschätzungen hierzu getroffen, es fehlt allerdings noch die **prüftechnische Verifikation**.

### 6. Infiltrationsprüfungen:

- Die Infiltrationsprüfung wird in den geltenden Regelwerken derzeit nur am Rande erfasst. Ausführliche **Handlungsempfehlungen zum Ablauf und zur Umsetzung** fehlen noch. Für die zuverlässige Anwendung von Infiltrationsprüfungen erscheinen weitergehende Informationen zur Vorbereitung, Durchführung und Auswertung notwendig.

### 4.3 Modellrechnungen zum Infiltrationsvermögen undichter Kanäle

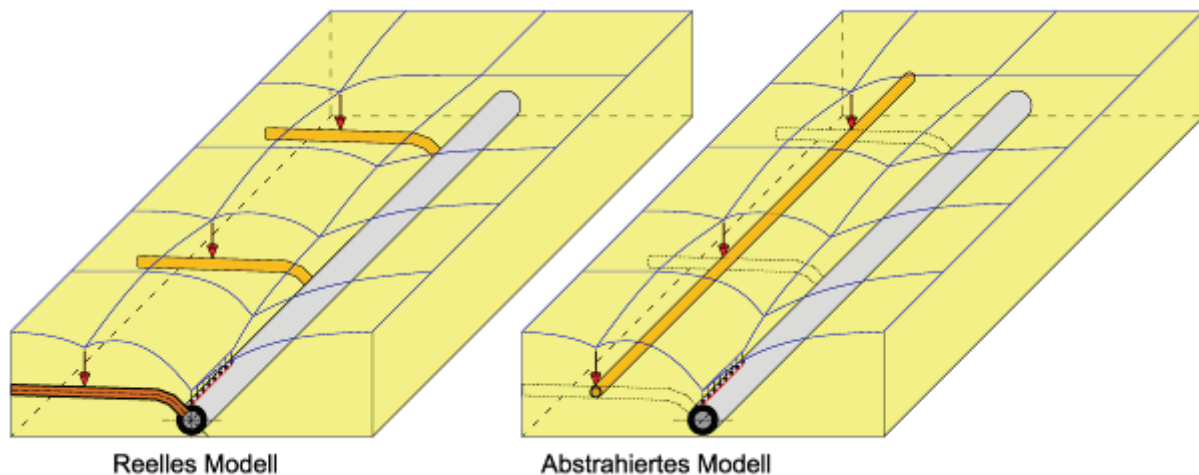
Durch das Institut für Wasserwesen, Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität der Bundeswehr München wurden die in der Literatur verfügbaren Arbeiten zu den Themenschwerpunkten Fremdwasser, Materialauswahl, Exfiltration und Infiltration analysiert. Die Ergebnisse sind vollständig in Anhang III der Langfassung dargestellt. Aus diesen folgt u.a., dass in der Vergangenheit z.B. von HENNERKES bereits umfassende Überlegungen zu geeigneten Modellansätzen für die Nachbildung von Fremdwasserinfiltration in undichte Kanäle durchgeführt wurden.

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 der Langfassung). 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 schadhafte 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. 5 sind beispielhaft ein der geometrischen Wirklichkeit entsprechendes („reelles“) Modell und ein für den vorliegenden Anwendungsfall optimiertes, abstrahiertes Modell dargestellt.

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



**Abb. 5: Modellabstraktion eines Kanalabschnittes in FEFLOW (Beispiel aus Anhang II der Langfassung)**

In einem besonderen Untersuchungsschritt wurde modelltechnisch überprüft, inwieweit bei einer Innendruckprüfung mit 0,5 bar anstehendes Grundwasser einen nennenswerten Einfluss auf das Prüfergebnis 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 [27] in Höhe von  $0,15 \text{ l/m}^2$  zulässt. Bei einer Rohrleitung in der Nennweite DN 300 ergibt sich ein Exfiltrationsausfluss von  $6,78 \text{ l/(d*m)}$ .

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. 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 zur Langfassung) entnommen werden.



## 5 Marktübersichten zu Werkstoffwechseln und -übergängen

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde zu allen sechs der in Kapitel 2 dargestellten Produktgruppen für Werkstoffwechsel eine detaillierte Marktrecherche (vgl. Anhang I der Langfassung) 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. 6 ist exemplarisch ein Gestaltungsbeispiel aus der Marktübersicht für den Neubau seitlicher Anschlüsse dargestellt. In Anhang I der Langfassung findet sich die vollständige Marktübersicht.

**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)<br>- 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. 6: Gestaltungsbeispiel aus der Marktübersicht (Neubau seitlicher Anschluss)**

## 6 Konzept für Phase II

Mit Abschluss der Projektphase I stehen den Netzbetreibern allgemeine und produktbezogene Abnahmekriterien zur Bewertung von „Infiltrationsdichtheit“ zur Verfügung (Kapitel 4 bzw. Anhang I der Langfassung). 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.

