

Kurzbericht

# Beschichtungsverfahren zur Sanierung von Abwasserschächten

- Studie zu Qualitätseinflüssen und Einsatzgrenzen  
anhand von Praxis- und Laboruntersuchungen -



**Bosseler, B.; Puhl, R.  
Gelsenkirchen, Februar 2005**



**Fördernde Stelle**



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

**Bearbeitung**



IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur  
Exterbruch 1  
45886 Gelsenkirchen

**Wissenschaftliche Leitung**

Dr.-Ing. Bert Bosseler

**Projektleitung und Bearbeitung**

Dipl.-Ing. René Puhl

Dipl.-Ing. A. Bogatyrev

Dipl.-Ing. (FH) C. Bera

Dipl.-Ing. (FH) N. Aktas

Dipl.-Ing. (FH) R. Fürst

Wir danken allen projektbeteiligten Netzbetreibern für die weitreichende Unterstützung im Rahmen der zahlreichen Sanierungsmaßnahmen:

Herr Dipl.-Ing. F. Großklags	Tiefbauamt der Stadt Bochum
Herr D. Leufgen	Stadtwerke Essen
Frau Dipl.-Ing. (FH) J. Gellrich	Stadtentwässerung Göttingen
Herr A. Schneider	Stadtentwässerung Düsseldorf
Herr H.W. Turk	Stadt Neuenrade
Herr Dipl.-Ing. (FH) M. Neumann	Gemeinde Möhnesee
Herr U. Paluszak	Stadt Dortmund
Herr Dipl.-Ing. (FH) U. Klein	NVV AG Mönchengladbach
Herr M. Gremmel	Wasserverband Peine
Herr M. Köning / Herr N. Wigger	Stadt Ahaus
Herr Dipl.-Ing. (FH) R. Terwolbeck	Stadt Selm
Herr B. Hagmann	Stadt Velen

Darüber hinaus danken wir Herrn Prof. Dr.-Ing. G. Meschke, Lehrstuhl für Statik und Dynamik der Ruhr-Universität-Bochum, für die numerischen Untersuchungen im Rahmen des Kapitel 4 sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Pfeifer, Baustofflabor der Fachhochschule Bochum, für die Durchführung und Auswertung der Laboruntersuchungen nach Abschnitt 4.3.2.3 der Langfassung (vgl. Abschnitt 2.3).

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Veranlassung, Zielstellung und Vorgehensweise .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>In-situ-Maßnahmen .....</b>	<b>5</b>
2.1	AUSWAHL DER ANWENDUNGSFÄLLE UND DURCHGEFÜHRTES UNTERSUCHUNGS-PROGRAMM .....	5
2.2	QUALITÄTSSICHERUNG: EINFLUSSFAKTOREN UND OPTIMIERUNGSPOTENTIALE .....	21
2.3	IST-ZUSTAND DER SCHÄCHTE VOR SANIERUNG .....	24
2.4	AUSFÜHRUNG DER SANIERUNGSARBEITEN .....	25
2.5	ZUSTAND NACH SANIERUNG UND MATERIALQUALITÄT .....	29
<b>3</b>	<b>Laborversuche .....</b>	<b>41</b>
3.1	AUSWIRKUNGEN VON DYNAMISCHEN BELASTUNGEN AUF SCHACHT-BESCHICHTUNGEN.....	41
3.2	VERBUNDVERHALTEN AUF WASSERGELAGERTEN SCHACHTELEMENTEN AUS BETON .....	44
<b>4</b>	<b>Ergänzende Untersuchungen .....</b>	<b>47</b>
4.1	NUMERISCHE UNTERSUCHUNGEN ZU HAFTZUGSPANNUNGEN .....	47
4.2	REINIGUNG UNTER BEIMISCHUNG VON FESTEM STRAHLGUT .....	50
4.3	EINFLUSS DES AUßENKLIMAS.....	51
4.4	KOMBINIRTER EINSATZ MIT PE-HD-AUSKLEIDUNGSSYSTEMEN .....	52
<b>5</b>	<b>Qualitätseinflüsse und Einsatzgrenzen.....</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>59</b>

## 1 Veranlassung, Zielstellung und Vorgehensweise

Für die Sanierung von schadhafte Abwasserschächten bieten sich insbesondere Beschichtungsverfahren an, die in vielen Fällen eine kostengünstige Alternative zur Erneuerung der Schächte darstellen. Bei der Schachtsanierung mittels Beschichtungsverfahren wird ein spezielles Beschichtungsmaterial auf die Schachtwandung aufgebracht und erhärtet dort zu einer in sich zusammenhängenden Schicht. Beschichtungen können zur Wiederherstellung der Wasserdichtheit, des Widerstandsvermögens gegenüber biogener Schwefelsäurekorrosion und der Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit des Schachtbauwerkes dienen.

Die Gesamtzahl der Schächte in öffentlichen Verkehrsflächen lässt sich für die Bundesrepublik Deutschland mit ca. 10 Mio. bzw. für Nordrhein-Westfalen mit ca. 2 Mio. abschätzen (vgl. [1], [2]). Ein konkreter Handlungsdruck ergibt sich für die Netzbetreiber aus der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) [3]. Diese fordert die vollständige Aufnahme des baulichen und betrieblichen Zustands des Kanalnetzes sowie der mit diesem verbundenen Bauwerke der Ortsentwässerung bis zum 31.12.2005. Werden Undichtigkeiten am Schachtkörper oder ein schadhafter Allgemeinzustand des Schachtes festgestellt, sind gemäß des Runderlasses [4] des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen Abdichtungs- und Instandsetzungsmaßnahmen vorzunehmen.

Eine Umfrage zur Sanierung von Schachtbauwerken im Bereich der Abwassertechnik [5] aus dem Jahr 2001 zeigte, dass sich insgesamt 12 % aller Schächte grundsätzlich für den Einsatz von Beschichtungsverfahren eignen. Mit Blick auf ein damit mögliches Investitionsvolumen von ca. 2,7 Mrd. €uro ist also für die Zukunft noch mit erheblichen Aufwendungen in diesem Bereich zu rechnen. Grundsätzlich bestehen bei den Netzbetreibern allerdings große Unsicherheiten hinsichtlich der Einsatzgrenzen der angebotenen Beschichtungsverfahren und der Dauerhaftigkeit der Sanierungsergebnisse. So zeigten die Umfrageergebnisse in [5] ebenfalls, dass zwar bundesweit bereits 37 % der Netzbetreiber Beschichtungsverfahren für die Schachtsanierung einsetzen, allerdings bei 2/3 dieser Betreiber lediglich Probemaßnahmen mit maximal 15 Schachtsanierungen zur Ausführung kamen.

Offen bleibt derzeit, welche Qualitätseinflüsse für den Einsatz von Beschichtungsverfahren maßgebend sind und wo die Anwendungsgrenzen der einzelnen Verfahren liegen. Nur in wenigen Ausnahmefällen wird der Sanierungserfolg, z.B. durch Materialprüfungen und detaillierte optische Inspektionen, bei den zahlreichen „Versuchsbaustellen“ der Netzbetreiber überprüft. Eine stichhaltige Aussage zu den Einsatzmöglichkeiten und –grenzen von Beschichtungsverfahren ist auf der Basis des bisher vorliegenden Datenmaterials daher nicht möglich.

Vor diesem Hintergrund beauftragte das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen das IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur mit dem hier als Kurzfassung dargestellten Forschungsprojekt „Sanierung

von Schachtbauwerken im Bereich der Abwassertechnik mittels Beschichtungsverfahren“ (Aktenzeichen IV-9-042 105 0020). Die vollständige Darstellung der Ergebnisse findet sich in [6].

**Ziel** des Vorhabens war es, die wesentlichen Qualitätseinflüsse bei der Ausführung von Beschichtungsmaßnahmen zu erkennen, Einsatzmöglichkeiten und –grenzen einzelner Verfahrenskombinationen zu identifizieren und geeignete Methoden zur Qualitätssicherung abzuleiten. Besondere Berücksichtigung fanden dabei die speziellen Randbedingungen bei der Beschichtung von Abwasserschächten, wie z.B. ein i.d.R. hoher Verschmutzungsgrad, ggf. eindringendes Grundwasser und schwierige Arbeitsbedingungen in tiefen bzw. engen Schächten.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde eine stark **praxisorientierte Vorgehensweise** gewählt. Auf Basis einer Marktrecherche und Gesprächen mit Dienstleistern, Netzbetreibern und weiteren Fachleuten wurden am Markt verbreitete bzw. innovative Produkte, Verfahren und Werkzeuge ausgewählt und deren Einsatz bei **42 Beschichtungsmaßnahmen in situ** begleitet und umfangreiche Qualitätsprüfungen durchgeführt. Sämtliche Maßnahmen wurden durch die beteiligten Netzbetreiber beauftragt. An die vor Ort tätigen Fachfirmen wurden seitens der Netzbetreiber übliche Vertragsanforderungen gestellt und lediglich Vorgaben zur Verfahrensauswahl (Material, Verfahrenstechnik) geäußert. Auf Hinweise zur Sanierungsdurchführung wurde bewusst verzichtet, um die üblichen Arbeitsprozesse, die tatsächliche Sanierungsqualität sowie mögliche Fehlerquellen und Verbesserungspotenziale wirklichkeitsgetreu erkennen zu können. Untersucht wurden **Mörtelbeschichtungen** und filmbildende **Beschichtungen aus Polyurethan**, da diese heute vorwiegend bei Sanierungen des Schachtkörpers zum Einsatz kommen. Beschichtungsmaßnahmen auf der Basis von Epoxidharzen wurden aufgrund ihrer geringen Verbreitung und der negativen Erfahrungen im Rahmen des Vorhabens „Demonstrationsobjekt Hamburger Sammlersystem“ [7] nicht betrachtet.

In Laborversuchen wurden die **Auswirkung von Verkehrsbelastungen** auf die Beschichtungsqualität sowie das **Verbundverhalten von Beschichtungen auf wassergesättigten Betonoberflächen** weitergehend untersucht. Dabei wurden Schächte aus Betonfertigteilen mit definierten Schadensbildern in einem Versuchsstand des IKT von Fachfirmen beschichtet, unter einen Außenwasserdruck gesetzt und anschließend dynamisch belastet, um eine erste Einschätzung der Dauerhaftigkeit von Beschichtungen bei einer Belastung des Schachtes durch Schwerlastverkehr zu gewinnen. Im Rahmen der Untersuchungen zum Verbundverhalten auf wassergesättigten Betonoberflächen wurden Schachtelemente aus Beton mehrere Tage unter Wasser gelagert und anschließend von Fachfirmen beschichtet. Nach einer erneuten Wasserlagerung einiger der beschichteten Elemente wurden die Beschichtungen optisch inspiziert und Haftzugprüfungen durchgeführt, um eine erste Einschätzung des Verbundverhaltens von Beschichtungen auf nahezu vollständig mit Wasser gesättigten Schachtelementen aus Beton, wie sie z.B. häufig im Sohlenbereich der Schächte vorzufinden sind, zu gewinnen.

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse der In-situ-Untersuchungen und der Laborversuche ergaben sich weitere Fragestellungen, die im Rahmen **ergänzender Untersuchungen** vertieft

wurden. Dies betraf die Mindesthaftzugfestigkeiten von Mörtelbeschichtungen, alternative Vorbehandlungstechniken, den Einfluss des Außenklimas auf den Aushärteprozess von Mörtelbeschichtungen in Abwasserschächten und die Qualität der Verbindungsbereiche.

Tabelle 1 gibt einen detaillierten Überblick über die Aufgabenstellung und den Umfang der einzelnen Arbeitsschritte.



Tabelle 1: Untersuchungsprogramm

1 In-situ-Maßnahmen	
	<p><b>42 Beschichtungsmaßnahmen</b> (26 Mörtel- und 16 Polyurethanbeschichtungen) <b>in 12 Kommunen</b> wurden begleitet und umfangreiche Qualitätsprüfungen durchgeführt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Vor der <b>Sanierungsausführung</b> wurde der IST-Zustand der zu sanierenden Schächte, u.a. durch eine detaillierte optische Inspektion und Prüfung der Abreißfestigkeit der Schachtwandung, aufgenommen.</li> <li>➤ Der gesamte <b>Sanierungsablauf</b> wurde durch Mitarbeiter des IKT begleitet und dabei u.a. die Baustellenbedingungen, sämtliche Arbeitsschritte, eingesetzte Materialien und technische Hilfsmittel dokumentiert. Zusätzlich wurden <b>Materialproben</b> entnommen und wesentliche Materialkennwerte, wie z.B. Druck- und Zugfestigkeit, bestimmt.</li> <li>➤ 28 Tage sowie 6 (3) Monate <b>nach Abschluss der Sanierungsausführung</b> wurden sämtliche Schachtbeschichtungen vor Ort untersucht und u.a. detaillierte optische Inspektionen, Wasserdichtheitsprüfungen und Haftzugprüfungen an der Beschichtung zur Bewertung des Sanierungserfolges durchgeführt.</li> </ul>
2 Laborversuche	
	<p>Im Rahmen von Untersuchungen zur <b>Auswirkung von dynamischen Belastungen</b> wurden 6 Schächte aus Betonfertigteilen mit definierten Schadensbildern in einem Versuchsstand des IKT von Fachfirmen beschichtet (3x Mörtel, 3x Polyurethan), unter einen Außenwasserdruck gesetzt, und anschließend bis zu 1,5 Millionen Mal mit bis zu 300 KN dynamisch belastet. Nach den einzelnen Belastungsphasen wurden die Beschichtungen optisch auf Mängel untersucht. Jeweils zwei Tage nach Beendigung der Lastaufbringung wurden 9 Haftzugprüfungen an jedem beschichteten Schacht durchgeführt.</p>
	<p>Bei Untersuchungen zum <b>Verbundverhalten von Beschichtungen</b> wurden insgesamt 10 Schachtelemente aus Beton zwanzig Tage unter Wasser gelagert und anschließend von Fachfirmen mit zwei Mörtel- und zwei Polyurethanprodukten beschichtet. Nach einer erneuten Wasserlagerung einiger der beschichteten Elemente wurden die Beschichtungen optisch inspiziert und bis zu 9 Haftzugprüfungen an jeder Beschichtung durchgeführt.</p>
3 Ergänzende Untersuchungen	
	<p>Im Rahmen von zweidimensionalen <b>numerischen Untersuchungen zur Haftzugspannung</b> auf der Basis der Finite Elemente Methode wurden beispielhaft die Beanspruchungen einer Mörtelbeschichtung nach Aufbringung in einem Abwasserschacht untersucht.</p> <p>Bei den Untersuchungen zur <b>Reinigung unter Beimischung von festem Strahlgut</b> wurden Haftzugprüfungen an vier mit einer zementgebundenen Dichtungsschlamm beschichteten und im Vorfeld mit verschiedenen Methoden vorgereinigten Mauerwerksschächten durchgeführt, um weitere Anhaltspunkte zu dem Einfluss der Untergrundvorbereitung zu gewinnen.</p> <p>In vier Schächten wurde die Temperatur und Luftfeuchte während des normalen Betriebs über einen Zeitraum von mehreren Tagen aufgezeichnet und den außerhalb des Schachtes ermittelten Werten gegenübergestellt, um den <b>Einfluss des Außenklimas</b> auf das Klima und letztendlich auf den Aushärtprozess einer Mörtelbeschichtung in einem geschlossenen Abwasserschacht abschätzen zu können.</p> <p>In vier Schächten, bei denen aus Kostengründen auch Mörtelbeschichtungen in <b>Kombination mit Auskleidungssystemem aus PE-HD</b> eingesetzt worden waren, wurden ca. 6 Monate nach Ausführung der Sanierung optische Inspektionen und Wasserdichtheitsprüfungen durchgeführt, um insbesondere die Verbindungsbereiche zu überprüfen.</p>



## 2 In-situ-Maßnahmen

Zur Erfassung möglicher Ansatzpunkte für eine zuverlässigere Ausführung und Qualitätssicherung wurden Beschichtungsmaßnahmen in situ begleitet. Im Vordergrund stand dabei sowohl das Erkennen möglicher Schwachstellen der einzelnen Verfahren als auch die Auswahl und Umsetzung geeigneter Prüfmethode unter In-situ-Bedingungen. Im einzelnen wurden Untersuchungen an 42 Abwasserschächten in den Netzen der Städte bzw. Gemeinden **Ahaus, Bochum, Dortmund, Düsseldorf, Göttingen, Hohenhameln, Neuenrade, Möhnesee, Selm und Velen** durchgeführt. An die vor Ort tätigen Fachfirmen wurden seitens der Netzbetreiber übliche Vertragsanforderungen gestellt und lediglich Vorgaben zur Verfahrensauswahl (Material, Verfahrenstechnik) geäußert. Auf Hinweise zur Sanierungsdurchführung wurde bewusst verzichtet, um die üblichen Arbeitsprozesse, die tatsächliche Sanierungsqualität sowie mögliche Fehlerquellen und Verbesserungspotenziale wirklichkeitsgetreu erkennen zu können.

In allen Fällen wurde der Zustand der Schächte vor der Sanierungsmaßnahme aufgenommen, der Sanierungsablauf dokumentiert und die beschichteten Schächten zahlreichen Qualitätsprüfungen unterzogen. Im Ergebnis konnten Schlussfolgerungen zur Anwendbarkeit einzelner Methoden zur Qualitätssicherung von Beschichtungsmaßnahmen, zu den Schwierigkeiten und Schwachpunkten bei der Sanierungsausführung sowie zur Auswirkung verschiedener Randbedingungen auf die Sanierungsqualität gezogen werden.

### 2.1 Auswahl der Anwendungsfälle und durchgeführtes Untersuchungsprogramm

Im Rahmen der Untersuchung sollte eine möglichst große Bandbreite praxisrelevanter Einflussfaktoren berücksichtigt werden. So handelt es sich bei den Schadensarten „Undichtigkeiten“ und „Korrosion“ sowohl in Mauerwerks- als auch Betonschächten um typische Schadensbilder. Als Beschichtungsmaterialien werden insbesondere Zementmörtel und Polyurethane eingesetzt. Schachtkörper und Schachtabdeckungen unterliegen vielfältigen Belastungen, wie Verkehrslasten. Weitere Einflussfaktoren sind die Oberflächenvorbereitung, Auftragsart der Beschichtung und anstehendes Grundwasser sowie die Tiefenlage des Schachtes (z.B. < 3,0 m bzw. > 3,0 m), die Geometrie des Schachtes (rund bzw. eckig), der Einsatz von Beschichtungswerkstoffen verschiedener Hersteller und der anstehende Baugrund und die Witterung. Die Vielfalt der örtlichen Randbedingungen unterstreicht, dass es sich stets um nur **schwer vergleichbare Einzelbauwerke** handelt. In der Folge stand auch nicht die statistische Auswertung der aufgenommenen Daten im Vordergrund der Betrachtung, sondern das Erkennen grundsätzlicher Einflüsse auf die in der Praxis zu erwartenden Anwendungsfälle, Lösungsmöglichkeiten und Qualitätssicherungsmaßnahmen.

Zunächst wurden mit den beteiligten Netzbetreibern relevante Schachtbauwerke auf der Basis von Datenbankabfragen eingegrenzt. Ca. 150 grundsätzlich geeignete Schächte unterschiedlichster Randbedingungen wurden vor Ort besichtigt und schließlich 42 Schächte für die weiteren Untersuchungen ausgewählt. Grundsätzlich kamen am Markt verbreitete bzw. innovati-

ve Produkte, Verfahren und Werkzeuge zum Einsatz, die im Vorfeld auf Basis einer Marktrecherche und Gesprächen mit Dienstleistern, Netzbetreibern und weiteren Fachleuten ausgewählt worden waren. Es wurden kunststoffvergütete Mörtel und Polyurethane mit verschiedenen Verfahrenstechniken, wie Anspritz- und Anschleuderverfahren, auf die Schachtwand aufgebracht. Zur Reinigung der Schachtwand wurden die in der Praxis zum Einsatz kommende Wasserhochdruckreinigung mit Handlanze sowie mit rotierender Reinigungsdüse, ein Spezialverfahren zur Reinigung von Schachtinnenwänden, eingesetzt. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die im Rahmen der In-situ-Maßnahmen untersuchten Beschichtungs- und Reinigungsverfahren.

Tabelle 2: Bei den In-situ-Maßnahmen untersuchte Beschichtungs- und Reinigungsverfahren

Mörtelbeschichtung	Polyurethanbeschichtung	Reinigungsverfahren
 <p data-bbox="325 1016 517 1039">Auftrag von Hand</p>	 <p data-bbox="724 1016 916 1039">Anspritzverfahren</p>	 <p data-bbox="1107 1346 1394 1397">Wasserhochdruckreinigung mit Handlanze</p>
 <p data-bbox="309 1359 533 1382">Anschleuderverfahren</p>	 <p data-bbox="676 1359 963 1382">Sprüh- Schleuderverfahren</p>	
 <p data-bbox="309 1727 533 1749">Nassspritzverfahren</p>		 <p data-bbox="1091 1715 1410 1767">Wasserhochdruckreinigung mit rotierender Reinigungsdüse</p>

Bemerkenswert war, dass kaum korrodierte Schächte aus Betonfertigteilen durch die Netzbetreiber identifiziert wurden. Selbst nach einem bundesweiten Aufruf über den IKT-eNewsletter, der sich vorrangig an Mitarbeiter öffentlicher Netzbetreiber und Ingenieurbüros (insgesamt ca. 10.000 Adressaten) wendet, gab es keine nennenswerten Rückmeldungen. Alle in die Untersuchung einbezogenen Schächte mit dem Schadensbild „Korrosion“ befanden

sich in ländlichen Gebieten an Endpunkten von Druckentwässerungsleitungen und waren größtenteils mit geruchsdichten Deckeln verschlossen. Keiner der Schächte befand sich in einer Straße mit hoher Verkehrsbelastung.

Für die Untersuchungen wurden zunächst jeweils eine am Markt verbreitete Mörtel- und Polyurethanproduktgruppe ausgewählt. Für die Mörtelbeschichtungen kamen die einkomponentigen kunststoffvergüteten Mörtel der Ergelit-Kombina-Produktgruppe zum Einsatz. Das jeweilige Produkt wurde je nach Anwendungsfall durch den Verfahrensanbieter bestimmt. Zur Bestätigung bzw. Relativierung dieser Ergebnisse wurden auch Ergänzungsmaßnahmen mit Mörteln einer anderen Produktgruppe durchgeführt, den zweikomponentigen, kunststoffvergüteten und mit synthetischen Fasern versetzten Mörteln der Mapei-Sewament-Produktgruppe. Als Polyurethan-Produkt wurde Oldodur WS 56 eingesetzt, das laut Herstellerangaben eine geringe Reaktionsfähigkeit mit Wasser aufweist [8]. Im Rahmen früherer Untersuchungen (vgl. [5]) war bei vielen Polyurethanbeschichtungen in Schächten ein Ablösen der Beschichtungen vom Untergrund bzw. eine Blasenbildung in der Beschichtung im Zusammenhang mit Feuchtigkeit festgestellt worden, so dass an zwei In-situ-Schächten auch ein weiteres Polyurethan-Produkt (Baytec RT) zur Bestätigung bzw. Relativierung der Ergebnisse in die Untersuchung einbezogen werden sollte. Allerdings konnte die einzige vom Produkthersteller empfohlene Fachfirma trotz mehrfacher Aufforderung während des Projektes über einen Zeitraum von ca. drei Monaten keinen Termin für die Ausführung der Beschichtungsmaßnahmen zusagen.

Aus Gesprächen mit verschiedenen Sanierungsfirmen [9], [10], [11] wurde ersichtlich, dass eine Reinigung mit Wasserhochdruckstrahlen unter Verwendung einer rotierenden Reinigungsdüse in der Praxis nicht in Kombination mit einer Mörtelbeschichtung von Hand eingesetzt wird. Hintergrund ist, dass die Vorrichtung zum Ablassen und Hochziehen der Schleudertechnik i.d.R. in die Sanierungsfahrzeuge integriert ist und ebenfalls für die rotierende Reinigungsdüse benutzt wird. Daher ist für die Sanierungsfirmen der Einsatz der rotierenden Reinigungsdüse unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nur in Kombination mit einer Mörtelbeschichtung im Anschleuderverfahren sinnvoll. Unabhängig von der Auftragsart werden bei der Beschichtung mit Polyurethan rotierende Reinigungsdüsen derzeit nicht eingesetzt.

In zwei Fällen wurde für die Ausführung vor Ort eine von der ursprünglichen Planung abweichende Verfahrensart gewählt (Schacht Nr. 31, 32: händischer Auftrag anstatt Anschleuderverfahren). In einem weiteren Fall wurde durch die Sanierungsfirma anstelle des ausgeschriebenen Beschichtungsmörtels ein Vergussmörtel (Pagel VB3P Schnellverguss) in Kombination mit einer Dichtschlämme (Köster NB) eingesetzt.

Abb. 1 und Abb. 2 geben jeweils eine Übersicht über die im Rahmen des Forschungsvorhabens untersuchten Maßnahmen mit Mörtel- und Polyurethan-Schachtbeschichtungen. Die Nummerierung der Schächte wurde nach dem zeitlichen Ablauf der Untersuchungen gewählt. In Tabelle 3 bis Tabelle 9 sind alle untersuchten Schächte ausführlich dargestellt. Tabelle 10 gibt einen Überblick über die im Rahmen der Beschichtungsmaßnahmen beauftragten Fachfirmen.

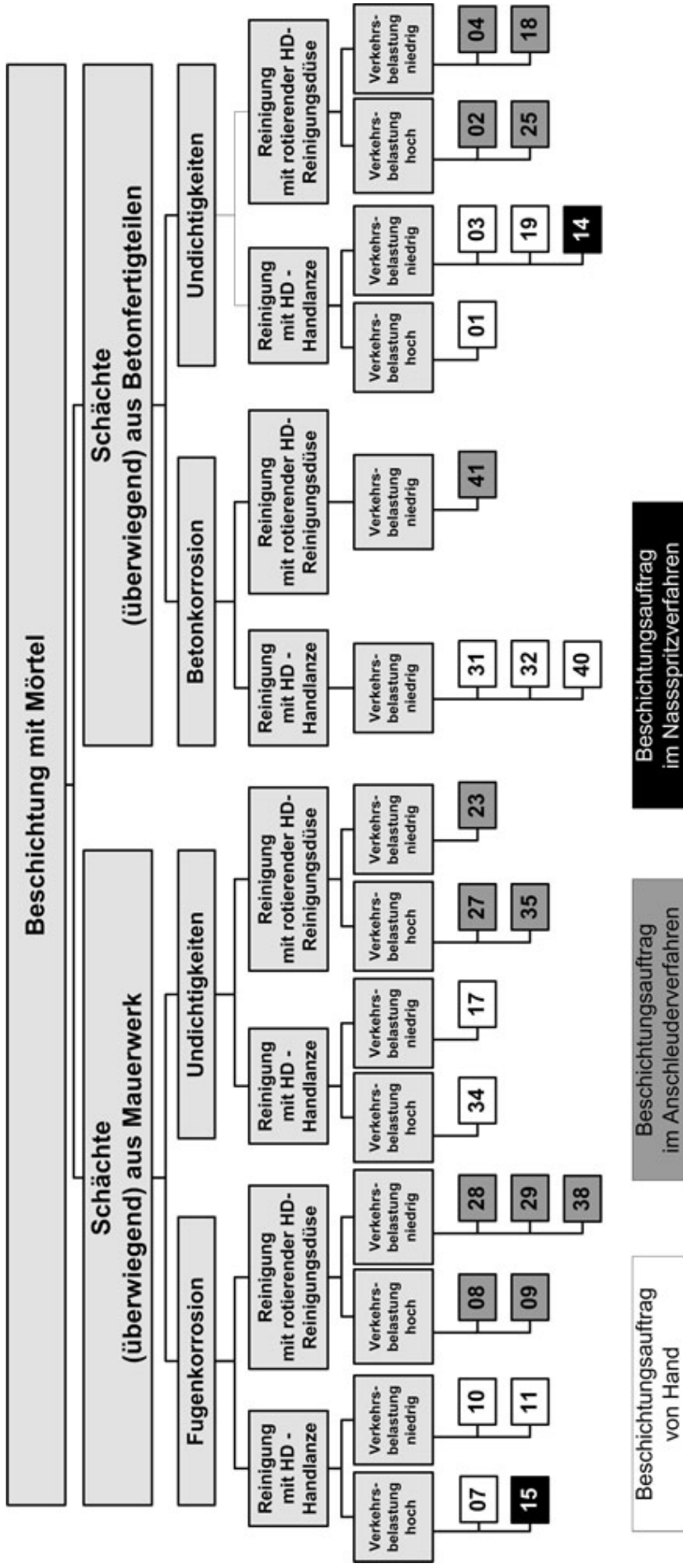


Abb. 1: Übersicht über die im Rahmen des Forschungsvorhabens untersuchten Anwendungsfälle und Randbedingungen, Mörtelbeschichtung (dargestellt sind die Nummern der untersuchten Schächte)



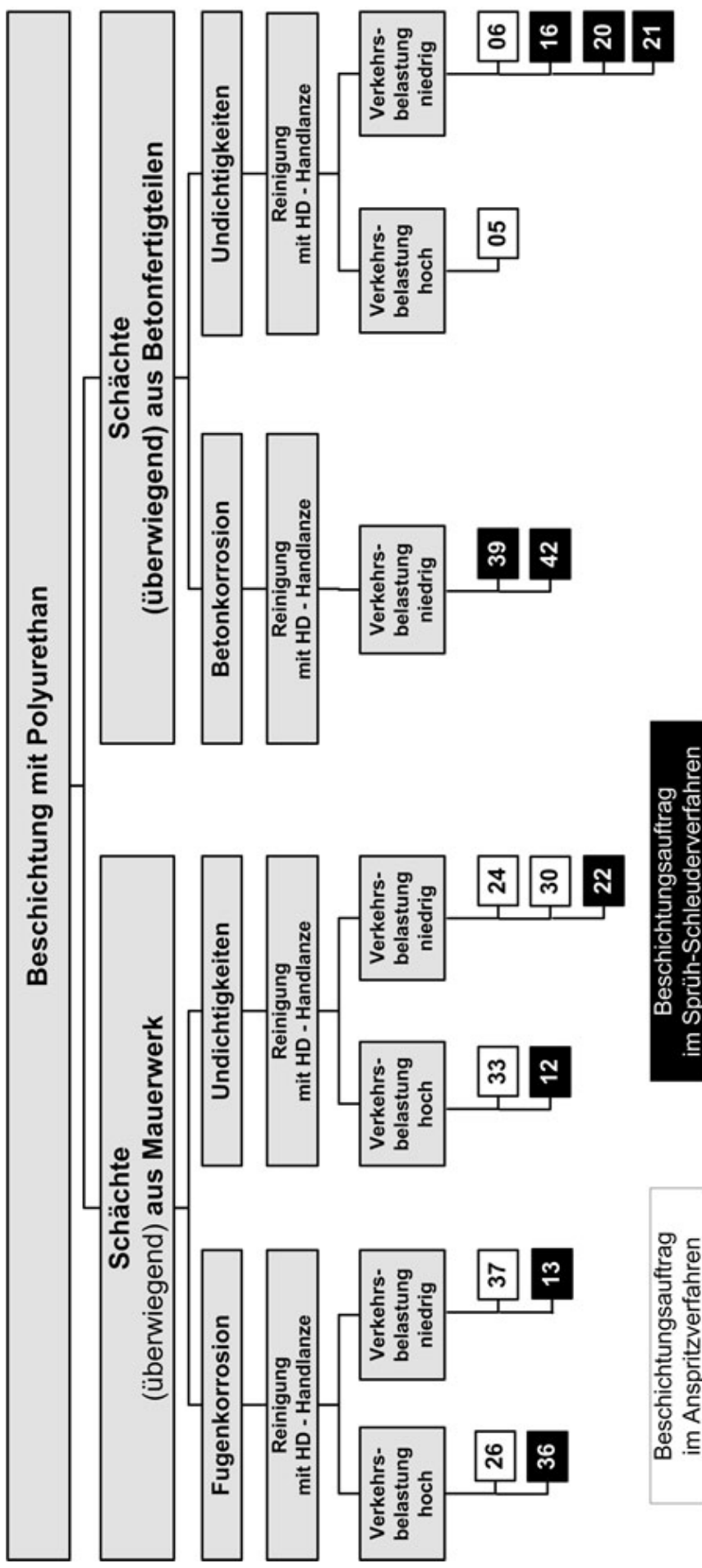


Abb. 2: Übersicht über die im Rahmen des Forschungsvorhabens untersuchten Anwendungsfälle und Randbedingungen, Polyurethanbeschichtung (dargestellt sind die Nummern der untersuchten Schächte)

Tabelle 3: Sanierungsmaßnahmen: Mauerwerksschächte, Fugenkorrosion, hohe Verkehrsbelastung










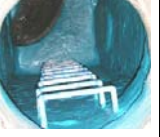


Schächte aus Mauerwerk								
Schadensbild: Fugenkorrosion / Verkehrsbelastung: hoch								
	Nr.	Lage des Schachtes	Schachtansicht vor Sanierung	Schachtansicht nach Sanierung	Geometrie	Netzbedingungen	Zustand vor Beschichtung	Beschichtungswerkstoff
Mörtelbeschichtung	07	in vielbefahrener Straße im Zentrum mit intensivem Busverkehr (Straßen - BK III)			Betonkonus, Tiefe: ca. 4,0 m Ø: 1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Beton Eiprofil 600/400, zusätzlich ein Zulauf Stzg. DN 300	Klinker an der Oberfläche porös, Mauerwerk flächig feucht, Fugen stark korrodiert (bis ca. 3 cm) Störung der Wandung durch Versorgungsleitung	Ergelit Kombina KS 1
	08	in vielbefahrener Straße im Zentrum mit intensivem Busverkehr (Straßen - BK III)			Betonkonus, Tiefe: ca. 3,8 m Ø: 1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. Beton 500, zusätzlich ein Zulauf Stzg. DN 250	Mauerwerk ist stark flächig feucht, Fugen stark korrodiert (bis ca. 3 cm), starke Verschmutzungen und Inkrustierungen	Ergelit Kombina KS 1
	09	in vielbefahrener Straße im Zentrum (Straßen - BK III)			Betonkonus, Tiefe: ca. 3,3 m Ø: 1,0 m	Schmutzwasser, starkes Gefälle der Haltungen, Zu- und Ablauf Stzg. DN 250	Fugen stark korrodiert, einzelne Klinker fehlen, Übergang Betonkonus – Mauerwerk kritisch, Treppenartiger Vorsprung unterhalb des Überganges	Ergelit Kombina KS 1
	15	in vielbefahrener Straße im Zentrum mit intensivem Busverkehr (Straßen - BK III)			Betonkonus, Tiefe: ca. 4,3 m Ø: 1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Beton. DN 400, zusätzlich ein Zulauf PVC DN 150	nachträglich hergestellter Zulauf, Abplatzungen an Klinker, Mauerwerk ist stark flächig feucht, Fugen stark korrodiert (bis ca. 3 cm)	Ergelit Kombina KT
Polyurethanbeschichtung	26	in vielbefahrener Ausfahrtsstraße mit Busverkehr (Straßen - BK III)			Tiefe: ca. 2,7 m, rechteckig, 1,0 x 1,0 m	Schmutzwasser, Beton, Zulauf: DN 300, Ablauf: DN 600	Fugen besonders an den Kanalanbindungen stark ausgewaschen, zugemauerter Zulauf	Oldodur WS 56
	36	im Kreuzungsbereich einer viel befahrenen Straße (Straßen - BK III)			Tiefe: ca. 2,3 m, Ø: 0,85 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 300	Fugen sehr stark korrodiert, an Kanalanbindungen große Hohlstellen, überstehende Bitumenmasse	Oldodur WS 56

Tabelle 4: Sanierungsmaßnahmen: Mauerwerksschächte, Fugenkorrosion, niedrige Verkehrsbelastung












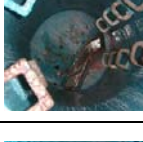


Schächte aus Mauerwerk								
Schadensbild: Fugenkorrosion / Verkehrsbelastung: niedrig								
	Nr.	Lage des Schachtes	Schachtansicht vor Sanierung	Schachtansicht nach Sanierung	Geometrie	Netzbedingungen	Zustand vor Beschichtung	Beschichtungswerkstoff
Mörtelbeschichtung	10	in einer Seitenstraße / Nähe Zentrum, niedriges Verkehrsaufkommen (Straßen - BK V)			Betonkonus, Tiefe: ca. 2,4 m, rechteckig: 0,85 x 0,85 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 200	Fugen sehr stark korrodiert, einzelne Klinker herausgebrochen, Steigeisen stark korrodiert, Sohle sanierungsbedürftig	Ergelit Kombina KT
	11	in der Fußgängerzone der Innenstadt, nur Anlieferverkehr (Straßen - BK IV)			Betonkonus, Tiefe: ca. 4,2 m, Ø: 1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Beton Eiprofil 600/ 900 Zulauf Stzg. DN 200 und Beton DN 400	Betonkonus sehr rauhe Oberfläche, Fugen stark korrodiert, Klinker porös, Wandung stark flächig feucht, Wasser läuft über Oberfläche, zwei alte Mörtel- Ausbesserungstellen	Ergelit Kombina KT
	28	in einem Fußgängerweg			Oberteil aus Beton, Tiefe ca. 4,8 m, Ø: Beton: 1,0 m, Ø: MW: 0,95 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 250, zwei zusätzliche Zuläufe DN 150, Stzg.	Schacht an einigen Stellen extrem undicht, Fugen stark korrodiert, starke Ablagerungen und Mörtelrückstände um und unter den Zuläufen	Mapei Sewament 100
	29	in der Fußgängerzone der Innenstadt, nur Anlieferverkehr (Straßen - BK IV)			Oberteil aus Beton50, Tiefe: ca. 3,2 m, Ø: 1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Eiprofil DN 400 / 600, drei zusätzliche Zuläufe Stzg. DN 150	Mauerwerk stark inkrustiert, teilweise Mörtelverspachtelungen, Fugen stark korrodiert, Anbindungen der Ein- und Abläufe stark ausgewaschen	Mapei Sewament 100
	38	in einer Seitenstraße mit Anliegerverkehr (Straßen - BK V)			Tiefe: ca. 2,6 m, Ø: 1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 300, zwei zusätzliche Zuläufe Stzg. DN 150	Fugen stark korrodiert, Schachtwandung mit Pilzen übersät, Kanalanbindungen rundherum stark ausgewaschen, Bodeneintrag durch fehlenden Klinker	Ergelit Kombina KS 1
Polyurethanbeschichtung	13	auf einem Kirchenvorplatz, keine Verkehrsbelastung			Tiefe: ca. 4,5 m, Ø: 0,9 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 250	Klinker an der Oberfläche sehr porös, nachträglich hergestellter Zulauf	Oldodur WS 56
	37	in einer Seitenstraße mit Anliegerverkehr (Straßen - BK V)			Tiefe: ca. 3,3 m, Ø: 1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 300, zwei zusätzliche Zuläufe Stzg. DN 200	Fugen stark korrodiert, Kanalklinker leicht inkrustiert, Anbindungen der Ein- und Abläufe stark ausgewaschen.	Oldodur WS 56



Tabelle 5: Sanierungsmaßnahmen: Mauerwerksschächte, Undichtigkeiten ohne Korrosion, hohe Verkehrsbelastung











Schächte aus Mauerwerk								
Schadensbild: Undichtigkeiten ohne Korrosion / Verkehrsbelastung: hoch								
	Nr.	Lage des Schachtes	Schachtansicht vor Sanierung	Schachtansicht nach Sanierung	Geometrie	Netzbedingungen	Zustand vor Beschichtung	Beschichtungswerkstoff
Mörtelbeschichtung	27	in vielbefahrener Straße im Zentrum mit intensivem Busverkehr (Straßen - BK III)			Betonkonus, Tiefe: ca. 3,9 m, Ø: 0,95 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Eiprofil DN 400/ 600 Beton	Übergang Betonkonus – Mauerwerk kritisch, Mauerwerksfugen leicht korrodiert	Mapei Sewament 100
	34	in vielbefahrener Hauptverkehrsstraße (Straßen - BK III)			Tiefe: ca. 5,2 m, rechteckig: 1,0 x 1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Mauerwerk Eiprofil 800 / 1200	Mauerwerk speziell im unteren Bereich sehr feucht, Straßenschmutz an der Wandung, vertikaler Riss über Kanalscheitel Ablauf	Ergelit Kombina KS 1
	35	in vielbefahrener Hauptverkehrsstraße (Straßen - BK III)			Tiefe: ca. 5,2 m, rechteckig: 1,0 x 1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Mauerwerk Eiprofil 800 / 1200	Mauerwerk speziell im unteren Bereich sehr feucht, Strassenschmutz an der Wandung, vertikaler Riss über Kanalscheitel Ablauf	Ergelit Kombina KS 1
Polyurethanbeschichtung	12	in vielbefahrener Straße im Zentrum mit intensivem Busverkehr (Straßen - BK III)			Betonkonus, Tiefe: ca. 4,5 m, Ø: 1,0 m	Schmutzwasser, drei Zuläufe Beton DN 400 und 300, Stzg. 250, Ablauf Beton DN400	Mauerwerksfugen leicht korrodiert, Schachtwandung sehr feucht, Sohle ist stark ausgewaschen	Oldodur WS 56
	33	in vielbefahrener Hauptverkehrsstraße (Straßen - BK III)			Tiefe: ca. 5,2 m, rechteckig: 0,88 x 0,88 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Mauerwerk Eiprofil 800 / 1200	Mauerwerk speziell im unteren Bereich sehr feucht, Straßenschmutz an der Wandung, Eckbereiche sind leicht inkrustiert	Oldodur WS 56

Tabelle 6: Sanierungsmaßnahmen: Mauerwerksschächte, Undichtigkeiten ohne Korrosion, niedrige Verkehrsbelastung










Schächte aus Mauerwerk								
Schadensbild: Undichtigkeiten ohne Korrosion / Verkehrsbelastung: niedrig								
	Nr.	Lage des Schachtes	Schachtansicht vor Sanierung	Schachtansicht nach Sanierung	Geometrie	Netzbedingungen	Zustand vor Beschichtung	Beschichtungswerkstoff
Mörtelbeschichtung	17	in der Zufahrt zu einem Campingplatz (Straßen - BK V)			Betonkonus Tiefe ca. 2,50 m, Ø: 1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Abläuf Stzg. DN 300, zwei Zuläufe Stzg. DN200	Mauerwerksfugen leicht korrodiert, seitlicher Zulauf schlecht angebunden	Ergelit Kombina KS 1
	23	in der Seitenbankette einer Landstraße			Oberteil aus Beton Tiefe ca. 4,0 m, Ø: 1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 300	Schachtwandung ist stark flächig feucht, ca. 0,5 m über der Berme ist die Schachtwandung mit einem Versatz gemauert worden	Ergelit Kombina KS 1
Polyurethanbeschichtung	22	in der Seitenbankette einer Landstraße			Oberteil aus Beton, Tiefe ca. 4,0 m, Ø: 1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 300	Grundwassereindrang an mehreren Stellen der Schachtwandung, leichte Korrosion der Mauerwerksfugen im unteren Bereich des Schachtes	Oldodur WS 56
	24	in der Zufahrt zu einem Wohngebiet (Straßen - BK V)			Oberteil aus Beton Tiefe ca. 4,0 m, Ø: 1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Abläuf Stzg. DN 300, zwei Zuläufe Stzg. DN200	Schachtwandung ist stark flächig feucht, eine alte Mörtel- Ausbesserungstelle (ca. 03 x 0,5 m), oberer Zulauf im Übergang Mauerwerk – Beton, Schacht rechteckig aufgestemmt	Oldodur WS 56
	30	in der Seitenbankette einer Landstraße		Beschichtung wurde durch die Sanierungsfirma entfernt	Betonkonus Tiefe ca. 2,70 m, Rechteck 1,0 x 1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Mauerwerk DN 900	ein runder Betonschachtring wurde auf ein rechteckiges Mauerwerksunterteil gesetzt, sehr feuchtes Mauerwerk, starke Wassereinbrüche im Gerinne	Oldodur WS 56

Tabelle 7: Sanierungsmaßnahmen: Schächte aus Betonfertigteilen, Korrosion, niedrige Verkehrsbelastung













Schächte aus Betonfertigteilen								
Schadensbild: Korrosion/ Verkehrsbelastung: niedrig								
	Nr.	Lage des Schachtes	Schachtansicht vor Sanierung	Schachtansicht nach Sanierung	Geometrie	Netzbedingungen	Zustand vor Beschichtung	Beschichtungswerkstoff
Mörtelbeschichtung	31	in einer Wiese			Tiefe ca. 3,8 m Ø:1,0 m, unterer Teil H=1,2 m Ø:1,5 m	Schmutzwasser, hinter einer Druckleitung im Klärwerkszulauf gelegen, Zu- und Ablauf Stzg. DN 600, ein seitlicher Zulauf Stzg. DN 200	Sehr starke Betonkorrosion, bis zu 4 cm Abtrag der Schachtwandung im unteren Bereich des Schachtes, Oberfläche stark porös, Steigbügel ebenfalls stark korrodiert, Klinker auf der Berme lose	Vorbesch. Ergelit Kombina KT Ergelit Kombina KS2b
	32	in einer Wiese			Tiefe ca. 3,8 m Ø:1,0 m	Schmutzwasser, hinter einer Druckleitung im Klärwerkszulauf gelegen, Zu- und Ablauf Stzg. DN 600	Starke Betonkorrosion, bis zu 2 cm Abtrag der Schachtwandung im unteren Bereich des Schachtes, Oberfläche stark porös, Steigbügel ebenfalls stark korrodiert, Klinker auf der Berme lose	Vorbesch. Ergelit Kombina KT Ergelit Kombina KS2b
	40	in einer Seitenstraße mit Anlieger- und gelegentlichem landwirtschaftlichen Verkehr (Straßen - BK V)			Tiefe ca. 1,8 m Ø:1,0 m	Schmutzwasser, hinter einer Druckleitung gelegen, Zu- und Ablauf Stzg. DN 250	Sehr starke Betonkorrosion, bis zu 7 cm Abtrag der Schachtwandung, Oberfläche stark porös, Mauerwerksfugen ebenfalls stark korrodiert, Steigbügel sehr stark korrodiert, Berme fast nicht mehr vorhanden	PAGEL VB3P mit Dichtschlämme: KÖSTER NB
	41	in einer Seitenstraße mit Anlieger- und gelegentlichem landwirtschaftlichen Verkehr (Straßen - BK V)			Tiefe ca. 1,7 m Ø:1,0 m	Schmutzwasser, hinter einer Druckleitung gelegen, Zu- und Ablauf Stzg. DN 250, ein seitlicher Zulauf DN 200	Sehr starke Betonkorrosion, bis zu 6 cm Abtrag der Schachtwandung, Oberfläche stark porös, Mauerwerksfugen ebenfalls stark korrodiert, Steigbügel sehr stark korrodiert, Berme fast nicht mehr vorhanden	Ergelit Kombina KS2b
Polyurethanbeschichtung	39	in einer Landstraße mit gelegentlichem Schwer- und landwirtschaftlichem Verkehr (Straßen - BK V)			Tiefe ca. 2,5 m Ø:1,0 m	Schmutzwasser, hinter einer Druckleitung gelegen, Zu- und Ablauf Stzg. DN 250/300, ein seitlicher Zulauf DN 150	Sehr starke Betonkorrosion, bis zu 7 cm Abtrag der Schachtwandung, Oberfläche stark porös, Mauerwerksfugen ebenfalls stark korrodiert, Steigbügel stark korrodiert, Klinker auf der Berme lose	Oldodur WS 56
	42	in Bankette neben Fußweg			Tiefe ca. 2,0 m Ø:1,0 m	Schmutzwasser, hinter Druckleitung gelegen, Zu- und Ablauf Stzg. DN 250	Starke Betonkorrosion, bis zu 4 cm Abtrag der Schachtwandung, Oberfläche porös, Steigbügel ebenfalls stark korrodiert	Oldodur WS 56