### 6.1 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 6.2 und 6.3 basieren grundlegend auf den Anforderungen, die in den o.a. Abstimmungsprozessen geäußert wurden. Abschnitt 6.3 fasst die entsprechenden Untersuchungsschwerpunkte und Untersuchungsziele der Projektphase II zusammen.

## 6.2 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 2 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 3 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 [30, 31, 32, 33, 34, 35, 36]. Darüber hinaus zeigten sich für diese Produktgruppe keine besonderen Konstruktionsrisiken gegenüber Außenwasserdruck (vgl. Anhang I der Langfassung). 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 wurden im Jahr 2009 im Rahmen des IKT-Warentests „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ [37] 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.

### 6.3 Untersuchungsziele und -schwerpunkte

In der nachfolgenden Tabelle 7 sind Vorschläge für mögliche Untersuchungsziele und -schwerpunkte in einer zweiten Projektphase zusammengestellt. Zugrunde gelegt wurden der Tabelle die in Abschnitt 6.2 als besonders problematisch herausgestellten drei Produktgruppen.

**Tabelle 7: Vorschlag für mögliche Untersuchungsziele und -schwerpunkte für die in Projekt-Phase 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 Schlauchlinersanierung</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 Außenwasserdruck von zwei Monaten berücksichtigt.

Für die **Sanierung von Schacht- und Sonderbauwerksanschlüssen** sollten zunächst Qualitätseinflüsse im Zuge der Sanierungspraxis aufgenommen und abschließend in einem Abnahmekatalog für Schachtanbindungen sanierter Kanäle zusammengefasst werden. Hierfür wird vorgeschlagen, den Untersuchungsschwerpunkt auf IN-SITU-Untersuchungen zu legen. Außerdem sollen laufende und bereits abgeschlossene Liningmaßnahmen, bei denen die maßgebenden unterschiedlichen Anbindungstechniken eingesetzt werden, einer weitergehenden Auswertung unterzogen werden.

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

## 7 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 6) 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 2 und die Marktübersicht in Anhang I der Langfassung 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.

### **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.



## 8 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] Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI): VDI-Richtlinie 2232 Methodische Auswahl fester Verbindungen - Systematik, Konstruktionskataloge, Arbeitshilfen; Beuth Verlag, Berlin, Januar 2004.
- [8] Moro, J. L.: Baukonstruktion - vom Prinzip zum Detail, Band 3, Umsetzung; Springer-Verlag, Heidelberg, 2009.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.

- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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)
- [15] 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.
- [16] 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)
- [17] 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)
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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).
- [22] Becker, A.: Wannen aus Beton; veröffentlicht in der Zeitschrift „Tiefbau“; BG BAU - Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft; März 2009.

- [23] Iványi, G.: Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton; veröffentlicht in der Zeitschrift „Der Prüflingenieur“; Bundesvereinigung der Prüflingenieure für Bautechnik e.V.; Oktober 2004.
- [24] Bauberatung Zement: Zement-Merkblatt Betontechnik B 27 Ausblühungen - Entstehung, Vermeidung, Beseitigung; Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V.; Dezember 2003.
- [25] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA): Merkblatt DWA-M 143-3 Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 3: Schlauchliningverfahren (vor Ort härtendes Schlauchlining) für Abwasserleitungen und -kanäle; DWA-Regelwerk, Hennef, November 2005.
- [26] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 13508-1 Zustandserfassung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden –Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Beuth Verlag, Berlin, Februar 2004.
- [27] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): DIN EN 1610 Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen; Beuth Verlag, Berlin, Oktober 1997.
- [28] 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.
- [29] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft: Merkblatt Nr. 4.3/6 Prüfung alter und neuer Abwasserkanäle – Teil 2: Prüfverfahren; München, Juli 1999.
- [30] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.; Puhl, R.: Endbericht zum „IKT-Warentest Hausanschlussstutzen“ – Denso-Anschlussstutzen für PVC; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2001.
- [31] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.: Endbericht zum „IKT-Warentest Hausanschlussstutzen“ – AWADOCK-Anschlussystem; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2002.
- [32] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.: Endbericht zum „IKT-Warentest Hausanschlussstutzen“ – Denso-Anschlussstutzen für Steinzeug; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2003.
- [33] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.: Endbericht zum „IKT-Warentest Hausanschlussstutzen“ – Flexoset-Anschlusselement B; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2003.
- [34] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.; Engelberg, M.: Endbericht zum „IKT-Warentest Hausanschluss-Stutzen“ – Plasson LightFit Anschlussattel; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2005.
- [35] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.: Endbericht zum „IKT-Warentest Hausanschlussstutzen“ – Keramisches Anschlusselement C100 - C150; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2006.

- [36] Bosseler, B.; Färber, D.: Endbericht zum „IKT-Warentest Hausanschlusstutzen“ – CONNEX-Anschluss mit Kugelgelenk; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen 2010.
- [37] 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.