Tabelle 8: Sanierungsmaßnahmen: Schächte aus Betonfertigteilen, Undichtigkeiten ohne Korrosion, hohe Verkehrsbelastung









Schächte aus Betonfertigteilen								
Schadensbild: Undichtigkeiten ohne Korrosion / Verkehrsbelastung: hoch								
	Nr.	Lage des Schachtes	Schachtansicht vor Sanierung	Schachtansicht nach Sanierung	Geometrie	Netzbedingungen	Zustand vor Beschichtung	Beschichtungswerkstoff
Mörtelbeschichtung	01	im Kreuzungsbereich von zwei mittelstark befahrenen Straßen (Straßen - BK IV)			Tiefe ca. 2,7 m, untere 0,3 m aus Mauerwerk. Ø:1,0 m	Schmutzwasser, zwei Zuläufe und ein Ablauf Stzg. DN 200	Undichte Ringfugen, Berme fast komplett zerstört, die Fugen des Mauerwerks sind korrodiert	Ergelit Kombina KS1
	02	im Kreuzungsbereich von zwei mittelstark befahrenen Straßen (Straßen - BK IV)			Tiefe ca. 2,2 m, Ø:1,0 m	Schmutzwasser, zwei Zuläufe und ein Ablauf Stzg. DN 200	Undichte Ringfugen, Nachträglich hergestellter Zulauf im mittleren Schachtring, mit Mörtel verspachtelt	Ergelit Kombina KS1
	25	im Kreuzungsbereich von zwei mittelstark befahrenen Straßen (Straßen - BK IV)			Oberteil aus Beton Tiefe ca. 2,8 m, untere 1,0 m aus Mauerwerk Ø:1,0 m	Schmutzwasser, zwei Zuläufe und ein Ablauf Beton DN 300 zwei seitliche Zuläufe Beton DN500 und Stzg. DN150	Schachtteil aus Beton in gutem Zustand, Mauerwerksfugen sind korrodiert, Zuläufe sind undicht	Mapei Sewament 100
Polyurethanbeschichtung	05	in mittelstark befahrener Straße mit Busverkehr (Straßen - BK IV)			Tiefe ca. 6,0 m Ø:1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 200, ein seitlicher Zulauf Stzg. DN150	Nachträglich hergestellter Zulauf, durchgehender Riss in Schachtring, Bitumendichtungen stehen in den Ringfugen über, sehr feuchte Wandungsfläche im unteren Bereich des Schachtes	Oldodur WS 56



Tabelle 9: Sanierungsmaßnahmen: Schächte aus Betonfertigteilen, Undichtigkeiten ohne Korrosion, niedrige Verkehrsbelastung

Schächte aus Betonfertigteilen								
Schadensbild: Undichtigkeiten ohne Korrosion / Verkehrsbelastung: niedrig								
	Nr.	Lage des Schachtes	Schachtansicht vor Sanierung	Schachtansicht nach Sanierung	Geometrie	Netzbedingungen	Zustand vor Beschichtung	Beschichtungswerkstoff
Mörtelbeschichtung	03	in Bankette einer Landstraße			Tiefe ca. 1,6 m Ø:1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf PVC DN 200	Schachtwandung flächig feucht, starker Wassereindrang durch untere Schachtringfuge	Ergelit Kombina KT
	04	im Grünstreifen neben einer Hauptverkehrsstraße			Tiefe ca. 4,6 m, Ø:1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 500, ein seitlicher Zulauf Stzg. DN 200	Nachträglich hergestellter Zulauf im unteren Schachtring, seitlicher Zulauf gerissen, perament zulaufendes Wasser aus angrenzendem Freibad	Ergelit Kombina KS1
	14	im Wendehammer einer Buslinie			Tiefe ca. 3,7 m, Ø:1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 200	Betonoberfläche sehr glattwandig, bei Voruntersuchung trocken	Ergelit Kombina KT
	18	in Bankette einer Landstraße			Tiefe ca. 4,2 m, Ø:1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 300, ein seitlicher Zulauf Stzg. DN100	Leichte Betoninkrustationen, Betonfugen sind undicht, Wandung speziell im unteren Bereich des Schachtes feucht, Auflagering um ca. 20 cm seitlich verschoben	Ergelit Kombina KS1
	19	in Bankette einer Landstraße			Tiefe ca. 4,3 m, Ø:1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 300, ein seitlicher Zulauf Stzg. DN150	Unterster gemauerte Ring undicht, leichte Inkrustation der Betonoberfläche	Ergelit Kombina KS1
Polyurethanbeschichtung	06	in Gehweg neben einer Hauptverkehrsstraße			Tiefe ca. 2,4 m, Ø:1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 250	Ringfugen und Einläufe waren bereits mit Mörtel verspachtelt, Schacht macht relativ guten optischen Eindruck	Oldodur WS 56
	16	in einem Gehweg			Tiefe ca. 3,0 m, Ø:1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 250, ein seitlicher Zulauf Stzg. DN200	aus den Ringfugen ragt viel Bitumen-Dichtmasse in den Schacht, der Auflagering ist gerissen, die Wandungsoberfläche des Konus ist sehr rau	Oldodur WS 56
	20	im Grünstreifen neben einer Landstraße			Tiefe ca. 4,1 m, untere 0,4 m aus Mauerwerk, Ø:1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 300, ein seitlicher Zulauf Stzg. DN100	Betonfugen undicht, ansonsten Schacht in relativ gutem Zustand, das Mauerwerk ist stark durchfeuchtet, die Mauerwerksfugen sind korrodiert	Oldodur WS 56
	21	in einem Gehweg			Tiefe ca. 3,9 m, untere 0,4 m aus Mauerwerk Ø:1,0 m	Schmutzwasser, Zu- und Ablauf Stzg. DN 300, zwei seitliche Zuläufe Stzg. DN200/100	Auflagering gerissen, Betonkörper relativ trocken, nachträglich eingebaute Zulauf undicht, das Mauerwerk ist stark durchfeuchtet	Oldodur WS 56

Tabelle 10: Im Rahmen der Beschichtungsmaßnahmen beauftragte Fachfirmen

Firma	Eingesetzte Beschichtungswerkstoffe	Eingesetzte Verfahrenstechniken	Haupttätigkeitsbereiche der Firma*
Rainer Kiel Kanalsanierung GmbH, Blomberg	kunststoffvergütete, einkomponentige Mörtel (Ergelit Kombina KT, KS 2B)	Beschichtung von Hand Nassspritzverfahren	➤ Rohrsanierungen aller Art; Sanierung von Schächten (Steigeisentauch, Abdichtungen, Beschichtungen etc..)
Hermes Technologie GmbH & Co. KG Schwerte	kunststoffvergütete, einkomponentige Mörtel (Ergelit Kombina KS 1, KS 2b)	Anschleuderverfahren (KS-ASS)	➤ Entwicklung von Sanierungskonzepten in der Trinkwasserversorgung und Kanalsanierung; Untersuchung der Bausubstanz; Schulungen und Seminare für die Anwendung von zementgebundenen Baustoffen
Fleer-Tech GmbH, Hannover	kunststoffvergütete, einkomponentige Mörtel (Ergelit Kombina KS 1)	Beschichtung von Hand, Anschleuderverfahren (KS-ASS) <sup>1)</sup>	➤ Rohrsanierung mittels Schlauchliner, Kurzliner, Roboterverfahren; Schachtsanierung
KUT Kanal- & Umwelttechnik GmbH, Leuna	kunststoffvergütete, einkomponentige Mörtel (Ergelit Kombina KS 1)	Beschichtung von Hand, Anschleuderverfahren (KS-ASS) <sup>1)</sup>	➤ Ausbesserungsarbeiten (Beschichtung, Auskleidung); Hausanschlussanierung; Injektionen (Hohlraumverfüllung, Rissinjektion, Rohrverbindungen)
KS-Kanalsanierung, Freudenberg	kunststoffvergütete, ein- und zweikomponentige Mörtel (Mapei Sewament 40, 100)	Anschleuderverfahren	➤ Verpressen von Rissen und Muffen; Haus-Lining für private Anschlüsse; Lining mit PE-HD- oder PVC-U-Rohren, GFK Schlauch-Lining; Schachtsanierung durch Beschichtung
Firma Redu Umwelt Service GmbH, Niederlangen	kunststoffvergüteter Vergussmörtel (PAGEL VB3P) + Dichtschlämme KÖSTER NB	Beschichtung von Hand	➤ TV-Inspektion; Sanierung mit Part- und Langlinern; Fräsarbeiten; Schachtbeschichtung mit mineralischem Mörtel
Loos PUR Technik e.K., Neuenrade	Polyurethan (Oldodur WS 56)	Aufspritzverfahren, Sprüh-Schleuderverfahren	➤ Vertrieb von Oldodur WS 56; Herstellung und Vertrieb der Maschinenteknik für Beschichtungen mit Oldodur WS 56; Beschichtungen mit Oldodur WS 56
PUR Technologie Hegemann, Hattingen <sup>2)</sup>	Polyurethan (Oldodur WS 56)	Aufspritzverfahren	➤ Ausbesserung (Beschichtung, Auskleidung); Hausanschlussanierung; Injektion (Hohlraumverfüllung, Rissinjektion, Rohrverbindungen)
Glomsda Oberflächentechnik, Reken	Polyurethan (Oldodur WS 56)	Sprüh-Schleuderverfahren	➤ Kanalreinigung, Reinigung von Fettabscheidern; Stutzsanierung; Schacht- und Kanalsanierung; Fräsarbeiten
Achternbosch Gruppe Reinigung und Beschichtungstechnik, Kaarst	Polyurethan (Oldodur WS 56)	Aufspritzverfahren, Sprüh-Schleuderverfahren	➤ Korrosionsschutz Stahlbau und Stahlbetonbau; Sanierung Kläranlagen und Abwasserbauten
KSX Kanalsanierung Xanten OHG <sup>2)</sup>	Polyurethan (Baytec RT)	Aufspritzverfahren	➤ Instandsetzung und Auskleidung von Schächten und begehbaren Rohrleitungen; Sanierung von Pumpstationen und Regenrückhaltebecken

\* Angaben in Firmeninformationen

1) Ausführung durch Firma Hermes Technologie GmbH & Co. KG

2) Firma führte im Rahmen des Forschungsvorhabens nur Maßnahmen in der IKT-Versuchshalle durch

In Tabelle 11 sind Ziele, Umfang und Ausführung sämtlicher in den einzelnen Untersuchungsschritten durchgeführten Untersuchungen beschrieben.

*Tabelle 11: Übersicht über die im Rahmen der In-situ-Untersuchungen durchgeführten Prüfungen*

Prüfung		Ziel	Umfang / Ausführung
1	<b>Optische Inspektion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Beurteilung der Randbedingungen sowie des Allgemeinzustandes vor Sanierung</li> <li>➤ Aufnahme von kritischen Bereichen vor Sanierung</li> <li>➤ Beurteilung der Sanierungsqualität</li> <li>➤ Bewertung der Auswirkungen verschiedener Vorgehensweisen und Randbedingungen auf die Sanierungsqualität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Optische Untersuchung aller 42 Schächte vor Sanierungsausführung sowie 28 Tage und 6 (3) Monate nach der Sanierung</li> <li>➤ Aufnahme der Umgebungs- und Nutzungsbedingungen</li> <li>➤ Dokumentation mit Fotos</li> <li>➤ Vermessung von Rissbreiten</li> <li>➤ Kontrolle der Beschichtungsoberfläche, z.B. auf Risse, Durchfeuchtungen 28 Tage und 6 (3) Monate nach der Sanierung</li> <li>➤ Überprüfung der im Vorfeld festgestellten kritischen Bereiche sowie der Einbindungsstellen 28 Tage und 6 (3) Monate nach der Sanierung</li> <li>➤ Abklopfen der Beschichtungsoberfläche zur Feststellung von Hohlstellen hinter der Beschichtung 28 Tage und 6 (3) Monate nach der Sanierung</li> </ul>
2	<b>Bestimmung der klimatischen Kennwerte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ermittlung des Taupunktstandes</li> <li>➤ Vergleich der gemessenen Werte mit den Grenzwerten der Hersteller sowie der maßgebenden Richtlinien</li> <li>➤ Überprüfung des Einflusses des Außenklimas auf das Klima in einem geschlossenen Abwasser-schacht</li> <li>➤ Bewertung der Auswirkungen auf die Sanierungsqualität</li> <li>➤ Beurteilung der Genauigkeit und Anwendbarkeit von elektronischen Messgeräten bzw. der Messung mittels CM-Gerät</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Messung der Temperaturen sowie der rel. Luftfeuchtigkeit bei geöffnetem Schachtdeckel im oberen Drittel der Schächte bei allen 42 Schächten (vor und während der Sanierungsausführung) mit „Elcometer 319“</li> <li>➤ Langzeitmessung der Schachtinnenraumtemperatur an zwei Stellen (mitte / oben) über einen Zeitraum von mehreren Tagen an 4 Schächten nach Sanierung mit 4-Kanal Feuchte/Temperaturlogger „Testo 177-H1“</li> <li>➤ Langzeitmessung der rel. Luftfeuchtigkeit im Schacht über einen Zeitraum von mehreren Tagen an 4 Schächten nach Sanierung</li> <li>➤ Elektronische Messung des Feuchtigkeitsgehaltes der Schachtwandung an drei Stellen (oben / mitte / unten) bei allen 42 Schächten vor Sanierungsausführung mit „Elcometer 118“</li> <li>➤ Kontrolle der elekt. Messungen mit einem CM-Gerät an einer Stelle bei allen 42 Schächten vor Sanierungsausführung</li> <li>➤ Vergleichende Prüfung der Messung mittels CM-Gerät bei verschiedenen Arten der Probenentnahme bei einem Schacht vor Sanierungsausführung</li> </ul>
	➤ Lufttemperatur		
	➤ relative Luftfeuchtigkeit		
	➤ Oberflächentemperatur der Schachtwandung		
	➤ Feuchtigkeitsgehalt der Schachtwandung		



Tabelle 11 (Forts.): Übersicht über die im Rahmen der In-situ-Untersuchungen durchgeführten Prüfungen

Prüfung		Ziel	Umfang / Ausführung
3	<b>Bestimmung des Sulfat- und Carbonatgehalts in der Schachtwandung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Feststellung schadensbegünstigender Fremdstoffe in der Schachtwandung (Sulfate / Carbonate)</li> <li>➤ Überprüfung der Auswirkung auf den Beschichtungserfolg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Entnahme und Analyse von Bohrmehlproben als Tiefenprofil über die Schachtwandtiefe (1,5 cm / 3,0 cm / 4,5 cm) an drei Stellen (oben / mitte / unten) bei allen 42 Schächten vor Sanierungsausführung</li> </ul>
4	<b>Bestimmung der Haftzugfestigkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Vergleich der ermittelten Werte mit den Anforderungen der Hersteller sowie der maßgebenden Richtlinien</li> <li>➤ Beurteilung des Erfolgs der ausgeführten Sanierung</li> <li>➤ Beurteilung der Auswirkungen der Untergrundvorbereitung, Sanierungsausführung, Nachbehandlung sowie der sonstigen Randbedingungen auf die Haftzugfestigkeit</li> <li>➤ Bewertung der Prüfung der Haftzugfestigkeit als Methode zur Feststellung der Qualität einer Schachtbeschichtung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Prüfung der Abreißfestigkeit der Schachtwandung an drei Stellen (oben / mitte / unten) bei allen 42 Schächten in Anlehnung an ZTV-SIB 90 [12] bzw. DAfStB Instandsetzungs-Richtlinie [13]</li> <li>➤ Prüfung der Haftzugfestigkeit der Beschichtungen an drei Stellen (oben / mitte / unten) bei allen 42 sanierten Schächten in Anlehnung an ZTV-SIB 90 [12] bzw. DAfStB Instandsetzungs-Richtlinie [13]</li> <li>➤ Vergleichende Prüfung der Haftzugfestigkeit mit anderem Prüfaufbau bei 4 Schächten</li> <li>➤ Vergleichende Prüfung der Haftzugfestigkeit von im Labor erstellten Mörtel- und Polyurethanbeschichtungsproben auf 7 Versuchsplatten mit verschiedenen Prüfaufbauten</li> </ul>
5	<b>Dichtheitsprüfung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Überprüfung der Dichtigkeit von schadhafte Beton- und Mauerwerksschächten vor und nach der Sanierung zur Bewertung des Sanierungserfolges</li> <li>➤ Bewertung der Dichtheitsprüfung als Methode zur Feststellung der Qualität einer Schachtbeschichtung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Dichtheitsprüfungen mit Wasser nach ATV-M143, T6 [14] und DIN EN 1610 [15] an 4 Schächten vor Ausführung der Sanierung sowie an sämtlichen 42 Schächten ca. 28 Tage nach Ausführung der Sanierung</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ nach ATV-M 143, Teil 6</li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ nach DIN EN 1610</li> </ul>		
6	<b>Dokumentation der Vorgehensweise</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Vergleich der Vorgehensweisen in der Praxis mit den Angaben in Verfahrens- und Qualitätshandbüchern der ausführenden Firmen und Materialhersteller sowie den maßgeblichen Richtlinien</li> <li>➤ Auswertung der Zeitabläufe</li> <li>➤ Bewertung des Einflusses der Vorgehensweisen auf die Qualität der Sanierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Begleitung der Sanierungsmaßnahmen inkl. aller vor- und nachbereitenden Arbeiten an sämtlichen 42 Schächten</li> <li>➤ Dokumentation des Arbeitsablaufes, der Baustellenbedingungen, des verwendeten Materials und der eingesetzten Geräte</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Untergrundvorbereitung</li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Abdichtung</li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Beschichtung</li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Nachbehandlung</li> </ul>		

*Tabelle 11 (Forts.): Übersicht über die im Rahmen der In-situ-Untersuchungen durchgeführten Prüfungen*

Prüfung		Ziel	Umfang / Ausführung
7	<b>Befragung des ausführenden Personals</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Erfassung der Qualifikation des ausführenden Personals</li> <li>➤ Vergleich der Erfahrungen des ausführenden Personals mit den Vorgaben in den Verfahrens- und Qualitätshandbüchern der ausführenden Firmen und Materialhersteller</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Befragung des ausführenden Personals bei sämtlichen 42 Sanierungsmaßnahmen hinsichtlich Qualifikation, Erfahrungen bei der Beschichtung von Schächten etc.</li> </ul>
8	<b>Prüfung der Frischmörtelkonsistenz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Vergleich der gemessenen Werte mit den Grenzwerten der Hersteller sowie der maßgebenden Richtlinien</li> <li>➤ Bewertung der Abweichung bei mehreren Mischvorgängen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Messung des Ausbreitmaßes des Frischmörtels bei 20 Mörtelbeschichtungsmaßnahmen während der Sanierungsausführung in Anlehnung an DIN 18555 [16]</li> </ul>
9	<b>Entnahme von Werkstoffproben</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Gewinnung von Materialproben unter Baustellenbedingungen zur Prüfung der Materialeigenschaften</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Entnahme von Werkstoffproben während der Sanierungsausführung bei sämtlichen 42 Sanierungsmaßnahmen</li> </ul>
10	<b>Prüfung der Beschichtungsdicken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Bewertung der Gleichmäßigkeit des Materialauftrages</li> <li>➤ Beurteilung des Zusammenhangs zwischen Schichtdicke und Haftzugfestigkeit / Rissbildung etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Entnahme von Kernbohrungen an 5 Stellen der Schachtwandung bei allen 42 Schächten nach Sanierungsausführung</li> <li>➤ Vermessung der Proben und Dokumentation der Beschichtungsdicken</li> </ul>
11	<b>Wasserhochdruckspülversuche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Überprüfung der Betriebstauglichkeit von Polyurethan-Kurzlinern zur Abdichtung der Einbindungsbereiche bei PU-Beschichtungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Durchführung von 30 Reinigungsdurchläufen an den Einbindungsbereichen der angrenzenden Kanalhaltungen bei zwei mittels Polyurethanbeschichtung und PU-Kurzlinern sanierten Schächten in situ in Anlehnung an den Hamburger Spülversuch [17]</li> </ul>

## 2.2 Qualitätssicherung: Einflussfaktoren und Optimierungspotentiale

Die in Richtlinien, Informationsschriften, Sachstandsberichten bzw. Verarbeitungsrichtlinien aufgeführten Methoden zur Qualitätssicherung von Beschichtungsmaßnahmen orientieren sich grundsätzlich an den im Betonbau üblichen Bedingungen des Hoch- und Brückenbaus. Nur in Einzelfällen finden sich ergänzende Ausführungen für den Einsatz in Bauwerken der Ortsentwässerung, z.B. in [19] mit Blick auf zementhaltige, mineralische Mörtel. Vor diesem Hintergrund stellt sich die grundsätzliche Frage, inwieweit mögliche Methoden zur Qualitätssicherung von Beschichtungsmaßnahmen tatsächlich auch auf den vorliegenden Anwendungsfall mit vertretbarem Aufwand und ausreichender Aussagekraft übertragbar sind. Dies betraf vor allem die **Bestimmung der Oberflächenfeuchte**, die **Bestimmung der Abreißfestigkeit des Untergrundes** bzw. der **Haftzugfestigkeit der Beschichtungen** sowie die **Entnahme von Frischmörtelproben** und die Bestätigung des Sanierungserfolgs durch **Wasserdichtheitsprüfungen**. Im Rahmen des Vorhabens wurden beispielhaft einzelne Prüfverfahren untersucht und Optimierungspotentiale aufgezeigt. Die wesentlichen Erkenntnisse sind nachfolgend zusammengefasst:

Bei der **Bestimmung der Oberflächenfeuchte** in den 42 Schächten zeigte sich, dass durch einen angepassten Einsatz der CM-Methode (vgl. [18]) der Feuchtegehalt der Schachtwandung deutlich zuverlässiger zu bestimmen ist als bei Messung mit einem analogen Widerstandsmessgerät. Der höhere Aufwand für die Messwert-Bestimmung scheint insbesondere bei feuchtigkeitsempfindlichen Beschichtungsmaterialien gerechtfertigt.

Bei der **Prüfung der Abreiß- bzw. Haftzugfestigkeit** (vgl. Abb. 3) empfiehlt es sich, die Kernbohrungen vor Ort mittels handgeführtem Bohrgerät durch stets denselben, speziell eingewiesenen Ingenieur bei nachträglicher Sichtkontrolle des Zylinderstumpfes durchzuführen. Der Aushärteprozess des Klebers kann durch die i.d.R. hohe Feuchtigkeit der Schachtwandung negativ beeinträchtigt werden. Daher empfiehlt es sich auch grundsätzlich, den Schacht mindestens einen Tag vor Ausführung der Prüfungen zu reinigen und die Prüffläche vor Beginn der Prüfung zu trocknen. Grundsätzlich ist der Schacht vor zulaufendem Regenwasser zu schützen. Die i.d.R. notwendige Aushärtezeit von ca. 3 h sollte bei der Planung der Untersuchungen berücksichtigt werden.





**A**



**B**



**C**



**D**



**E**



**F**

*Abb. 3: Durchführung von Abreiß- bzw. Haftzugprüfungen. A: Anbohren einer Beton-schachtwand. B: Anbohren einer Beschichtung aus Polyurethan. C: Trocknen der Bohrfläche sowie der unmittelbaren Umgebung. D: Auf eine Beschichtung aus Mörtel geklebter Aluminiumstempel. E: Durchführung einer Abreißprüfung an einer Schachtwand aus Beton. F: Durchführung einer Haftzugprüfung an einer Be-schichtung aus Polyurethan.*

Zur praxisnahen **Entnahme von Frischmörtelproben** zur Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeiten bietet sich der Einsatz von Einweg-Styroporschalungen an. Vergleichsprüfungen mit verschiedenen Schalungstypen bestätigten die gute Übereinstimmung der Prüfergebnisse mit denen von Laborproben. Bei der Probennahme zur Bestimmung der Wassereindringtiefe konnten mit speziellen Hilfskonstruktionen die Besonderheiten der verschiedenen Auftragsarten berücksichtigt werden.

Im Rahmen des Vorhabens wurden **Wasserdichtheitsprüfungen** (vgl. Abb. 4 und Abb. 5) an vier Schächten vor Ausführung der Sanierung und an 31 Schächten nach Ausführung der Sanierung durchgeführt. Es zeigte sich, dass eine Wasserdichtheitsprüfung im Schacht nicht immer zuverlässige Aussagen zum Erfolg einer Beschichtungsmaßnahme liefert. Es ist insbesondere zu vermuten, dass die Prüfergebnisse z.B. aufgrund von Umläufigkeiten im Bereich der Absperrblasen häufig nicht verwertbar sind. Im vorliegenden Fall wurden z.T. nach der Sanierung größere Wasserverluste gemessen als vor Ausführung der Maßnahme. Oft stehen die Kosten nicht im Verhältnis zum Nutzen. Nur wenn auch der Sohlenbereich einschließlich Gerinne sowie die einbindenden Kanalhaltungen saniert wurden, kann eine Prüfung mit Luft- bzw. Wasserdruck in Einzelfällen zielführend sein. Grundsätzlich scheint dann eine Wasserdichtheitsprüfung gemäß ATV-M 143, Teil 6 [14] kombiniert mit einer optischen Inspektion des oberen Schachtbereiches sinnvoll. In allen anderen Fällen bietet eine umfassende optische Inspektion zuverlässigere Informationen zur Wasserdichtheit der Schachtwandung als eine Prüfung mit Wasserinnendruck. Der Zustand einer Beschichtung sollte durch Inaugenscheinahme des gesamten Schachtbauwerkes einschließlich Einbindungsbereichen, Gerinne und Steigeisen erfasst und fotografisch dokumentiert werden. Idealerweise sollte diese Untersuchung bei hohen Grundwasserständen durchgeführt werden, damit Fehlstellen in der Beschichtung auch durch Wassereintritt erkannt werden können.



Abb. 4: Füllen des Schachtes bis 50 cm über dem Scheitel der untersten Rohreinbindung für eine Prüfung gemäß ATV-M 143, Teil 6 [14]



Abb. 5: Füllen des Schachtes bis zu den Auflagerungen für eine Prüfung gemäß DIN EN 1610 [15]



### 2.3 Ist-Zustand der Schächte vor Sanierung

Vor der Sanierung wurde der Ist-Zustand der Schächte detailliert aufgenommen. Zunächst wurden im Rahmen einer optischen Inspektion die Randbedingungen, der Allgemeinzustand sowie die kritischen Bereiche der Schächte erfasst. Anschließend wurden die Oberflächenfeuchte und der Sulfat- und Carbonatgehalt der Schachtwandungen bestimmt und die Abreißfestigkeit der Schachtwandungen in Anlehnung an ZTV-SIB90 [12] bzw. Instandsetzungs-Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStB) [13] an drei Stellen ermittelt.

Es zeigte sich, dass nahezu alle Schächte im unteren Bereich des Schachtkörpers starke **Schäden** aufwiesen, in vielen Fällen waren die Bermen, Gerinne und Anbindungen an die abgehenden Kanäle ebenfalls sanierungsbedürftig. Wenn Zuläufe in die Schachtwandung eingebunden waren, so waren diese fast immer undicht bzw. schadhaft (vgl. Abb. 6). Im Übergangsbereich Mauerwerk-Beton fanden sich häufig Undichtigkeiten und QuerschnittsverSprünge, die eine Sanierung im Beschichtungsverfahren erschweren können. Insbesondere die Mauerwerksschächte wiesen eine hohe **Oberflächenfeuchte** auf. Hier wurden bei 17 der 23 untersuchten Schächte Oberflächenfeuchten von mehr als 8 Masse% gemessen und somit die Vorgaben der Polyurethanhersteller für die maximale Untergrundfeuchtigkeit überschritten. Eine hohe **Sulfatkonzentration** in der Schachtwandung wurde nur in den Schächten aus Betonfertigteilen gemessen, bei denen Korrosionserscheinungen (z.B. durch biogene Schwefelsäure, vgl. Abb. 7) bereits deutlich sichtbar waren. Eine Messung des Sulfatgehaltes der Schachtwandung vor Ausführung der Beschichtung scheint daher i.d.R. für den vorliegenden Anwendungsfall nicht zwingend erforderlich.



Abb. 6: Nachträglich eingebundener Zu-  
lauf in einem Schacht aus Mauer-  
werk, Bodeneintrag durch fehlende  
Klinker in der Schachtwandung



Abb. 7: Starker Abtrag durch Korrosion in  
einem Schacht mit Mauerwerksunter-  
teil und aufgesetzten Betonfertigteilen

Bei der Prüfung der **Abreißfestigkeit des Untergrundes** zeigte sich, dass trotz Schwierigkeiten bei der Aushärtung des Klebers und Prüfung am unvorbehandelten Untergrund an den **Mauerwerksschächten** i.d.R. Untergrundfestigkeiten  $\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$  gemessen werden konn-

ten und somit die Anforderungen des maßgeblichen Sachstandberichtes [19] erfüllt wurden. Nur in Einzelfällen wurden Untergrundfestigkeiten  $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$  erzielt, so dass sich die Forderung einiger Beschichtungswerkstoffhersteller nach einer messbaren Mindestuntergrundfestigkeit  $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$  (vgl. z.B. [20] und [21]) ohne besonderen Aufwand für die Untergrundvorbereitung bzw. Verbesserung der Klebtechnik offensichtlich kaum erfüllen lässt. In den Schächten aus **Betonfertigteilen ohne Betonkorrosion** scheinen die Anforderungen der maßgeblichen Richtlinien [12], [13] nach einer Untergrundfestigkeit von  $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$  mit einem kleinsten Einzelwert von  $1,0 \text{ N/mm}^2$  i.d.R. selbst ohne umfangreiche Untergrundvorbehandlungsmaßnahmen erreichbar zu sein. Die in den Schächten aus **Betonfertigteilen mit Korrosion** gemessenen Untergrundfestigkeiten waren deutlich geringer als die Anforderungen der maßgeblichen Richtlinien. Hier sind grundsätzlich umfangreiche Untergrundvorbehandlungsmaßnahmen zum Erreichen der notwendigen Untergrundfestigkeiten zu empfehlen.

## 2.4 Ausführung der Sanierungsarbeiten

Die Ausführung sämtlicher Sanierungsmaßnahmen wurde vor Ort durch einen IKT-Mitarbeiter begleitet. An die vor Ort tätigen Fachfirmen wurden seitens der Netzbetreiber übliche Vertragsanforderungen gestellt und lediglich Vorgaben zur Verfahrensauswahl (Material, Verfahrenstechnik) geäußert. Auf Hinweise zur Sanierungsdurchführung wurde bewusst verzichtet, um die üblichen Arbeitsprozesse, die tatsächliche Sanierungsqualität sowie mögliche Fehlerquellen und Verbesserungspotenziale wirklichkeitsgetreu erkennen zu können. Die einzelnen Arbeitsschritte wurden insbesondere mit Blick auf die Umsetzung der Herstellervorgaben, Anforderungen an die Arbeitssicherheit und den Umgang mit schwierigen örtlichen Randbedingungen, wie z.B. eindringendes Grundwasser und tiefe Schachtbauwerke, aufgenommen. Im einzelnen betraf dies die Arbeitsschritte Vorbereitende Maßnahmen, Auftragen der Beschichtung und Nachbehandlung. Die Vorbereitung der Sanierungsmaßnahme umfasste grundsätzlich die Schachtreinigung mit Wasserhochdruck sowie ggf. weitere Maßnahmen zur Untergrundvorbereitung, wie Ausstemarbeiten und die Abdichtung, z.B. durch Injektion, sowie die Vorbeschichtung der Schachtwandung bei groben Unebenheiten.

Bei der **Reinigung mit Wasserhochdruck** zeigte sich, dass sich nach Abschluss der Reinigungsarbeiten in vielen Fällen noch Schmutzrückstände in Teilbereichen auf der Wandung befanden und eine abschließende Kontrolle der Schachtwandung vor dem Auftrag der Beschichtung durch die Fachfirmen nur in Ausnahmefällen durchgeführt wurde. In einigen Fällen wurde die Schachtwandung bereits Tage vor Ausführung der Beschichtungsarbeiten gereinigt, so dass sich ein erneuter Schmutzfilm auf der Wandung bilden konnte. Gegenüber der Wasserhochdruckreinigung mit Handlanze bietet der Einsatz einer rotierenden Reinigungsdüse Vorteile. Es können gleichmäßigere Reinigungsergebnisse erzielt werden und die Arbeitsbedingungen für den Ausführenden sind besser. Grundsätzlich scheint eine Reinigung mit Wasserhochdruck unter den Bedingungen in einem Abwasserschacht aber nicht geeignet zu



sein, um eine ausreichende Rautiefe für eine Mörtelbeschichtung zu erzielen<sup>a,b</sup> bzw. die Fugen in Mauerwerksschächten in ausreichender Tiefe auszuräumen<sup>c</sup> und schwarze Beläge und Glasuren<sup>d</sup> von den Mauerwerksziegeln zu entfernen.

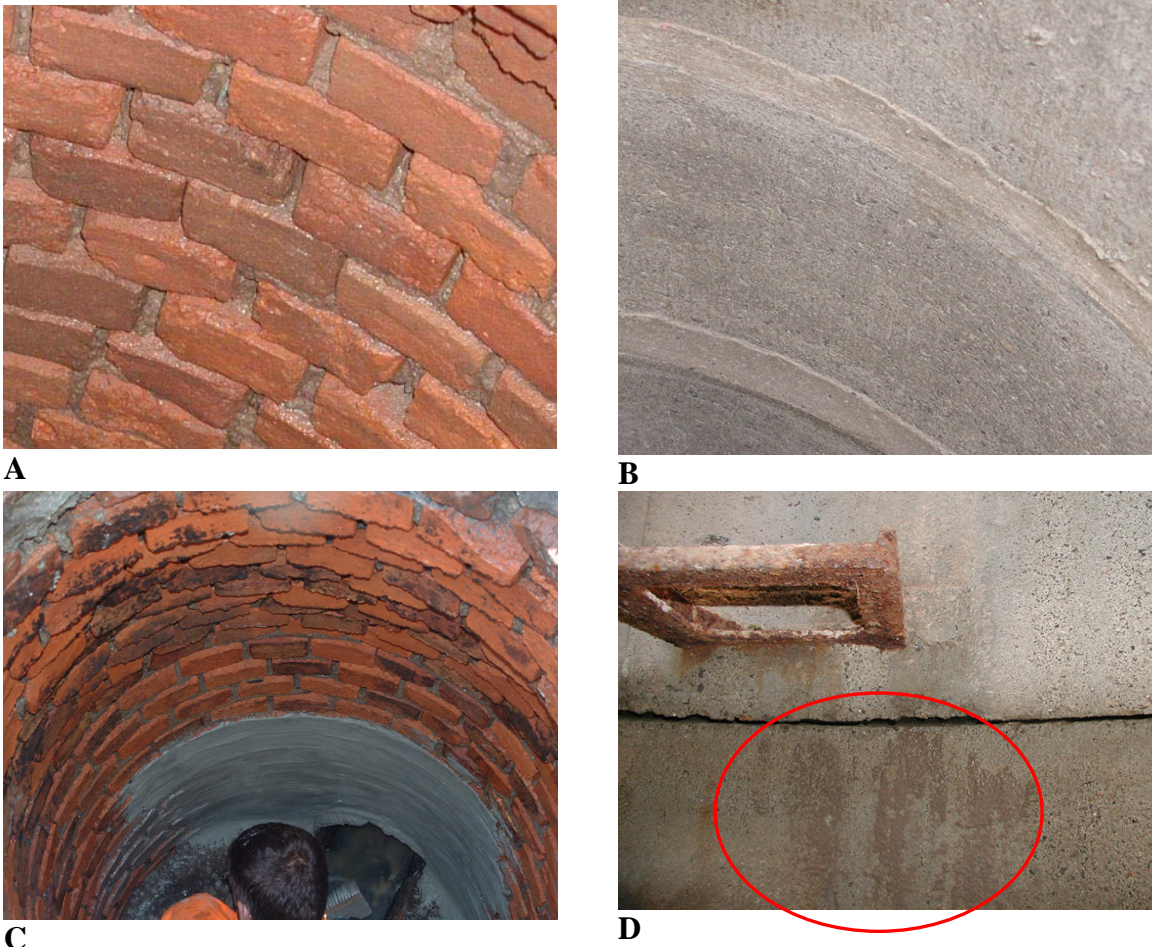


Abb. 8: Schachtreinigung mit Wasserhochdruck. **A:** Saubere Mauerwerkswandung. **B:** Saubere Betonwandung. **C:** Schwarze Beläge und Rückstände auf Mauerwerkswandungen nach Reinigung. **D:** Schmutzrückstände auf Betonwandung nach Reinigung.

Speziell in Mauerwerksschächten und Schächten aus Betonfertigteilen mit Korrosion sind i.d.R. **weitere Maßnahmen zur Untergrundvorbereitung** vor Auftrag der Beschichtung erforderlich. In Schächten aus Betonfertigteilen ohne Korrosion beschränken sich die vorbe-

- 
- a Vgl. Empfehlung in GSTT-Informationen Nr. 18 [19]: „Wenn nicht anders vereinbart, ist das oberflächennahe Korn (> 4mm) kuppenartig freizulegen. Bei Einsatz von Mörteln mit großer Gesteinskörnung (> 2mm) ist eine höhere Untergrundrauigkeit erforderlich.“
  - b Vgl. Empfehlung in GSTT-Informationen Nr. 18 [19]: „Der Untergrund sollte (Anmerkung: nach der Untergrundvorbehandlung) eine Rautiefe von ca. 1-2 mm ... aufweisen.“
  - c Vgl. Empfehlung in GSTT-Informationen Nr. 18 [19]: „Die Fugen sind wie die Steine zu reinigen. In der Regel ist es ausreichend, die Fugen maximal bis zum 2-fachen der Fugenbreite auszuräumen.“
  - d Vgl. Empfehlung in GSTT-Informationen Nr. 18 [19]: Bei der Reinigung „sind schwarze Beläge und lose Steinköpfe restlos zu entfernen... Vorhandene glasierte Brennhäute sind zu entfernen oder zumindest aufzurauen“

reitenden Arbeiten i.d.R. auf die Ringfugen. Für die in vielen Fällen notwendige Abdichtung der Schachtwandung können in Schächten aus Betonfertigteilen i.d.R. mit Injektionen (z.B. mit Polyurethanharzen) gute Ergebnisse erzielt werden. Die Abdichtung mittels Injektionen ist in Mauerwerksschächten aufwändiger. Falls kein stark drückendes Grundwasser ansteht, sind hier besonders schnellabbindende Reparaturmörtel geeignet. Vor einem maschinellen Beschichtungsauftrag (Mörtel und Polyurethan) sind flächige Vorbeschichtungen mit mineralischem Mörtel i.d.R. vor allem in Mauerwerksschächten mit Fugenkorrosion notwendig. Bei Einsatz von Polyurethanbeschichtungen müssen Mauerwerksschächte i.d.R. getrocknet werden, z.B. mit einem Heißluftgebläse. Allerdings wurde der zulässige Wert (6 Masse%, vgl. [22]) für die maximale Untergrundfeuchte trotz dieser Trocknungsmaßnahmen in einigen Fällen überschritten. In korrodierten Mauerwerksschächten wurde in Einzelfällen ebenfalls ein Heißluftgebläse eingesetzt, dann allerdings erst nach Aufbringen der Vorbeschichtung. Hier besteht das Risiko einer Beeinträchtigung der Aushärtung der mineralischen Vorbeschichtung.

Bei einer **Beschichtung** im Anschleuderverfahren (Mörtel und Polyurethan) bilden sich Spritzschatten an den Steigbügeln bzw. Steigeisen. Diese Bereiche müssen somit zusätzlich von Hand sorgsam vorbereitet oder nachgearbeitet werden. Sämtliche Mörtelmischungen wurden nach Augenmaß angemischt, die zugegebenen Flüssigkeitsmengen wurden in keinem Fall exakt abgemessen, vielmehr orientierte sich das Personal der ausführenden Firmen an eigenen Erfahrungen mit der Mörtelkonsistenz. Trotzdem konnte eine gleichbleibende Konsistenz erreicht werden. In zahlreichen Fällen wurden allerdings die Herstellervorgaben bzw. allgemeinen Anforderungen an das Ausbreitmaß nicht eingehalten.

Bei fast allen Mörtelbeschichtungsmaßnahmen wurden nahezu keine bzw. nur unzureichende **Nachbehandlungsmaßnahmen**<sup>a,b</sup> ergriffen. Bereits während des Beschichtungsauftrags wurden die einzelnen, bereits angetrockneten Schichten vor dem Auftrag einer neuen Schicht nicht angeraut und die Mörtelbeschichtung nicht feucht gehalten<sup>c,d</sup>. Bei einigen Beschich-

- 
- a Vgl. GSTT-Informationen Nr. 18 [19]: Gerade in der Anfangsphase der Hydratation sollte einem möglichen Wasserverlust durch Verdunstung (z.B. durch Auflegen wasserspeichernder Abdeckungen wie z.B. nasse Jute, ggf. in Kombination mit Folie, Abdecken mit Folien, die ausreichend Wasser dampfdiffusion besitzen, Auftragen von Nachbehandlungsfilmen, z.B. auf Wachsbasis, Aufrechterhalten eines sichtbaren Wasserfilmes auf der Oberfläche durch Besprühen mit Wasser) begegnet werden. Der Festigkeitsabbau und die Dauerhaftigkeit, insbesondere im oberflächennahen Bereich, dürfen nicht beeinträchtigt werden.
  - b Vgl. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (ZTV-SIB 90) [12]: Die Nachbehandlung ist nach Art und Dauer entsprechend den Angaben des Stoffherstellers in den Ausführungsanweisungen unter Beachtung der jeweiligen Umgebungstemperaturen, jedoch **mindestens 5 Tage**, durchzuführen.
  - c Vgl. GSTT-Informationen Nr. 18 [19]: „Während des gesamten Arbeitsfortschrittes – und nicht erst zum Abschluss der Arbeiten – müssen die instandgesetzten Flächen feucht bleiben.“
  - d Vgl. Herstellerangaben [Firmeninformation der Fa. Rainer Hermes GmbH & Co KG, Schwerte]: „Bei mehrschichtigem Auftrag des Mörtels sollte die zuletzt aufgetragene Schicht für den nachfolgenden Auftrag angeraut werden.“

tungsmaßnahmen war die Mörtelbeschichtung vor allem im Konusbereich einer direkten Sonnenbestrahlung ausgesetzt<sup>a</sup>. Bei Polyurethanbeschichtungen scheinen umfangreiche Nachbehandlungsmaßnahmen nicht erforderlich zu sein. Allerdings sollte eine detailliertere optische Kontrolle nach Auftrag der Beschichtung durchgeführt werden, um Fehlstellen in der Beschichtung erkennen und direkt beseitigen zu können.

Darüber hinaus konnten weitere **Auffälligkeiten** sowie **Abweichungen** von den Vorgaben der Hersteller und den Anforderungen der maßgeblichen Richtlinien bzw. Sachstandsberichte beobachtet werden:

In vielen Fällen wurden **offensichtlich ungeeignete Materialien**, insbesondere zur Vorbeschichtung, eingesetzt. So wurden z.T. ohne Absprache mit dem Auftraggeber schnellabbindende Vergussmörtel und Reparaturmörtel für die Beschichtung bzw. flächige Vorbeschichtung verwendet. Betonschächte mit starker Korrosion waren zunächst mit Mörtelprodukten, die nur bedingt für den Einsatz bei sehr aggressiven Abwässern geeignet sind, großflächig vorbeschichtet worden, bevor hochwiderstandsfähige Mörtel- bzw. Polyurethanbeschichtungen aufgebracht wurden. In Einzelfällen wurde leicht angehärteter Mörtel erneut mit Wasser aufgemischt und für die Beschichtung verwendet. Eine Firma gab zu allen Mörtelmischungen Mischöl hinzu, um den Mörtel nach Aussage des Personals besser verarbeitbar für den händischen Auftrag zu machen.

Die **Grenzwerte für die klimatischen Bedingungen** während des Beschichtungsauftrags wurden in einigen Fällen nicht eingehalten. Bei mehreren Mörtelbeschichtungen lag die Temperatur im oberen Teil des Schachtkörpers außerhalb des in den maßgeblichen Richtlinien empfohlenen Bereiches<sup>b</sup> (vgl. Abb. 9). Bei den Polyurethanbeschichtungen wurde in Einzelfällen bei sehr hoher Luftfeuchtigkeit bzw. einem zu geringen Taupunkt abbeschichtet<sup>c</sup>.

- 
- a Vgl. Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb [13]: „Austrocknung durch Sonneneinstrahlung muss verhindert werden.“
  - b Grenzwerte für die Lufttemperatur während des Auftrags und in einem angemessenen Zeitraum danach gemäß Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb [13]: 5 – 30° C.
  - c Vgl. Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb [13]: Kein Regen oder Nebelnässen bei der Beschichtung mit kunststoffgebundenen Stoffen, Bauteiltemperatur muss mindestens 3 K über dem Taupunkt liegen.





A



B

Abb. 9: Unterschiedliche Klimabedingungen bei Mörtelbeschichtungsmaßnahmen.

*A: Beschichtung im Winter bei Temperaturen unter 5° C. B: Beschichtung im Sommer bei Temperaturen über 30° C.*

Bei zwei Beschichtungsmaßnahmen wurde eine **fehlerhafte Bedienung der Maschinentchnik** beobachtet, die zu schlechten Sanierungsergebnissen führte. In einem Fall verrutschte das Zugseil bei der Mörtelbeschichtung im Anschleuderverfahren während des Auf- und Abfahrens des Schleuderkopfes mehrfach auf der Zugspindel, wodurch sich eine wellenartige Oberflächenstruktur der Beschichtung ergab. Bei einer Polyurethanbeschichtung war vor Beginn der Beschichtung der Befüllungsgrad der Behälter für die Rohstoffkomponenten nicht kontrolliert worden, so dass es während des Beschichtungsvorganges zu einem vollständigen Verbrauch der Stamm-Komponente und somit höchstwahrscheinlich zu einem Abweichen von dem erforderlichen Mischungsverhältnis kam. Bei den Mörtelbeschichtungen im Nassspritzverfahren wurde erwartungsgemäß ein vergleichsweise geringer Abstand der Düse zur Schachtwandung (ca. 10 – 20 cm) gewählt (vgl. Empfehlungen in [23]). Vor dem Auftrag der nächsten Schicht wurde jede Schichtlage von der ausführenden Fachfirma entgegen den Empfehlungen der maßgeblichen Richtlinien von Hand geglättet.

## 2.5 Zustand nach Sanierung und Materialqualität

Nach Abschluss der Sanierungsmaßnahmen wurden sämtliche Schachtbeschichtungen vor Ort untersucht. Sowohl nach ca. 28 Tagen als auch nach ca. 6 Monaten (3 Monaten) wurden die Schächte optisch inspiziert, kritische Bereiche bewertet und Fehlstellen in der Beschichtung, wie z.B. Risse, Hohlstellen oder Blasen, aufgenommen. Nach ca. 28 Tagen wurden an 31 Schächten Wasserdichtheitsprüfungen nach ATV-M 143, Teil 6 [14] und DIN 1610 [15] und an sämtlichen Schächten Haftzugprüfungen in Anlehnung an ZTV-SIB90 [12] und Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb [13] ausgeführt. Die Haftzugprüfungen wurden ergänzt durch eine Bestimmung der Beschichtungsdicke an jeweils fünf Stellen je untersuchtem Schacht. Die während des Beschichtungsvorgangs entnommenen Materialproben wurden im Labor geprüft und wesentliche Materialkennwerte ermittelt.

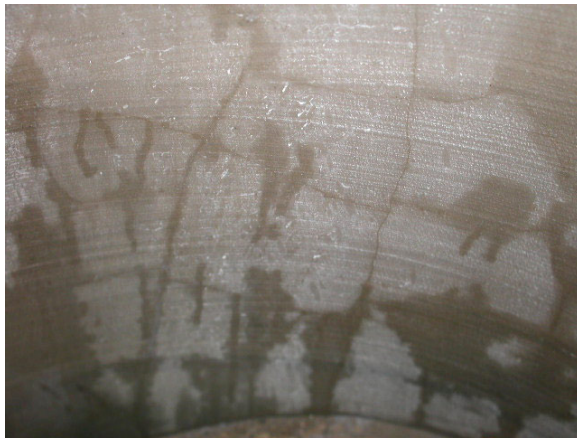
### 2.5.1 Mörtelbeschichtungen

Bei der optischen Inspektion der Mörtelbeschichtungen zeigten sich 10 der 26 beschichteten Schächte in einwandfreiem **Zustand** (vgl. Abb. 10). 16 Schächte wiesen **Mängel** wie Risse, Hohlstellen, Fehlstellen oder sichtbare Undichtigkeiten in der Beschichtung auf (vgl. Abb. 11). Bei 7 dieser Schächte zeigten sich nur örtlich begrenzt auftretende Mängel, bei 9 Schächten wurde eine Häufung von Schäden oder gravierende Mängel festgestellt bzw. war der gesamte Beschichtungskörper mit Rissen versehen. Auffallend ist hierbei, dass bei 5 der Schächte mit gravierenden Mängeln bei der Beschichtung ein fettlösendes Reinigungsmittel eingesetzt und der Mörtel mit einem Mischöl angemischt worden war. Bei zwei weiteren Schächten mit gravierenden Mängeln war die Beschichtung nach Anwendung des Anschleuerverfahrens nicht kontrolliert bzw. nachgearbeitet, in einem weiteren Fall ein falsches Mörtelprodukt eingesetzt worden. Besonders häufig lagen Mängel wie Rissbildung, Hohlstellen und zu geringer Materialauftrag im Bereich der **Steigeisen** vor. In einigen Fällen war die Mindestauftrittstiefe der Steigeisen nach der Beschichtung nicht mehr ausreichend. **Schwierige Geometrien** wie z.B. horizontale Versprünge stellten keine Schwachstellen in den Mörtelbeschichtungen dar. Die Zu- und Abläufe waren i.d.R. gut angebunden. Eine höhere Schadenshäufigkeit bei den durch **Straßenverkehr** hochbelasteten Schächten wurde nicht festgestellt. Die o.a. Mängel in den Mörtelbeschichtungen waren häufig erst bei der zweiten Inspektion nach mehreren Monaten (3 bzw. 6 Monate) eindeutig bzw. erstmalig zu erkennen. Tabelle 12 gibt eine detaillierte Übersicht über die Ergebnisse der optischen Inspektion an mittels Mörtelbeschichtungen sanierten Schächten.



Abb. 10: Beispiele für Mörtelbeschichtungen ohne sichtbare Mängel





**A**



**B**



**C**



**D**



**E**



**F**

*Abb. 11: Beispiele für Mörtelschachtbeschichtungen mit optisch feststellbaren Mängeln; **A:** Netzartig verteilte Risse über die gesamte Schachtwandung. **B:** Riss im Konusbereich des Schachtes. **C:** Feuchte Fläche in der Beschichtung. **D:** Beschichtung im Konusbereich stark wellig. **E:** Zu geringer Materialauftrag unterhalb eines Steigeisens. **F:** Klinker im Konusbereich nur teilweise beschichtet.*

Tabelle 12: Ergebnisse der optischen Inspektion in mittels Mörtelbeschichtungen sanierten Schächten

Schacht Nr.	Schacht-zustand	OV <sup>1)</sup>	AA <sup>2)</sup>	Risse	Hohlstellen	Undichtigkeiten	Fehlstellen	Gesamt-bewer-tung <sup>3)</sup>
1	Beton, undicht ohne Korrosion	H	H	/	/	zwei feuchte Stellen, Anbindung Berme und ca. 40 cm oberhalb der Berme (ca. 50 x 10 cm)	unter Steigeisen Beschichtung abgeplatzt	O
2	Beton, undicht ohne Korrosion	R	A	keine Mängel				+
3	Beton, undicht ohne Korrosion	H	H	starke Rissbildung über die gesamte Wandung	Hohlstelle, neben Steigeisen, ca. 40 x 40 cm	unterer Bereich flächig feucht	/	-
4	Beton, undicht ohne Korrosion	R	A	/	zwei Hohlstellen, jeweils ca. 20 x 20 cm, neben Steigeisen	/	/	O
7	Mauerwerk, Korrosion	H	H	starke Rissbildung im Konusbereich	Hohlstelle im Konusbereich, ca. 20 x 30 cm			O
8	Mauerwerk, Korrosion	R	A	keine Mängel				+
9	Mauerwerk, Korrosion	R	A	/	Hohlstelle über der Sohle, ca. 20 x 10 cm	/	/	O
10	Mauerwerk, Korrosion	H	H	starke Rissbildung über die gesamte Wandung	Hohlstelle über der Sohle, ca. 30 x 30 cm	/	/	-
11	Mauerwerk, Korrosion	H	H	feine Risse über die gesamte Wandung	zwei Hohlstellen im oberen Bereich neben den Steigeisen, ca. 20 x 20 cm	/	/	-
14	Beton, undicht ohne Korrosion	H	S	feine Risse über die gesamte Wandung im unteren Bereich	zwei Hohlstellen unterhalb des Konus, ca. 20 x 30 cm	/	/	-
15	Mauerwerk, Korrosion	H	S	starke Rissbildung über die gesamte Wandung	/	Wassereindrang durch nicht sanierte Fuge im Konusbereich	/	-
17	Mauerwerk, undicht ohne Korrosion	H	H	keine Mängel				+
18	Beton, undicht ohne Korrosion	R	A	keine Mängel				+
19	Beton, undicht ohne Korrosion	H	H	keine Mängel				+
23	Mauerwerk, undicht ohne Korrosion	R	A	keine Mängel				+
25	Beton, undicht ohne Korrosion	R	A	keine Mängel				+
27	Mauerwerk, undicht ohne Korrosion	R	A	/	/	große feuchte Stelle im unteren Bereich des Schachtes, ca. 80 x 80 cm	/	O

Fortsetzung siehe nächste Seite



Tabelle 12 (Forts.): Ergebnisse der optischen Inspektion in mittels Mörtelbeschichtungen sanierten Schächten

Schacht Nr.	Schachtzustand	OV <sup>1)</sup>	AA <sup>2)</sup>	Risse	Hohlstellen	Undichtigkeiten	Fehlstellen	Gesamtbewertung <sup>3)</sup>
28	Mauerwerk, Korrosion	R	A	/	/	/	unterhalb eines Steigeisens Mauerwerk sichtbar	○
29	Mauerwerk, Korrosion	R	A	/	/	große feuchte Stelle unterhalb des Konus, ca. 80 x 80 cm	/	○
31	Beton, Korrosion	H	H	keine Mängel				+
32	Beton, Korrosion	H	H	keine Mängel				+
34	Mauerwerk, undicht ohne Korrosion	H	H	keine Mängel				+
35	Mauerwerk, undicht ohne Korrosion	R	A	großer Riss oberhalb des Ablaufes, kreuzförmige Risse unterhalb des Konus	Hohlstelle unterhalb des Konus, ca. 80 x 40 cm	/	/	-
38	Mauerwerk, Korrosion	R	A	/	/	/	Klinker im Konus nur teilweise beschichtet, Abplatzungen Einbindungsbereiche Steigbügel	-
40	Beton, Korrosion	H	H	starke Rissbildung über die gesamte Wandung	zwei Hohlstellen unterhalb Konus, 20 x 20 cm und 30 x 20 cm	/	nicht beschichtete Stelle (ca. 3 x 1 cm) am Ablauf	-
41	Beton, Korrosion	R	A	/	/	/	Beschichtung vor allem im Konusbereich stark wellig	-

1) OV = Oberflächenvorbereitung, H = Reinigung mit Wasserhochdruck (ca. 120 bar) unter Verwendung einer Handlanze,

R = Reinigung mit Wasserhochdruck (ca. 300 bar) unter Verwendung einer rotierenden Reinigungsdüse

2) AA = Auftragsart des Mörtels, H = Auftrag von Hand, S = Auftrag im Anspritzverfahren, A = Auftrag im Anschleuderverfahren

3) rot/- = Häufung von Mängeln, gravierende Mängel oder ganzer Beschichtungskörper schadhaft

gelb/o = örtlich sehr begrenzt auftretende Mängel bzw. Mängel leicht behebbar

grün/+ = keine Mängel in der optischen Inspektion (einschließlich Abklopfen) erkennbar

Grundsätzlich wiesen die in situ gemessenen **Haftzugwerte** große Schwankungen auf. So wurden in Einzelfällen Haftzugfestigkeiten von bis zu  $2,8 \text{ N/mm}^2$  erzielt, in vielen Fällen war die Haftzugfestigkeit aber wesentlich geringer bzw. kaum gegeben. Als mögliche Ursache für dieses frühe Versagen sind insbesondere Schwächen in der Oberflächenvorbereitung, der Einsatz von nicht geeignetem Beschichtungsmaterial bzw. die Nicht-Einhaltung der Herstellervorgaben zu nennen. Hohe Haftzugfestigkeiten  $\geq 2,0 \text{ N/mm}^2$  (vgl. z.B. Angaben in [20] und [21]) wurden nur in Ausnahmefällen (bei 3 der insgesamt 77 Prüfungen) und bei einem **Auftrag im Anschleuderverfahren** gemessen. In einigen Fällen wurden die Haftzugfestigkeiten der angeschleuderten Beschichtungen durch die zuvor von Hand aufgetragenen Vorbeschichtungen (z.B. in korrodierten Betonschächten bzw. Mauerwerksschächten mit starker Fugen-

korrosion) limitiert. Auf **Mauerwerk** lag die in situ gemessene Haftzugfestigkeit der Mörtelbeschichtungen im Mittel bei ca.  $0,6 \text{ N/mm}^2$ . Damit wurden die Herstellerangaben zwar deutlich verfehlt, die Anforderungen des maßgeblichen Sachstandberichtes<sup>a</sup> scheinen aber durchaus erfüllbar zu sein. Bei drei der 14 untersuchten Mörtelbeschichtungen in Mauerwerkschächten lagen alle gemessenen Werte über diesen Anforderungen. In den **Schächten aus Betonfertigteilen** wurden Haftzugfestigkeiten von im Mittel  $0,5 \text{ N/mm}^2$  gemessen. Damit wurden sowohl die Herstellerangaben als auch die Anforderungen der maßgeblichen Richtlinien<sup>b</sup> deutlich verfehlt. Keine der 12 untersuchten Mörtelbeschichtungen in Schächten aus Betonfertigteilen erfüllte diese Anforderungen.

Bei der Bestimmung der **Materialkennwerte** der bei den Sanierungsmaßnahmen entnommenen Proben zeigte sich, dass fast alle Mörtelmischungen die von den Herstellern angegebenen Biegezug- und Druckfestigkeiten unterschritten. Teilweise betrug die gemessenen Werte nur ein Drittel der angegebenen Werte. Ursache hierfür sind vermutlich Schwachstellen in der Bauausführung. Bei weiteren Prüfungen zur Bestimmung der **Schichtdicke und Wassereindringtiefe** konnte festgestellt werden, dass das Anschleuderverfahren offensichtlich Vorteile bietet, wenn eine gleichmäßige Schichtdicke mit geringem Materialverbrauch angestrebt wird. Um das Risiko einer stellenweise vollständigen Wasserdurchdringung zu verringern, sollte eine deutlich größere Mindestschichtdicke als  $10 \text{ mm}^c$ , z.B.  $20 \text{ mm}$ , eingehalten werden.

Eine Übersicht über die Untersuchungsergebnisse für die einzelnen in Tabelle 3 bis Tabelle 9 beschriebenen Schachtbauwerke mit Blick auf die im Rahmen des Vorhabens gezielt variierten Untersuchungsrandbedingungen zeigt Abb. 12. Der Schwerpunkt dieser Übersicht liegt auf den Ergebnissen der optischen Inspektion, der Haftzugfestigkeitsprüfung und der Überprüfung der Wasserdichtheit.

- 
- a Mindestanforderung an die Haftzugfestigkeit von Beschichtungsmörteln auf Mauerwerk gemäß GSTT-Informationen Nr. 18 [19]: Im Mittel  $\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ .
  - b Mindesthaftzugfestigkeiten nach ZTV-SIB90 [12] und Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb [13]: Im Mittel  $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$  mit einem kleinsten Einzelwert von  $1,0 \text{ N/mm}^2$ .
  - c Mindestschichtdicke für kunststoffmodifizierte Mörtel gemäß Instandsetzungs-Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton [13].

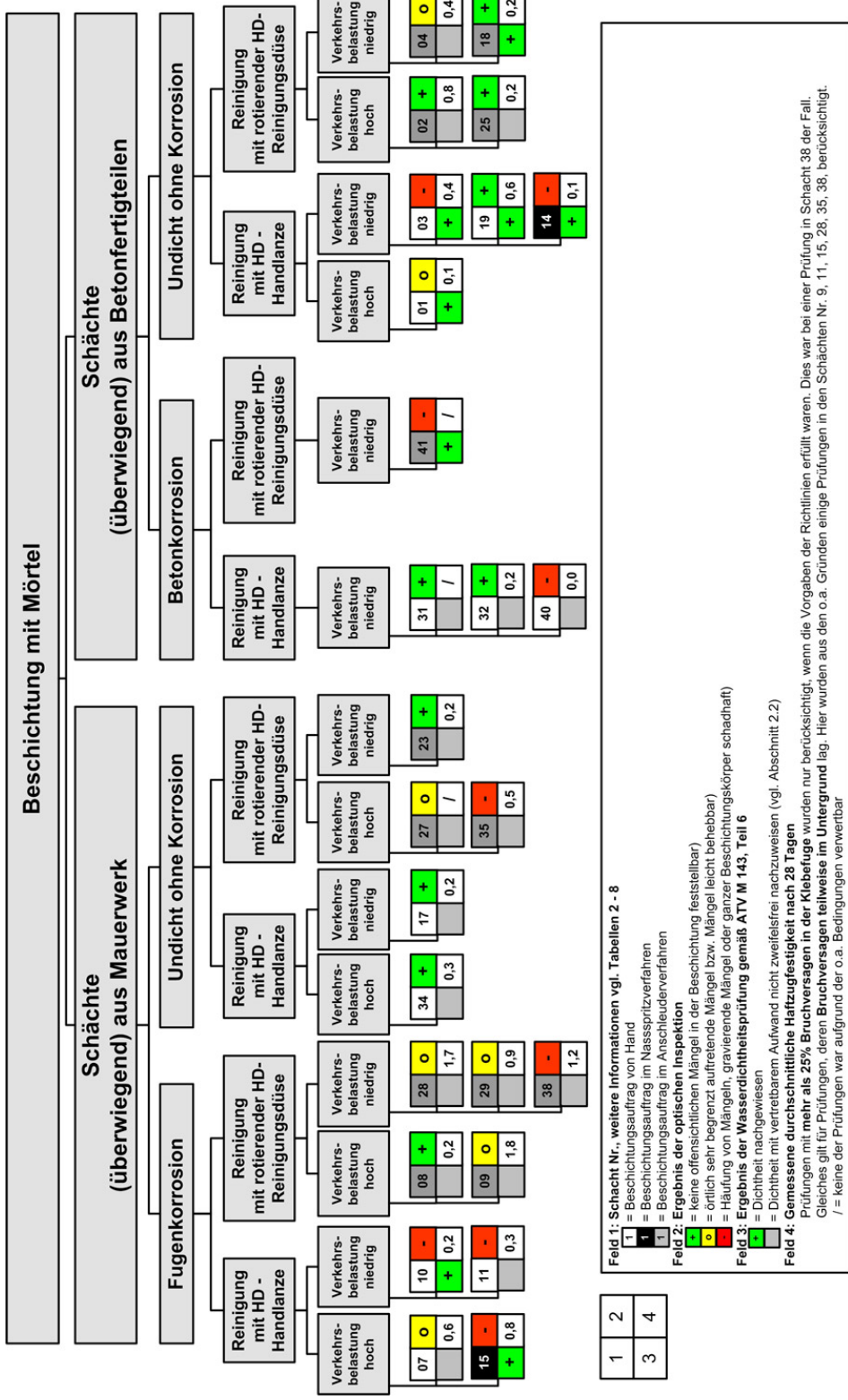


Abb. 12: Übersicht über die Untersuchungsergebnisse der optischen Inspektion, der Prüfung der Haftzugfestigkeit und der Überprüfung der Wasserdichtheit an den 26 im Rahmen des Projektes mit Mörtel beschichteten Abwasserschächten, weitere Informationen vgl. Tabelle 3 bis Tabelle 9 und Abschnitt 2.2

## 2.5.2 Polyurethanbeschichtungen

Bei der optischen Inspektion der **Polyurethanbeschichtungen** zeigten sich 7 der 16 mit Polyurethan beschichteten Schächte in einwandfreiem **Zustand** (vgl. Abb. 13). 9 Schächte wiesen **Mängel** wie Hohlstellen, Fehlstellen oder Undichtigkeiten in der Beschichtung auf (vgl. Abb. 14). 5 dieser Schächte wiesen nur örtlich begrenzt auftretende Mängel auf, die fast alle durch eine gründliche Kontrolle nach Abschluss der Beschichtungsarbeiten hätten erkannt und beseitigt werden können. Bei 3 Schächten wurde eine Häufung von Schäden oder gravierende Mängel festgestellt bzw. war die gesamte Beschichtung schadhaft. Bei zwei Beschichtungen scheint die Ursache eine zu geringe Haftzugfestigkeit von Polyurethan auf feuchtem Mauerwerk zu sein. In einem weiteren Fall kam es aufgrund eines Ausführungsfehlers vermutlich zu einem falschen Mischungsverhältnis, die Beschichtung war großflächig nicht ausgehärtet. **Schwierige Geometrien**, wie z.B. horizontale Versprünge, stellten keine Schwachstellen in den Polyurethanbeschichtungen dar. Die **Zu- und Abläufe** waren i.d.R. gut angebunden. In zwei Fällen wurden die Zu- und Abläufe im Sohlenbereich unter Einsatz von polyurethanharz-getränkten Kurzlinern erfolgreich angebunden und abgedichtet. Auch nach **betrieblicher Belastung** durch Wasserhochdruckspülungen zeigten diese Kurzliner keine erkennbaren Qualitätsverschlechterungen. Eine höhere Schadenshäufigkeit bei den durch **Straßenverkehr** hochbelasteten Schächten wurde nicht festgestellt. Tabelle 13 gibt eine detaillierte Übersicht über die Ergebnisse der optischen Inspektion an mittels Polyurethanbeschichtungen sanierten Schächten.

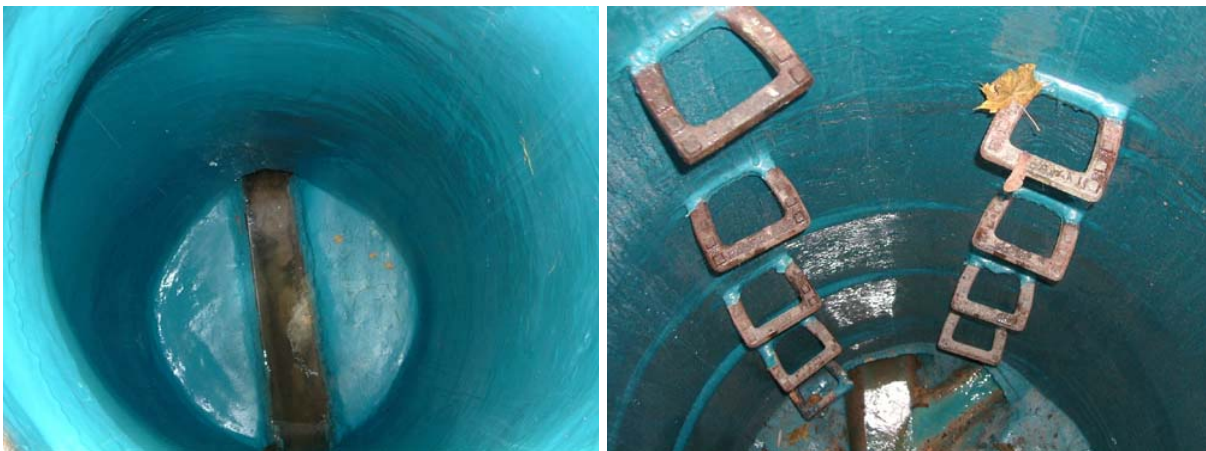
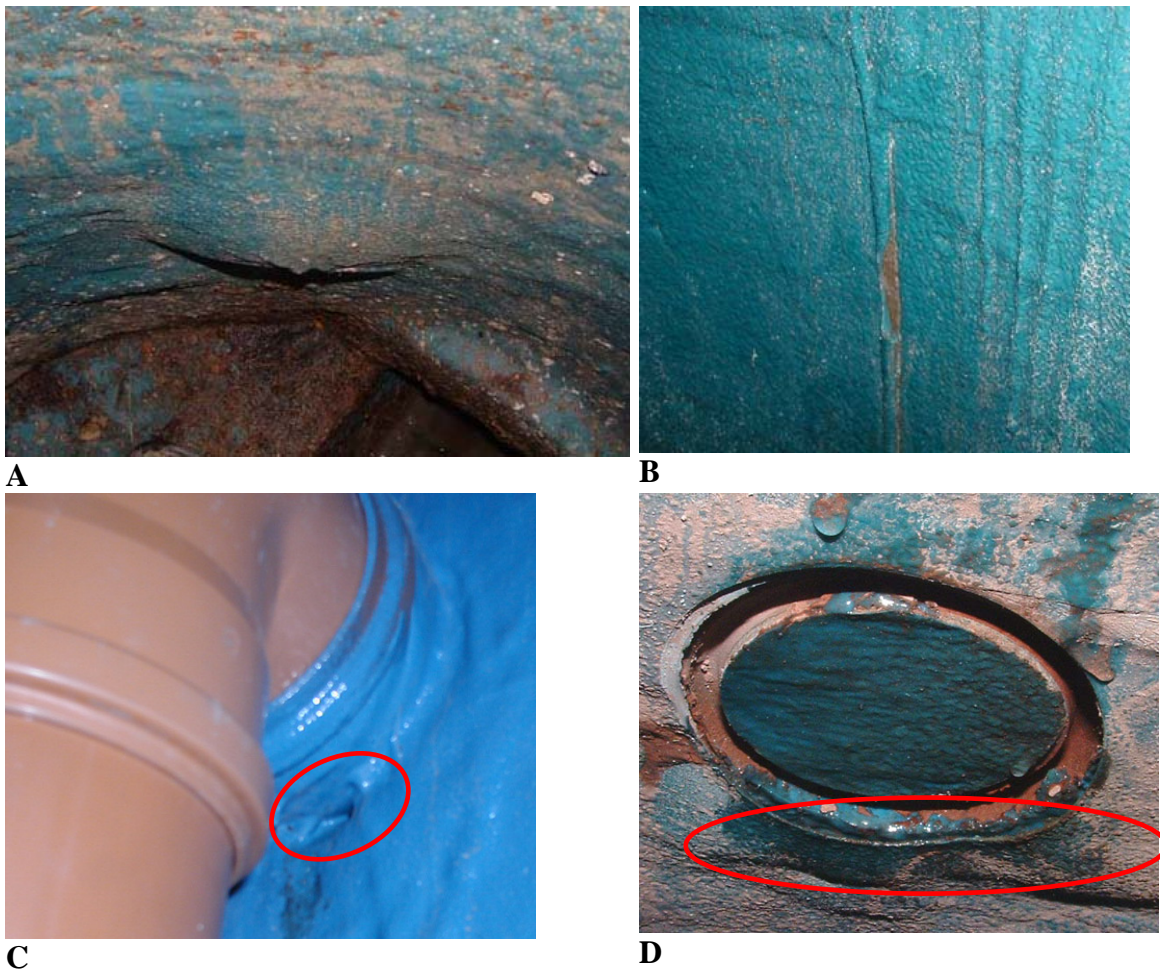


Abb. 13: Beispiele für Polyurethanbeschichtungen ohne sichtbare Mängel





*Abb. 14: Beispiele für Polyurethanschichtbeschichtungen mit optisch feststellbaren Mängeln; A: Wassergefüllte Blase im unteren Bereich des Schachtes. B: Fehlstelle entlang einer Laufnase. C: Nicht ausreichende Beschichtung unterhalb eines Zulaufes. D: Mangelhafte Aushärtung der Polyurethanbeschichtung.*



Tabelle 13: Ergebnisse der optischen Inspektion in mittels Polyurethanbeschichtungen sanierten Schächten

Schacht Nr.	Material	OV <sup>1)</sup>	AA <sup>2)</sup>	Hohlstellen	Undichtigkeiten	Fehlstellen	Gesamtbewertung <sup>3)</sup>
5	Beton, undicht ohne Korrosion	H	A	/	nicht beschichtete Stelle (ca. 3 x 3 cm) unter einem Zulauf		o
6	Beton, undicht ohne Korrosion	H	A	/	unterhalb eines Steigeisens leicht undicht	/	o
12	Mauerwerk, undicht ohne Korrosion	H	S	keine Mängel			+
13	Mauerwerk Korrosion	H	S	keine Mängel			+
16	Beton, undicht ohne Korrosion	H	S	keine Mängel			+
20	Beton, undicht ohne Korrosion	H	S	keine Mängel			+
21	Beton, undicht ohne Korrosion	H	S	drei Blasen, ca. 30x10cm, ca. 30x20cm und ca. 25x25cm im unteren Bereich des Schachtes (Beschichtung auf Mauerwerk)	nicht beschichtete Stelle (ca. 2 x 2 cm) unter einem Zulauf		-
22	Mauerwerk, undicht ohne Korrosion	H	S	/	/	zwei „Laufnasen im oberen Bereich, jeweils unbeschichteter Spalt von 1-2 mm Breite	o
24	Mauerwerk, undicht ohne Korrosion	H	A	zwei Blasen (ca. 15 cm Durchmesser) im unteren Bereich des Schachtes zwischen den Steigeisen	/	/	o
26	Mauerwerk Korrosion	H	A	Hohlstelle im Konus (ca. 20 x 80 cm) direkt unter Auflagering	/	/	o
30	Mauerwerk, undicht ohne Korrosion	H	A	die gesamte Beschichtung wurde von der ausführenden Firma nach ca. 4 Wochen entfernt, da sich die Beschichtung in weiten Bereichen von der Schachtwandung bzw. vom Gerinne und der Berme abgelöst hatte			-
33	Mauerwerk, undicht ohne Korrosion	H	A	keine Mängel			+
36	Mauerwerk, Korrosion	H	S	keine Mängel			+
37	Mauerwerk, Korrosion	H	A	/	/	nur die oberste Schicht der Beschichtung ausgehärtet, darunter zähflüssiges Material	-
39	Beton, Korrosion	H	S	/	/	unbeschichteter Spalt unter dem Konus (ca. 30 x 1 cm)	o
42	Beton, Korrosion	H	S	keine Mängel			+

1) OV = Oberflächenvorbereitung, H = Reinigung mit Wasserhochdruck (ca. 120 bar) unter Verwendung einer Handlanze

2) AA = Auftragsart des Polyurethans, A = Auftrag im Anspritzverfahren, S = Auftrag im Sprüh-Schleuderverfahren

3) rot/- = Häufung von Mängeln, grvierende Mängel oder ganzer Beschichtungskörper schadhaft

gelb/o = örtlich sehr begrenzt auftretende Mängel bzw. Mängel leicht behebbar

grün/+ = keine Mängel in der optischen Inspektion (einschließlich Abklopfen) erkennbar

Grundsätzlich wiesen die gemessenen **Haftzugwerte** große Schwankungen auf, es wurden Werte von 0,1 bis 5,1 N/mm<sup>2</sup> gemessen. Die ermittelten Haftzugfestigkeiten der Polyurethanbeschichtungen auf **Mauerwerk** lagen im Mittel bei 0,4 N/mm<sup>2</sup>. Für diesen Anwendungsfall liegen keine Anforderungen vor. Allerdings hätte nur eine Polyurethanbeschichtung auf Mauerwerk die Anforderungen, die an Mörtelbeschichtungen gestellt werden<sup>a</sup>, erfüllt. Als Ursache für dieses frühe Versagen sind insbesondere zu hohe Restfeuchten des Untergrundes und Schwächen in der Oberflächenvorbehandlung zu nennen. In korrodierten Mauerwerksschächten limitierte die Vorbeschichtung aus mineralischem Mörtel in vielen Fällen die Haftzugfestigkeit der Polyurethanbeschichtungen. In den **Schächten aus Betonfertigteilen** wurden Haftzugfestigkeiten von im Mittel 2,0 N/mm<sup>2</sup> gemessen. Damit scheinen sowohl die Herstellerangaben (vgl. [24]) als auch die Anforderungen der maßgeblichen Richtlinien<sup>b</sup> erfüllbar zu sein. Vier der 7 Polyurethanbeschichtungen in den Schächten aus Betonfertigteilen erfüllten diese Anforderungen.

- 
- a Mindestanforderung an die Haftzugfestigkeit von Beschichtungsmörteln auf Mauerwerk gemäß GSTT-Informationen Nr. 18 [19]: Im Mittel  $\geq 0,5$  N/mm<sup>2</sup>.
- b Mindesthaftzugfestigkeiten nach ZTV-SIB90 [12] und Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb [13]: Im Mittel  $\geq 1,5$  N/mm<sup>2</sup> mit einem kleinsten Einzelwert von 1,0 N/mm<sup>2</sup>.

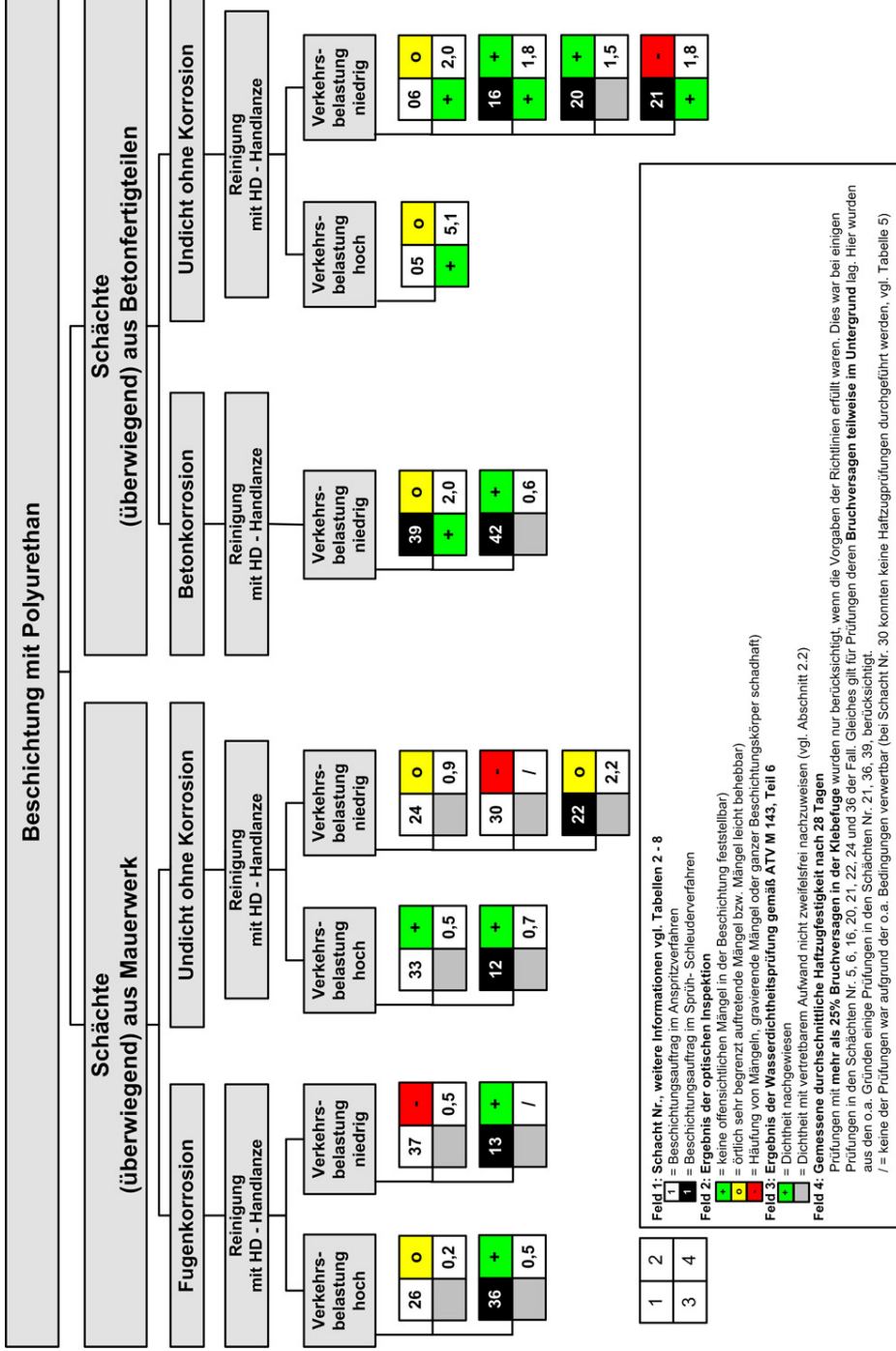


Abb. 15: Übersicht über die Untersuchungsergebnisse der optischen Inspektion, der Prüfung der Haftzugfestigkeit und der Überprüfung der Wasserdichtheit an den 16 im Rahmen des Projektes mit Polyurethan beschichteten Abwasserschächten, weitere Informationen vgl. Tabelle 3 bis Tabelle 9 und Abschnitt 2.2

### 3 Laborversuche

Ergänzend zu den In-situ-Maßnahmen wurden in Laborversuchen die Auswirkung von dynamischen Belastungen auf die Qualität einer Schachtbeschichtung sowie das Verbundverhalten von Beschichtungen auf wassergelagerten Schachtelementen aus Beton untersucht.

#### 3.1 Auswirkungen von dynamischen Belastungen auf Schachtbeschichtungen

Im Rahmen der Untersuchungen zur Auswirkung von dynamischen Belastungen wurden 6 Schächte aus Betonfertigteilen mit definierten Schadensbildern in einem Versuchsstand des IKT von Fachfirmen beschichtet (3 x Mörtel, 3 x Polyurethan), unter einen Außenwasserdruck gesetzt, und anschließend dynamisch belastet.

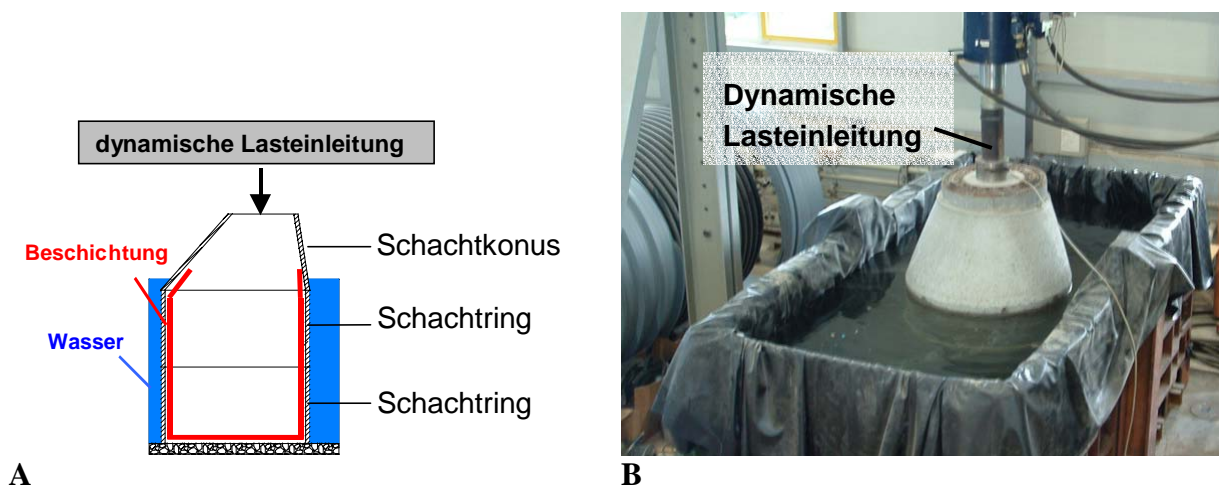


Abb. 16: Versuchsaufbau im mittelformatigen Versuchsstand des IKT. **A:** Schematische Darstellung. **B:** Versuchsaufbau während der Lasteinleitung.

Ziel war es, eine erste Einschätzung der Dauerhaftigkeit von Mörtel- und Polyurethanbeschichtungen bei einer Belastung des Schachtes durch Schwerlastverkehr zu gewinnen. Bei vier Schächten (2 x Mörtel-, 2 x Polyurethanbeschichtung) wurde 24h nach Beschichtungsauftrag über 6 Tage eine Last in Höhe von 50 kN zyklisch aufgebracht (ca. 850 Lastwechsel). Die Last wurde jeweils 5 min konstant gehalten und der Schacht anschließend während weiterer 5 min komplett entlastet. Erst nach Abschluss dieser 7-tägigen Aushärtephase wurde die Belastung deutlich gesteigert. In dieser zweiten Phase wurden eine Million Lastwechsel von 100 kN in einer Frequenz von 3 Hz aufgebracht. Dies entspricht einer Belastung von ca. 4 bis zu ca. 60 Jahren (in Straßen der Bauklassen III – V, vgl. [25]) durch die Radlasten von Bemessungschwerlastwagen gemäß DIN 1072 [26] bei einer Überfahrtgeschwindigkeit von ca. 50 km/h. Bei zwei weiteren Schächten (1x Mörtel-, 1 x Polyurethanbeschichtung) sollten die Auswirkungen von extremen Belastungsszenarien untersucht werden. Daher wurden die Schächte direkt 24 h nach Beschichtungsauftrag 500.000 Mal mit 100 kN in einer Frequenz von 3 Hz belastet und die eingeleitete Last anschließend auf 200 kN und 300 kN (bei jeweils 500.000 Lastwechseln) gesteigert.

Bei diesen beiden Schächten wurde auch das Verformungsverhalten der Beschichtung während der einzelnen Belastungen auf der Fuge zwischen Konus und Schachtring in vertikaler, diagonaler und horizontaler Richtung mittels Dehnungsmessstreifen aufgezeichnet. Nach den einzelnen Belastungsphasen sowie nach Abschluss der Gesamtbelastung wurden die Beschichtungen auf optische Mängel untersucht. Jeweils zwei Tage nach Beendigung der Lastaufbringung wurden 9 Haftzugprüfungen an jedem beschichteten Schacht durchgeführt.

### 3.1.1 Mörtelbeschichtungen

Durch die dynamische Belastung mit 100 kN und einer Million Lastwechseln eines mit Mörtel beschichteten Schachtes, bei dem undichte Ringfugen, ansonsten aber eine unbeschädigte Wandung vor Beschichtungsauftrag vorlag, ergaben sich keine optisch erkennbaren Mängel in der Beschichtung. Die zwei weiteren Schächte, in die vor der Beschichtung weitere Schadensbilder, wie punktuelle Undichtigkeiten und flächige Ausbrüche in der Wandung, eingebracht worden waren, zeigten nach der gleichen Belastungsintensität Undichtigkeiten und Risse in der Beschichtung. Eine Steigerung der Last auf 200 kN und 300 kN führte nicht zu weiteren optisch erkennbaren Schäden. Die gemessenen **Haftzugwerte** der Mörtelbeschichtungen nach den dynamischen Belastungen wiesen starke Schwankungen auf, es wurden Werte von  $0,2 \text{ N/mm}^2$  bis  $2,3 \text{ N/mm}^2$  gemessen. Deutlich niedrigere Haftzugfestigkeiten von im Mittel  $0,5 \text{ N/mm}^2$  wurden an der Mörtelbeschichtung des Schachtes ermittelt, der einer intensiveren Belastung von bis zu 300 kN ausgesetzt worden war. Keine der Mörtelbeschichtungen erfüllte die Anforderungen der maßgeblichen Richtlinien<sup>a</sup>.

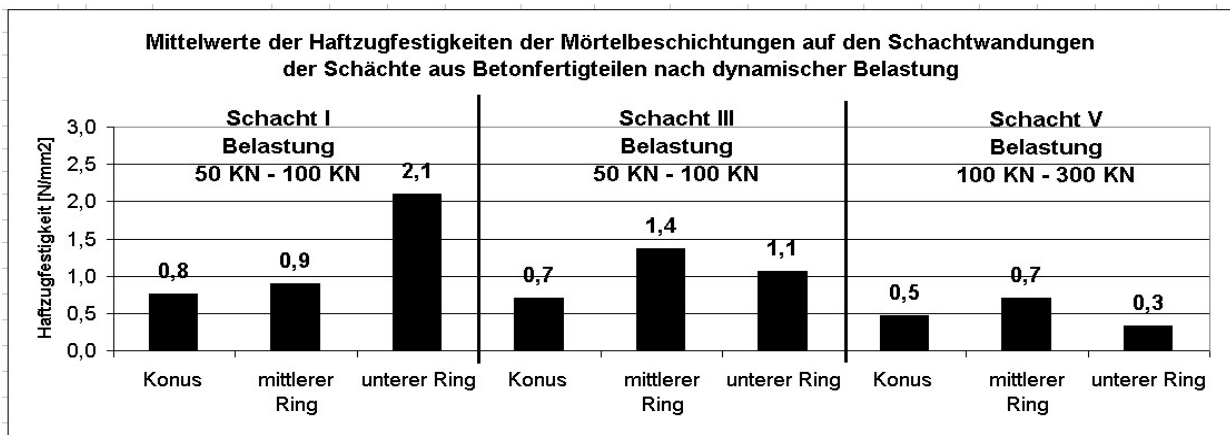


Abb. 17: Mittelwerte der **Haftzugfestigkeiten** der **Mörtelbeschichtungen** auf den Schachtwänden der Schächte aus Betonfertigteilen nach dynamischer Belastung (ermittelt in Anlehnung an ZTV-SIB90 [12] bzw. DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [13])

Die dynamische Belastung des Schachtes bewirkte nur geringe **Dehnungen in der Mörtelbeschichtung**. Die daraus resultierenden **Spannungen** in der Mörtelbeschichtung erreichten

a Mindesthaftzugfestigkeiten nach ZTV-SIB90 [12] und Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb [13]: Im Mittel  $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$  mit einem kleinsten Einzelwert von  $1,0 \text{ N/mm}^2$ .



selbst bei 300 kN Auflast weniger als ein Prozent der im Rahmen der In-situ-Untersuchungen ermittelten Mörtelfestigkeiten.

### 3.1.2 Polyurethanbeschichtungen

Intensive dynamische Belastungen von bis zu einer Million Lastwechseln und bis zu 200 kN zeigten - für die hier untersuchten Schadensbilder und Betonfertigteilschächte –keine negativen Auswirkungen auf die **Qualität** der Polyurethanbeschichtung. An keinem der untersuchten Schächte entstanden während der dynamischen Belastung Risse oder Undichtigkeiten in der Beschichtung. Direkt nach der Beschichtung eines Schachtes bildete sich eine Blase in der Beschichtung. Zu vermuten ist, dass das Polyurethan mit dem vorher auf die Schachtwandung aufgetragenen fettlösenden Reinigungsmittel oder dem Reparaturmörtel reagiert hat. Die gemessenen **Haftzugwerte** waren auch nach den dynamischen Belastungen grundsätzlich hoch, die Anforderungen der maßgeblichen Richtlinien<sup>a</sup> wurden bis auf einen Einzelwert erfüllt. In den Bereichen der Schachtwandung, die vor Aufbringung des Polyurethans mit Mörtelprodukten bearbeitet worden waren, lag der Bruch bei Prüfung der Haftzugfestigkeit immer im Mörtel. Die höchsten Haftzugfestigkeiten wurden an den Stellen gemessen, an denen die Polyurethanbeschichtung direkt auf die Betonwandung aufgebracht worden war. Selbst unter **extremen Belastungen** (300 kN, Bruch des Schachtdeckels, Drehung des Konus) blieb die Beschichtung dicht und riss im Übergangsbereich Konus – Schachtring nicht ein. Die Haftzugfestigkeit war allerdings mit durchschnittlich 0,7 N/mm<sup>2</sup> deutlich herabgesetzt.

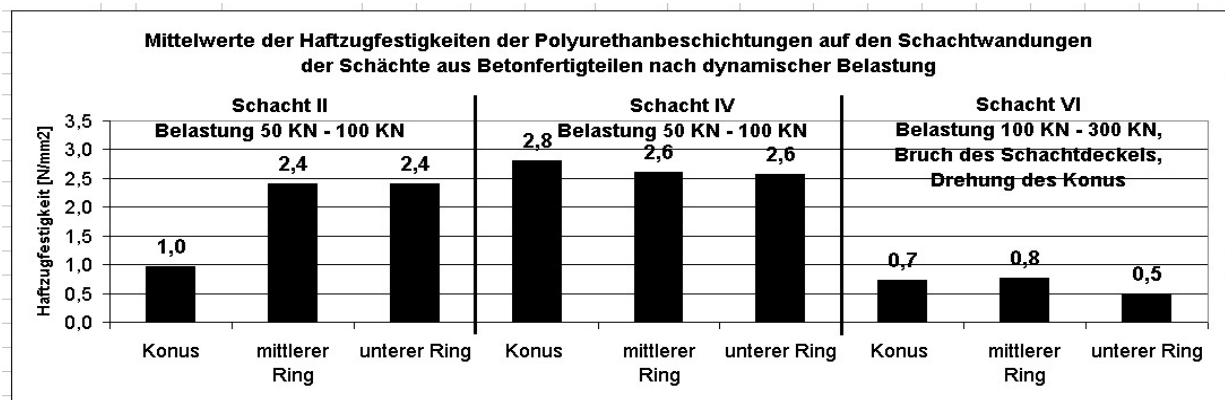


Abb. 18: Mittelwerte der **Haftzugfestigkeiten** der **Polyurethanbeschichtungen** auf den Schachtwandungen der Schächte aus Betonfertigteilen nach dynamischer Belastung (ermittelt in Anlehnung an ZTV-SIB90 [12] bzw. DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [13])

Die dynamische Belastung des Schachtes bewirkte größere **Dehnungen in der Polyurethanbeschichtung**. Die daraus resultierenden **Spannungen** in der Polyurethanbeschichtung erreichten aber selbst bei 300 kN Auflast weniger als ein Prozent der im Rahmen der In-situ-Untersuchungen ermittelten Polyurethan-Zugfestigkeiten.

a Mindesthaftzugfestigkeiten nach ZTV-SIB90 [12] und Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb [13]: Im Mittel  $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$  mit einem kleinsten Einzelwert von  $1,0 \text{ N/mm}^2$ .

### 3.2 Verbundverhalten auf wassergelagerten Schachtelementen aus Beton

Im Rahmen der Untersuchungen zum Verbundverhalten von Beschichtungen wurden Schachtelemente aus Beton mehrere Tage unter Wasser gelagert und anschließend von Fachfirmen beschichtet. Nach einer erneuten Wasserlagerung einiger der beschichteten Elemente wurden die Beschichtungen optisch inspiziert und Haftzugprüfungen durchgeführt.



Abb. 19: Wasserlagerung und Beschichtung der Probekörper. **A:** Vollständige Wasserlagerung der Schachtelemente. **B:** Mörtelbeschichtung im händischen Auftrag. **C:** Polyurethanbeschichtung im Aufspritzverfahren.

Ziel war es, eine erste Einschätzung des Verbundverhaltens von Mörtel- und Polyurethanbeschichtungen auf nahezu vollständig mit Wasser gesättigten Schachtelementen aus Beton, wie sie z.B. häufig im Sohlenbereich der Schächte vorzufinden sind, zu gewinnen. Um zusätzlich den Einfluss verschiedener Oberflächenrauigkeiten auf den Haftverbund einschätzen zu können, wurden Schachtelemente mit verschiedenen Betonqualitäten (nach [27] bzw. [28]) eingesetzt. Die insgesamt zehn Schachtelemente wurden zwanzig Tage in Anlehnung an [29] unter Wasser gelagert, mittels Wasserhochdruck mit Handlanze gereinigt, und anschließend von Fachfirmen mit zwei verschiedenen Mörtel- und zwei verschiedenen Polyurethanprodukten beschichtet. Um auch die Auswirkung einer erneuten Wasserbelastung der Fuge zwischen Beschichtung und Betonuntergrund kurz nach der Beschichtung berücksichtigen zu können, wurden sechs der beschichteten Schachtelemente ab ca. eine Stunde nach der Beschichtung erneut unter Wasser gelagert.

#### 3.2.1 Mörtelbeschichtungen

In den Mörtelbeschichtungen, die nach der Beschichtung außerhalb des Wassers gelagert worden waren, zeigten sich bei der optischen Inspektion 28 Tage nach Beschichtungsauftrag trotz Abdecken der Schachtelemente mit einer Plane und Befeuchten der Beschichtung (alle 48 h) feine Risse sowie eine teilweise Ablösung der Mörtelbeschichtung von dem Betonuntergrund. Diese Mängel waren bei den unter Wasser gelagerten Beschichtungen nicht vorhanden. Somit zeigte sich erneut der große Einfluss einer umfassenden **Nachbehandlung** auf die Qualität von Mörtelbeschichtungen. Auch ist nicht auszuschließen, dass sich die von der Schachtfirma bei einem Produkt gewählte **Zugabe von Mischöl** negativ auf die Verbundwirkung der Mörtelbeschichtungen auswirkte.

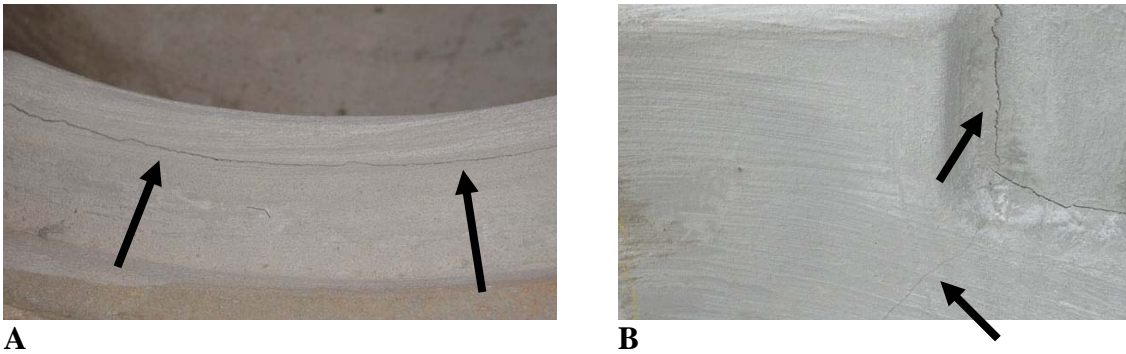


Abb. 20: Rissbildung an Mörtelbeschichtungen 28 Tage nach der Beschichtung. **A:** Spaltbildung zwischen Mörtelbeschichtung und Betonwandung. **B:** Risse in der Mörtelbeschichtung.

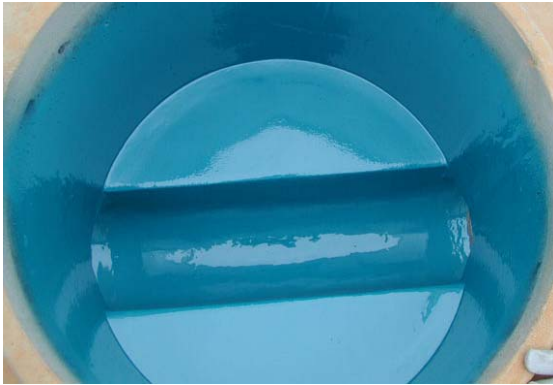
Die ermittelten **Haftzugwerte** lagen allerdings auch bei dem ohne Mischöl verarbeiteten Mörtel i.d.R. deutlich unterhalb den Anforderungen, die an Mörtelbeschichtungen auf Betonuntergründen gestellt werden<sup>a</sup>. Auch die angegebenen Werte der Hersteller wurden deutlich unterschritten (vgl. Angaben in [20] und [21]). Vor allem auf den sehr glatten Wandungen des Schachttyp 1 konnten nur geringe Haftzugfestigkeiten von maximal  $0,3 \text{ N/mm}^2$  erreicht werden. In einem Schachtelement lösten sich sämtliche Probekörper direkt bei Anbohren der Beschichtung zur Vorbereitung der Haftzugprüfung. Eine Wassersättigung der Beschichtung bzw. der Fuge zwischen Beschichtung und Beton ab ca. 1 h nach Ausführung der Beschichtung hatte keine negative Auswirkung auf den Verbund zwischen Mörtel und Beton. Im Gegenteil: die Haftzugwerte waren bei den Schachtelementen, die nach der Beschichtung unter Wasser gelagert wurden, in der Regel höher als bei den beschichteten Elementen, die außerhalb des Wassers gelagert wurden.

### 3.2.2 Polyurethanbeschichtungen

Bei den Polyurethanbeschichtungen waren sehr **große Unterschiede** zwischen den Produkten bereits beim Auftragen des Beschichtungsmaterials zu erkennen. Während ein Produkt mit Blasenbildung auf einen hohen Feuchtegehalt des Betonuntergrundes reagierte, kam es bei dem anderen Produkt zu keinen optisch erkennbaren Reaktionen. Auch bei den 28 Tage nach Beschichtungsauftrag gemessenen **Haftzugfestigkeiten** wurden große Unterschiede zwischen den untersuchten Produkten festgestellt. So konnte mit einem Produkt auf glattwandigen Betonoberflächen mit einer Untergrundfeuchtigkeit von ca. 6 Masse% ein sehr guter Verbund mit Werten von durchschnittlich ca.  $3,2 \text{ N/mm}^2$  festgestellt werden. Die Anforderungen der maßgeblichen Richtlinien<sup>a</sup> wurden damit erfüllt und die Angaben des Herstellers (vgl. [24]) deutlich übertroffen. Mit dem anderen Produkt wurden unter den gleichen Bedingungen Haftzugfestigkeiten von durchschnittlich ca.  $1,2 \text{ N/mm}^2$  erzielt und die Anforderungen der maßgeblichen Richtlinien somit nicht erfüllt. Auf sehr feuchten Oberflächen (Feuchtegehalt ca. 10

<sup>a</sup> Mindesthaftzugfestigkeiten nach ZTV-SIB90 [12] und Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb [13]: Im Mittel  $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$  mit einem kleinsten Einzelwert von  $1,0 \text{ N/mm}^2$ .

Masse%) erfüllten beide Polyurethanprodukte die Anforderungen der maßgeblichen Richtlinien nicht, die gemessenen Haftzugwerte waren deutlich geringer bzw. es war bei einem Produkt in vielen Fällen kein Verbund zum Untergrund vorhanden. Eine Wasserbelastung der Beschichtung bzw. der Fuge zwischen Beschichtung und Beton ca. 1 h nach Aufbringen der Beschichtung schien keine negativen Auswirkungen auf den Verbund zum Untergrund zu haben.



**A**



**B**

*Abb. 21: Optisch erkennbare Unterschiede bei den Polyurethanbeschichtungen auf wasser-  
gelagerten Schachtelementen aus Beton. A: Beschichtung in einwandfreiem Zustand.  
B: Blasenbildung im Gerinnebereich.*



## 4 Ergänzende Untersuchungen

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse der In-situ-Untersuchungen und der Laborversuche ergaben sich, auch im Gespräch mit den projektbeteiligten Netzbetreibern, zusätzliche Fragestellungen bzgl. der Mindesthaftzugfestigkeiten von Mörtelbeschichtungen, des Einflusses der Reinigungsmethode und des Einflusses des Außenklimas auf den Aushärteprozess von Mörtelbeschichtungen in Abwasserschächten. Darüber hinaus zeigte sich, dass einige Netzbetreiber Mörtelbeschichtungen in Kombination mit Auskleidungssystemen einsetzen, um Kosten gegenüber einer Vollauskleidung der Schächte einzusparen. Um auch diese Fragestellungen berücksichtigen zu können, wurden ergänzende Untersuchungen durchgeführt.

### 4.1 Numerische Untersuchungen zu Haftzugspannungen

Im Rahmen der numerischen Untersuchungen zur Haftzugspannung wurden verschiedene Lastfälle simuliert, die auf eine Mörtelbeschichtung in einem Abwasserschacht aus Betonfertigteilen wirken können. Ziel war es, die in der Fuge zwischen Mörtelbeschichtung und Schachtwandung aus Beton resultierenden Haftzugspannungen abzuschätzen. Dies vor allem vor dem Hintergrund, dass sich die derzeit geforderten Mindesthaftzugfestigkeiten an den Anforderungen des Hoch- und Brückenbaus orientieren (vgl. [12] und [13]). Hierzu wurden vom Lehrstuhl für Statik und Dynamik an der Ruhr-Universität-Bochum (Prof. Dr. Günther Meschke) zweidimensionale numerische Berechnungen auf der Grundlage der Finite Elemente Methode durchgeführt (vgl. [30]). Deren wesentliche Ergebnisse sind nachfolgend für den vorliegenden Anwendungsfall zusammengefasst.

Beispielhaft wurde ein Schacht nach DIN V 4034 [28], d.h. mit einem Innendurchmesser von 1000 mm und einer Wanddicke von 120 mm, untersucht und die Mörtelschicht zu 20, 30 bzw. 40 mm angenommen. Berücksichtigung fanden die Lastfälle Erddruck, Grundwasserdruck, Verkehrslasten sowie Austrocknung des Mörtels. Der dreidimensionale Charakter von Beanspruchungen, wie sie z.B. durch konzentriert angreifende Verkehrslasten oder durch Grundwasserbelastungen hervorgerufen werden können, blieb unberücksichtigt. Weiterhin wurden die Veränderungen der mechanischen Eigenschaften des Mörtels im Zuge der Hydratation nicht berücksichtigt. Die gewählten Materialparameter für den Altbeton sowie für die Mörtelbeschichtung sind in Tabelle 14 zusammengefasst. Insgesamt wurden fünf Lastfälle untersucht. Eine Übersicht gibt Tabelle 15.

Tabelle 14: Gewählte Materialparameter für Altbeton und Beschichtungsmörtel

Materialparameter	Symbol [Einheit]	Altbeton	Beschichtungsmörtel
Elastizitätsmodul	$E$ [N/mm <sup>2</sup> ]	33.500 <sup>a)</sup>	28.000 <sup>e)</sup>
Querdehnungszahl	$\nu$ [-]	0,2 <sup>d)</sup>	0,2 <sup>d)</sup>
Druckfestigkeit	$f_{cu}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	35 <sup>a)</sup>	62 <sup>e)</sup>
Zugfestigkeit	$f_{ct}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	3,2 <sup>a)</sup>	8,9 <sup>e)</sup>
Porosität	$\phi_0$ [-]	0,146 <sup>b)</sup>	0,208 <sup>f)</sup>
initiale Durchlässigkeit	$k_0$ [mm <sup>2</sup> ]	$1,648 \cdot 10^{-15}$ b)	$5,549 \cdot 10^{-11}$ f)

a) Materialparameter eines Beton C 35/45 (vgl. Standardqualität Schachtfertigteile aus Beton in DIN V 4034 [27]).

b) Abschätzung auf Basis von Versuchsreihen, u.a. am Institut für Bauphysik der Universität Leuven (Belgien), [31], vgl. auch [32].

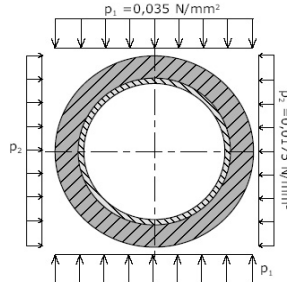
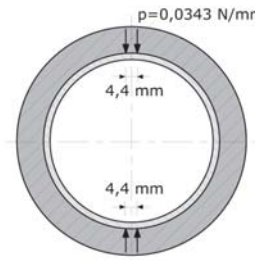
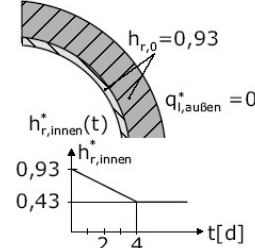
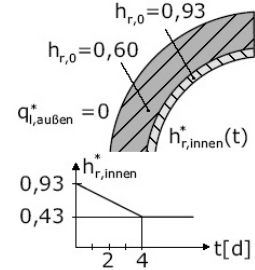
c) Mittelwert der im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes an drei Mörtelproben ermittelten Elastizitätsmodule.

d) Angaben aus [33].

e) Herstellerangaben über die Materialkennwerte eines marktüblichen Beschichtungsmörtels [20].

f) Abschätzung aus umfangreichen Versuchsreihen, u.a. am Institut für Bauklimatik an der TU Dresden [31].

Tabelle 15: Bei den numerischen Untersuchungen berücksichtigte Lastfälle

Lastfälle	Lastannahme	Abbildungen (aus [30])
<p><b>Lastfall 1:</b> Erdruck</p>	<p>Erddruck auf den Schacht von außen in einer Tiefenlage von 3,5 m gemäß Anhang K der DIN V 4034 [27]</p>	
<p><b>Lastfall 2:</b> Grundwasserdruck</p>	<p>Auf eine Fläche von 0,20 cm<sup>2</sup> auf die Mörtelbeschichtung wirkender Grundwasserdruck von außen in einer Tiefenlage von 3,5 m, der durch zwei Einzelbelastungen idealisiert wird.</p>	
<p><b>Lastfall 3:</b> Austrocknung nach Auftrag auf durchfeuchteten Betonuntergrund</p>	<p>Simulation einer Austrocknung der Mörtelbeschichtung (Annahme der Wassersättigung des Mörtels zu 93 %) durch Absenken der relativen Luftfeuchte von 93 % innerhalb von 4 Tagen auf 43 % (ausgehend von einem vollkommen durchfeuchteten Betonuntergrund mit einem Porenwassergehalt von 93 %). Der Feuchtefluss an der erdberührten Außenseite des Schachtes wird dabei zu Null angenommen.</p>	
<p><b>Lastfall 4:</b> Austrocknung nach Auftrag auf trockenen Betonuntergrund</p>	<p>Simulation einer Austrocknung der Mörtelbeschichtung (Annahme der Wassersättigung des Mörtels zu 93 %) durch Absenken der relativen Luftfeuchte von 93 % innerhalb von 4 Tagen auf 43 % (ausgehend von einem trockenen Betonuntergrund mit einer Wassersättigung von 60 %). Der Feuchtefluss an der erdberührten Außenseite des Schachtes wird dabei zu Null angenommen.</p>	
<p><b>Lastfall 5:</b> Erdruck aus Verkehrslasten</p>	<p>Seitlicher Erdruck aus Verkehrslasten gemäß DIN V 4034 [27] in Verbindung mit dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 [34]. Der Schacht wurde dabei in Anlehnung an [35] entlang dem Umfang als elastisch gelagert angenommen. Die Bettungszahl wurde in Anlehnung an das Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 [34] für einen bindigen Mischboden der Gruppe 3 mit <math>c_f = 5 \text{ N/mm}^2</math> gewählt.</p>	<p>-</p>

Im Ergebnis erwiesen sich die Beanspruchungen infolge der **Austrocknung des Beschichtungsmörtels** als maßgeblich für die Beanspruchung der Haftpuge zwischen Mörtelschicht und Schachtbeton. Die Belastungen durch Erd- und Grundwasserdruck sowie durch seitlichen

Erddruck in Folge von Straßenverkehrslasten sind nur von untergeordneter Bedeutung. Insbesondere der **Feuchtegehalt des Untergrundes** hat großen Einfluss auf die Höhe der auftretenden Spannungen. Wird die Beschichtung auf einen vollständig durchfeuchteten Altbeton aufgebracht, so treten (in den untersuchten Fällen) in der Verbundfuge maximale Haftzugspannungen in der Größenordnung von  $\approx 0,18 - 0,25 \text{ N/mm}^2$  auf, wobei die maximalen Spannungen mit steigender Dicke der Mörtelschicht zunehmen. Wird die Beschichtung auf einen vollständig trockenen Altbeton aufgebracht, so wirken (in den untersuchten Fällen) in der Verbundfuge maximale Haftzugspannungen in der Größenordnung von  $\approx 0,36 - 0,41 \text{ N/mm}^2$ , wobei der kleinste Wert bei  $d = 30 \text{ mm}$  und der größte Wert bei  $d = 40 \text{ mm}$  auftritt. Diese Zugspannungen stellen sich in beiden Austrocknungsszenarien bereits in den ersten Tagen bzw. Wochen ein, d.h. noch vor Erreichen der üblicherweise diskutierten 28-Tage-Festigkeit des Mörtels.

Im Zuge der Austrocknung treten in frühem Stadium der Austrocknung auch **innerhalb der Mörtelschicht große Zugspannungen** in Radialrichtung und in Umfangsrichtung auf, die für die Dauerhaftigkeit von beschichteten Abwasserschächten maßgeblich sein können. Diese Zugspannungen können - auch verstärkt durch Zwangsbeanspruchungen infolge hydrationsbedingtem chemischen Schwinden des Mörtels - zu Mikrorissen in radialer Richtung und damit zu Spannungsumlagerungen führen. Weiterhin wird der Feuchtetransport durch solche Mikrorisse sehr stark beeinflusst, so dass der gesamte Austrocknungsprozess und in weiterer Folge die entstehenden Beanspruchungen der Grenzschicht zwischen Schachtring und Mörtelschicht erheblich beeinflusst werden können. Inwieweit die Veränderung der Materialeigenschaften des Mörtels und der Haftzugfestigkeitswerte sowie chemisches Schwinden im Zuge der Hydratation eine besondere Rolle für die Beurteilung von Schadensrisiken beschichteter Abwasserschächte spielen, ist ggf. auf Basis weiterführender Untersuchungen zu klären. In jedem Fall empfiehlt sich für die als kritisch erkannten Beanspruchungsbilder und typischen räumlichen Belastungen (Verkehrslasten) der Übergang von 2D- zu **3D-Analysen**, um die tatsächliche Geometrie, insbesondere die Verjüngung von Abwasserschächten im oberen Bereich, besser abbilden zu können. Lokale Beanspruchungen in der Umgebung der Lasteinleitung und das Ausmaß möglicher Schädigungen des Schichtmörtels und der Grenzschicht können so zuverlässiger ermittelt werden.

## 4.2 Reinigung unter Beimischung von festem Strahlgut

Bei den Untersuchungen zur Reinigung unter Beimischung von festem Strahlgut wurden Haftzugprüfungen in Anlehnung an ZTV-SIB90 [12] bzw. Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb [13] an vier mit einer zementgebundenen Dichtungsschlämme beschichteten Mauerwerksschächten durchgeführt, die im Vorfeld mit verschiedenen Verfahren gereinigt worden waren. Ziel war es, vor dem Hintergrund der im Rahmen der In-situ-Untersuchungen und Laborversuche gemessenen geringen Haftzugfestigkeiten von Mörtelbeschichtungen, weitere Anhaltspunkte zu dem Einfluss der Untergrundvorbehandlung und speziell einer Reinigung mit Wasserhochdruck unter Beimischung von festem Strahlgut zu erhalten. Es zeigte sich,



dass die Mauerwerksziegel durch eine Beimischung von festem Strahlgut bei der Wasserhochdruckreinigung gut von schwarzen Belägen und Glasuren gereinigt und die Fugen des Mauerwerks effektiver als mit der alleinigen Wasserhochdruckreinigung ausgeräumt werden konnten. Die Ergebnisse der **Haftzugprüfungen** lassen ebenfalls vermuten, dass eine Schachtwandung aus Mauerwerk mit einer (zusätzlichen) Reinigung unter Beimischung von festem Strahlgut besser als mit einer reinen Wasserhochdruckreinigung für die Beschichtung mit zementgebundenen Werkstoffen vorbereitet werden kann. Allerdings zeigte sich deutlich, dass eine Wasserhochdruckreinigung unter Beimischung von festem Strahlgut mit vorhandenem Gerät aufgrund der beengten Platzverhältnisse in einem Abwasserschacht schwierig ist (vgl. Abb. 22). Hier bietet sich eine **Geräteentwicklung** an. Ein Ansatzpunkt könnte die Modifizierung der rotierenden Reinigungsdüse sein, um das Strahlgut maschinell auf die Schachtwandung aufbringen zu können.

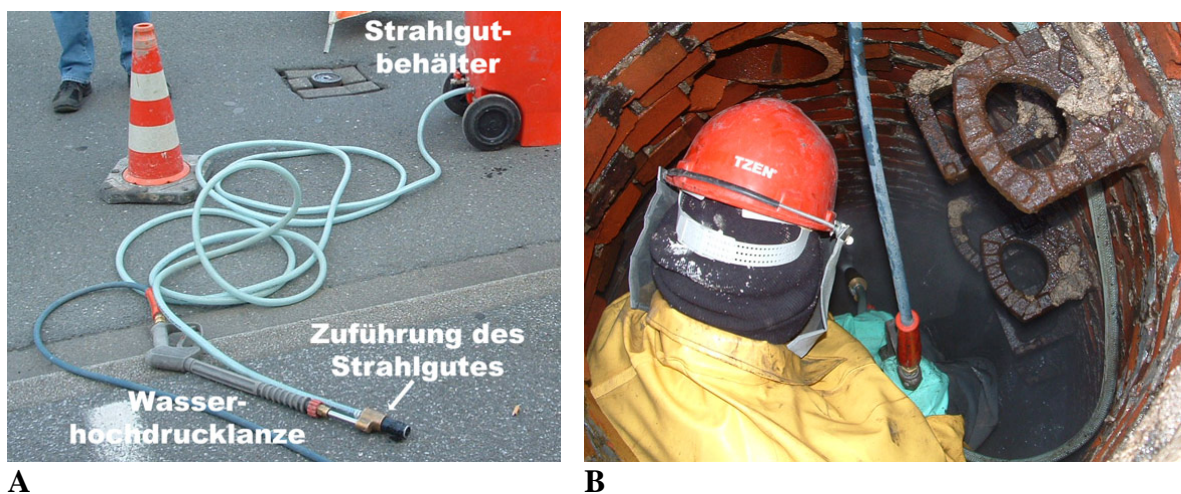


Abb. 22: Reinigung einer Schachtwandung mit Wasserhochdruck unter Beimischung von festem Strahlgut. A: Wasserhochdrucklanze mit Strahlgutzuführung. B: Ausführung der Reinigung in einem Schacht.

### 4.3 Einfluss des Außenklimas

Im Rahmen der Untersuchungen zum Einfluss des Außenklimas wurde die Temperatur und Luftfeuchte in vier Schächten während des normalen Betriebs über einen Zeitraum von mehreren Tagen aufgezeichnet und den außerhalb des Schachtes ermittelten Werten gegenübergestellt. Ziel der Untersuchungen war es, den Einfluss des Außenklimas auf das Klima und letztendlich auf den Aushärtvorgang einer Mörtelbeschichtung in einem geschlossenen Abwasserschacht abschätzen zu können. Dies vor dem Hintergrund, dass während der Sanierungsarbeiten im Rahmen der In-situ-Untersuchungen nur geringe Abweichungen zwischen den Temperaturen und Luftfeuchten innerhalb und außerhalb des Schachtkörpers gemessen und in fast allen Fällen nahezu keine bzw. nur unzureichende Nachbehandlungsmaßnahmen ergriffen worden waren, um die Mörtelbeschichtungen vor einem zu schnellen Austrocknen zu schützen. Für die Messungen wurden Datenlogger im mittleren Bereich der Schächte an die Wandung angebracht. Mit einem externen Sensor wurde zusätzlich die Temperatur im

oberen Drittel des Schachtkörpers dokumentiert. Um die aufgezeichneten Werte mit dem lokalen Außenklima vergleichen zu können, wurden Wetterdaten von Messstationen des deutschen Wetterdienstes, die sich in räumlicher Nähe der untersuchten Schächte befanden, herangezogen. Als Fazit der Untersuchungen kann festgehalten werden, dass das Außenklima einen deutlichen Einfluss auf das Klima im geschlossenen Schacht haben kann. Die im Rahmen der Untersuchungen in der Mitte der Schächte gemessenen Temperaturen von 9,8°C bis 21,4°C sowie die teilweise geringen gemessenen Luftfeuchtigkeiten von ca. 47 % rel. Feuchte wichen deutlich von den nach [19] angenommenen Bedingungen in Abwasserkanälen ab. Grundsätzlich sollten daher **umfangreiche Nachbehandlungsmaßnahmen** bei Mörtelbeschichtungen in Abwasserschächten zum Schutz der Austrocknung des Mörtels vorgesehen werden.

#### 4.4 Kombiniertes Einsatz mit PE-HD-Auskleidungssystemen

In vier Schächten, bei denen Mörtelbeschichtungen in **Kombination mit Auskleidungssystemen aus PE-HD** eingesetzt worden waren, um Kosten gegenüber einer Vollauskleidung der Schächte einzusparen, wurden ca. 6 Monate nach Ausführung der Sanierung optische Inspektionen und Wasserdichtheitsprüfungen gemäß ATV-M 143, Teil 6 [14] und DIN EN 1610 [15] durchgeführt. Zwei Schächte bestanden die Dichtheitsprüfung nach ATV-M 143, Teil 6, allerdings zeigten sämtliche Schächte offensichtliche Mängel wie Risse, Hohlstellen oder Undichtigkeiten. Die optische Inspektion (einschließlich Abklopfen der Wandung) bestätigte – auch für die als dicht geprüften Schächte –, dass insbesondere im Bereich des Überganges zwischen PE-HD-Auskleidung und Mörtelbeschichtung Mängel zu erwarten sind. Offen bleibt allerdings, ob es sich hierbei um Ausführungsmängel oder grundsätzliche Schwächen dieser Verfahrens- bzw. Materialkombination handelt. Hier könnten ggf. detaillierte Materialuntersuchungen an Probekörpern des Übergangsbereiches für die jeweiligen Sanierungssysteme und Mörtel zu weiteren Erkenntnissen führen.

## 5 Qualitätseinflüsse und Einsatzgrenzen

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse des Forschungsvorhabens bleibt festzustellen, dass die untersuchten Beschichtungsverfahren **grundsätzlich geeignet** sein können, die Dichtheit und Funktionsfähigkeit sowohl von Mauerwerksschächten als auch von Schächten aus Betonfertigteilen wiederherzustellen. Allerdings unterstreicht die in der Mehrzahl der untersuchten Fälle geringe Sanierungsqualität auch, dass die bisherigen **Maßnahmen zur Qualitätssicherung** gerade mit Blick auf die gegenwärtige Ausführungspraxis **stark verbesserungswürdig** sind. Entsprechend werden im Folgenden wesentliche Hinweise zur Qualitätssicherung von Beschichtungsmaßnahmen in Abwasserschächten zusammengefasst. Diese bieten sich insbesondere als Basis an, um im Einzelfall geeignete **Prüfkriterien und Qualitätssicherungsmaßnahmen** auszuwählen und angepasste **Ausschreibungstexte und Vertragsbedingungen** zu formulieren.

In der Phase der **Sanierungsvorbereitung** sollte der zu sanierende Schacht **detailliert optisch inspiziert** werden. Die Inspektion sollte idealerweise bei hohen Grundwasserständen erfolgen, um Undichtigkeiten im Schachtkörper besser erkennen zu können. Dabei ist auch der Zustand der angrenzenden Haltungen sowie der weiteren Zuläufe in der Schachtwandung zu dokumentieren. Wenn Schäden oder Undichtigkeiten in den angrenzenden Haltungen zu erkennen sind, sollte die Schachtsanierung idealerweise in die Sanierung des Gesamtsystems integriert werden. Schadhafte Zuläufe in der Schachtwandung sind vor Ausführung der Beschichtung zu sanieren. **Steigeisen bzw. –bügel** sollten vor der Beschichtung demontiert werden. Nach dem Beschichtungsauftrag ist der Einsatz einer Steigleiter besonders zu empfehlen, da der Beschichtungskörper hier bei der Befestigung nur an wenigen Stellen durchbrochen werden muss.

Bei der **Prüfung der Abreißfestigkeit** zur Beurteilung der Untergrundfestigkeit ist zu beachten, dass der Aushärteprozess des Klebers durch die i.d.R. hohe Luftfeuchtigkeit der Schachtwandung negativ beeinträchtigt werden kann. Daher empfiehlt es sich auch grundsätzlich, den Schacht mindestens einen Tag vor Ausführung der Prüfungen zu reinigen und die Prüffläche vor Beginn der Prüfung zu trocknen. Grundsätzlich ist der Schacht vor zulaufendem Regenwasser zu schützen. Die i.d.R. notwendige Aushärtezeit von ca. 3 h sollte bei der Sanierungsplanung berücksichtigt werden.

Speziell die **derzeitige Ausführungspraxis** unter den besonderen Randbedingungen in Abwasserschächten scheint einen starken Einfluss auf das Sanierungsergebnis zu haben. Hier sind vor allem verfahrenstechnische Schwächen in der Untergrundvorbereitung, die Nicht-Einhaltung von Herstellervorgaben bzw. den Anforderungen der maßgeblichen Richtlinien während des gesamten Sanierungsprozesses und die fehlende Kontrolle des Sanierungserfolges zu nennen. Dies verschärft sich beim Einsatz vom Mörteln insbesondere durch die händische Verarbeitung vor Ort, die langsame Aushärtung des Materials und die hohen Anforderungen an die Nachbehandlung. Eine gegenüber der derzeitigen Praxis intensivere **Bauüber-**

**wachung** ist unbedingt zu empfehlen. Durch die Beachtung einiger wesentlicher Punkte während der Sanierungsausführung kann die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Sanierung bereits deutlich gesteigert werden:

- Vor dem Beschichtungsauftrag sollte eine **detaillierte Inspektion der gereinigten Schachtwandung** durchgeführt werden, um Schmutzrückstände, Beläge bzw. einen zu geringen Materialabtrag erkennen zu können und ggf. weitere Maßnahmen einzuleiten.
- Der Feuchtegehalt des Untergrundes vor Auftrag der Beschichtung sowie die Austrocknung des Mörtels haben einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der in der Verbundfuge sowie in der **Mörtelbeschichtung** auftretenden Spannungen, die zu einem Ablösen der Beschichtung bzw. zu Rissen in der Beschichtung führen können. Daher sollte in stärkerem Maße als bisher auf einen feuchten Untergrund, das Feuchthalten des Mörtels bereits während des Auftrags und vor allem auf die Verhinderung einer frühzeitigen Austrocknung während des Aushärtungsprozesses durch entsprechende **Nachbehandlungsmaßnahmen**, wie z.B. das Auftragen eines Nachbehandlungsmittels auf die Beschichtung, geachtet werden.
- Die Untergrundfeuchte kann einen maßgeblichen Einfluss auf die Qualität von **Polyurethanbeschichtungen** haben. Umfangreiche Nachbehandlungsmaßnahmen scheinen allerdings nicht erforderlich zu sein. Hier empfiehlt es sich insbesondere, nach Auftrag der Beschichtung den gesamten **Beschichtungskörper detailliert optisch zu inspizieren**, um Fehlstellen in der Beschichtung erkennen und direkt beseitigen zu können.

Bzgl. des **Materialverhaltens** sowie der **Einsatzgrenzen der Verfahren** lassen sich die folgenden Aussagen treffen:

- Bei den **Polyurethanbeschichtungen** sind **große Unterschiede zwischen den einzelnen Produkten** erkennbar. Während ein Produkt mit Blasenbildung auf einen hohen Feuchtegehalt des Untergrundes reagierte, kam es bei einem weiteren Produkt zu keinen optisch erkennbaren Reaktionen.
- Bei den untersuchten Polyurethanen war die Verbundfestigkeit auf sehr feuchten Untergründen stark herabgesetzt. Grundsätzlich wurden wesentlich geringere Haftzugfestigkeiten auf Mauerwerk gemessen und in Ausnahmefällen Ablösungen beobachtet. Selbst durch den Einsatz von Heißluftgebläsen konnte in einigen Fällen der zulässige Wert für die maximale Untergrundfeuchte nicht erreicht werden. Daher scheint ein Einsatz von **Polyurethan zur Beschichtung feuchter Mauerwerksschächte nicht empfehlenswert**.
- Vor dem Auftrag einer Polyurethanbeschichtung bzw. einer Mörtelbeschichtung im Anschleuderverfahren in **Mauerwerksschächten mit Fugenkorrosion und in Schächten aus Betonfertigteilen mit Korrosion** ist häufig der händische Auftrag einer flächigen **Vorbeschichtung** aus mineralischem Mörtel zum Oberflächenausgleich bzw. zum Ver-



füllen der Fugen erforderlich. Da diese Arbeiten einen Großteil des insgesamt anfallenden Arbeitsaufwandes umfassen können und die Haftzugfestigkeit dieser ersten Schicht durch einen nachfolgenden maschinellen Auftrag einer Beschichtung nicht gesteigert werden kann, ist **in diesen Fällen die Notwendigkeit einer Beschichtung mit Polyurethan bzw. einer Mörtelbeschichtung im Anschleuderverfahren zu hinterfragen.**

- Darüber hinaus besteht ein Widerspruch zwischen den o.a. Erfordernissen des (Vorbeschichtungs)mörtels während des Aushärtungsprozesses und der erforderlichen Untergrundtrockenheit für die Beschichtung mit Polyurethan. Durch einen Einsatz von Heißluftgebläsen kann die Aushärtung und damit die Festigkeit der mineralischen Vorbeschichtung, die den Untergrund für die nachfolgende Polyurethanbeschichtung bildet, beeinträchtigt werden. Daher sollte der **Auftrag der Polyurethanbeschichtung** im Idealfall **erst nach der vollständigen Aushärtung der mineralischen Vorbeschichtung** erfolgen.
- Grundsätzlich scheint die derzeit übliche **Vorreinigung der Schachtwandung** mit Wasserhochdruck unter den Bedingungen in einem Abwasserschacht nur selten geeignet zu sein, eine ausreichende Rautiefe für eine Mörtelbeschichtung zu erzielen bzw. die Fugen in Mauerwerksschächten in ausreichender Tiefe auszuräumen und schwarze Beläge und Glasuren von den Mauerwerksziegeln zu entfernen. Bei einer Wasserhochdruckreinigung unter Beimischung von festem Strahlgut können zwar bessere Ergebnisse erzielt werden, die Ausführung mit vorhandenem Gerät ist allerdings schwierig, auch hinsichtlich der Arbeitsbedingungen des ausführenden Technikers. Hier bietet sich eine **Geräteentwicklung** an. Ein Ansatzpunkt könnte die Modifizierung der rotierenden Reinigungsdüse sein, um das Strahlgut maschinell auf die Schachtwandung aufbringen zu können.

Für die **Bauabnahme** ist in erster Linie eine intensive **optische Inspektion** des Schachtkörpers **nach mehreren Monaten** zu empfehlen. Der Zustand einer Beschichtung sollte dann durch Inaugenscheinnahme des gesamten Schachtbauwerkes einschließlich Einbindungsbereichen, Gerinne und Steigeisen erfasst und fotografisch dokumentiert werden. Folgende Punkte sollten dabei beachtet werden:

- **Kritische Bereiche** liegen i.d.R. insbesondere im unteren Bereich des Schachtkörpers, bei der Einbindung der Zu- und Abläufe sowie im Bereich der Steigeisen.
- Es zeigte sich, dass eine **Wasserdichtheitsprüfung** im Schacht nicht immer zuverlässige Aussagen zum Erfolg einer Beschichtungsmaßnahme liefert. Es ist insbesondere zu vermuten, dass die Prüfergebnisse z.B. aufgrund von Umläufigkeiten im Bereich der Absperrblasen häufig nicht verwertbar sind. Oft stehen die Kosten nicht im Verhältnis zum Nutzen. Nur wenn auch der Sohlenbereich einschließlich Gerinne sowie die einbindenden Kanalhaltungen saniert wurden, kann eine Prüfung mit Luft- bzw. Wasserdruck in Einzelfällen zielführend sein. Grundsätzlich scheint dann eine Wasserdichtheitsprüfung gemäß ATV-M 143, Teil 6 kombiniert mit einer umfassenden optischen Inspektion des oberen

Schachtkörpers sinnvoll. Idealerweise sollte diese Untersuchung bei hohen Grundwasserständen durchgeführt werden, damit Fehlstellen in der Beschichtung auch durch Wassereintritt erkannt werden.

- Grundsätzlich zeigten sich zahlreiche Mängel an Mörtelbeschichtungen erst bei der **zweiten optischen Inspektion, 6 (3) Monate nach der Beschichtungsmaßnahme**. Dies wurde auch dadurch bestätigt, dass sich die für eine Rissbildung bzw. ein Ablösen der Beschichtung maßgeblichen Spannungen bei den Mörtelbeschichtungen rechnerisch erst nach einigen Tagen bzw. Wochen einstellen. Mängel an Polyurethanbeschichtungen zeigten sich demgegenüber i.d.R. unmittelbar nach dem Auftragen der Beschichtung bzw. spätestens nach einem Anstieg des Grundwasserstandes. Einflüsse aus Alterung der Materialien wurden im Rahmen der Laufzeit des Vorhabens nicht untersucht.

Grundsätzlich sind die derzeitigen **Mindestanforderungen an die Haftzugfestigkeiten** der Beschichtungen, die sich an den Anforderungen des Hoch- und Brückenbaus orientieren, sowie die **Bedeutung von Haftzugprüfungen als Abnahmekriterium** zu hinterfragen. Obwohl in vielen Fällen die Anforderungen an die Haftzugfestigkeit nicht erfüllt wurden, konnte ein Ablösen der Beschichtung nur in Einzelfällen festgestellt werden. Auch zeigten die numerischen Untersuchungen, dass sich die unter den Bedingungen in einem Abwasserschacht ergebenden Haftzugspannungen bei Mörtelbeschichtungen unterhalb der Anforderungen der maßgeblichen Richtlinien liegen. Grundsätzlich ist aber nicht auszuschließen, dass die Beschichtung während der Haftzugprüfung in einem sanierten Abwasserschacht gerade unter diesen aus den maßgeblichen Belastungen resultierenden Spannungen steht, so dass durch die Prüfung möglicherweise nur die noch zusätzlich aufnehmbaren Reserven gemessen werden. Vor diesem Hintergrund sollte das Ergebnis einer Haftzugprüfung nur als zusätzlicher Hinweis auf die Sanierungsqualität angesehen und das **Hauptaugenmerk auf die optische Inspektion inklusive eines Abklopfens der Beschichtung**, bei dem i.d.R. auch Hohlstellen hinter der Beschichtung festgestellt werden können, gelegt werden.

## 6 Ausblick

Vor dem Hintergrund der im Rahmen des Forschungsvorhabens erzielten Erkenntnisse lassen sich auch zahlreiche noch offene Fragestellungen identifizieren. Als **Ausblick** auf zukünftige Forschungs- und Prüfaktivitäten sind in diesem Zusammenhang die folgenden Punkte zu nennen:

- Durch eine **Langzeit-Beobachtung der In-situ-Beschichtungen**, bei denen keine erkennbaren optischen Mängel festgestellt wurden, könnten weitere Aussagen zur Dauerhaftigkeit von Beschichtungen und speziell zur Bedeutung der Haftzugfestigkeiten getroffen werden. So bietet sich eine detaillierte optische Inspektion der betreffenden Schächte in Abständen von 6 Monaten über einen Zeitraum von mehreren Jahren an.
- Die im Rahmen des vorliegenden Vorhabens beobachteten Erkenntnisse und Tendenzen sollten in weiteren Untersuchungen unter **vergleichbaren Laborbedingungen** überprüft und abgesichert werden. So würde sich auch die Möglichkeit bieten, die Auswirkungen einzelner Maßnahmen auf den Sanierungserfolg unter bestimmten Randbedingungen gezielt zu überprüfen. Unter anderem könnte der Einfluss der Bauausführung und der Nachbehandlung bei der Beschichtung mit Mörteln überprüft und Belastungen aus Grundwasser gezielt simuliert werden.
- Aufgrund der o.a. Schwächen bei der derzeit üblichen **Vorreinigung der Schachtwandung** mittels Wasserhochdruck sollten in weiteren Untersuchungen die Anwendbarkeit und die Auswirkung verschiedener Reinigungsmethoden unter vergleichbaren Randbedingungen überprüft und ggf. neue Gerätetechniken entwickelt werden.
- Da in der Regel bei Sanierungsmaßnahmen - vor allem bei einer Fremdwasserbelastung des Netzes - die Dichtheit des Gesamtsystems aus Schacht und Kanalhaltung im Vordergrund steht, sollte im Rahmen weiterer Untersuchungen überprüft werden, inwieweit es mit den einzelnen Beschichtungsmaterialien unter verschiedenen Randbedingungen möglich ist, eine **dichte und dauerhafte Anbindung der Schachtbeschichtung an angrenzende, ggf. sanierte Kanalhaltungen** herzustellen.
- Die Qualität der optischen Inspektion des Schachtkörpers durch Inaugenscheinnahme bzw. Fotoaufnahmen kann in hohem Maße von der Einsatzbereitschaft des ausführenden Personals abhängen. Besonders der Gerinne- und Sohlenbereich und hier speziell die Zu- und Abläufe sind nur unter besonderem Einsatz in der für eine Beurteilung erforderlichen Qualität zu dokumentieren. Auch vor dem Hintergrund der besonderen Bedeutung einer detaillierten optischen Inspektion des gesamten Schachtkörpers, sowohl bei der Zustandserfassung vor Ausführung der Sanierung als auch zur Beurteilung des Reinigungs- und Sanierungserfolges, bietet sich die Erprobung und ggf. eine gezielte Weiterentwicklung von **alternativen Möglichkeiten der Schachtinspektion** für den vorliegenden Anwendungsfall an.

- Um die Zustandsklassifizierung von Abwasserschächten - auch mit Blick auf das zu wählende Sanierungsverfahren - zu erleichtern, bietet sich eine **Spezifizierung von existierenden Klassifizierungs- und Bewertungsverfahren** wie z.B. ATV-M 149, ISYBAU, KAIN und Stichting Rioned (vgl. [2], [36]), die zum Teil Unklarheiten bei der Anwendung an Schachtbauwerken aufweisen, an.
- Um die **Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Haftzugprüfungen an ebenen Probekörpern** (Laborprüfung) mit denen an gekrümmten Schachtinnenflächen überprüfen zu können, bieten sich vergleichende Labortests, ggf. ergänzt um numerische Untersuchungen, an. Auch empfiehlt sich für die als kritisch erkannten Beanspruchungsbilder und typischen räumlichen Belastungen (Verkehrslasten) der Übergang von 2D- zu 3D-Analysen, um die tatsächliche Geometrie, insbesondere die Verjüngung von Abwasserschächten im oberen Bereich, besser abbilden zu können. Lokale Beanspruchungen in der Umgebung der Lasteinleitung und das Ausmaß möglicher Schädigungen des Schichtmörtels und der Grenzschicht können so zuverlässiger ermittelt werden.
- Inwieweit die Veränderungen der Materialeigenschaften des Mörtels und der Haftzugfestigkeitswerte sowie chemisches Schwinden im Zuge der Hydratation eine Rolle für die Beurteilung von Schadensrisiken beschichteter Abwasserschächte spielen, sollte in weiterführenden werkstofftechnischen und ggf. numerischen Untersuchungen geklärt werden. In ähnlicher Weise ist zu untersuchen, welche Lastfälle für eine **Beschichtung aus Polyurethan** in einem Abwasserschacht maßgebend sein können und wie groß die daraus resultierenden **Belastungen in der Verbundfuge zwischen Beschichtung und Schachtwandung** sind.

Grundsätzlich bietet sich die **Erweiterung der Untersuchung auf andere Schachtsanierungsverfahren** an, um Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu vergleichen.



## 7 Literatur

---

- [1] Bosseler, B., Birkner, T.: Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwVKan) bei den kommunalen Netzbetreibern und Wasserverbänden in NRW; Endbericht des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW, Dezember 2003.
- [2] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisationen. 3. Auflage; Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1998.
- [3] Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitung von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem (Selbstüberwachungsverordnung Kanal - SüwV Kan). - Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Nordrhein-Westfalen, 49 (Nr. 10): S. 64- 67; Düsseldorf 1995.
- [4] Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen - RdErl. D. Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft v. 03.01.1995 - Bekanntmachung im Ministerialblatt für das Land NRW – Nr. 14 vom 10. Februar 1995.
- [5] Bosseler, B.; Homann, D.; Kaltenhäuser, G.: Bundesweite Umfrage zur Sanierung von Schachtbauwerken im Bereich der Abwassertechnik mittels Beschichtungsverfahren; Gelsenkirchen, Juli 2001.
- [6] Bosseler, B.; Puhl, R.: Beschichtungsverfahren zur Sanierung von Abwasserschächten - Studie zu Qualitätseinflüssen und Einsatzgrenzen anhand von Praxis- und Laboruntersuchungen - (Langfassung); Gelsenkirchen, Februar 2005.
- [7] Bielecki, R., Schremmer, H.: Biogene Schwefelsäure-Korrosion in teilgefüllten Abwasserkanälen; Sonderdruck aus H. 94 (1987) der Mitteilungen des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau der TU Braunschweig.
- [8] Neukert, M.; Loos, H.-G.: Schachtbeschichtung mit Oldodur WS 56; Vortrag im Rahmen des IKT-Forum Schacht, September 2002.
- [9] Gesprächsprotokoll der Besprechung mit Mitarbeitern der Firma KUT Kanal- und Umwelttechnik GmbH, Leuna vom 21. Juli 2003.
- [10] Gesprächsprotokoll der Besprechung mit Mitarbeitern der Firma Rainer Kiel Kanalsanierung, Blomberg vom 02. Juni 2003.

- 
- [11] Gesprächsprotokoll der Besprechung mit Mitarbeitern der Firma KS-Kanalsanierung, Freudenberg vom 11. Juni 2003.
- [12] Der Bundesminister für Verkehr: Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (ZTV-SIB); Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund, 1990.
- [13] Deutscher Ausschuß für Stahlbeton (DAfStb): Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs- Richtlinie), Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze, Teil 2: Bauprodukte und Anwendung, Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und Überwachung der Ausführung, Teil 4: Prüfverfahren; Beuth Verlag, Berlin, Oktober 2001.
- [14] ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und –leitungen; Teil 6: Dichtheitsprüfungen bestehender, erd-überschütteter Abwasserleitungen und –kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck; ATV-Merkblatt, Juni 1998.
- [15] DIN EN 1610: Technische Regeln für die Bauausführung von Abwasserleitungen und –kanälen; Beuth Verlag, Oktober 1997.
- [16] DIN 18555: Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln, Teil 1: Allgemeines, Probenahme, Prüfmörtel (09.1982), Teil 2: Frischmörtel mit dichten Zuschlägen; Bestimmung der Konsistenz, der Rohdichte und des Luftgehalts (09.1982), Teil 3: Festmörtel; Bestimmung der Biegezugfestigkeit, Druckfestigkeit und Rohdichte (03.1986), Teil 4: Festmörtel; Bestimmung der Längs- und Querdehnung sowie von Verformungskenngrößen von Mauermörteln im statischen Druckversuch (03.1986), Teil 6: Festmörtel; Bestimmung der Haftzugfestigkeit (11.1987), Teil 7: Frischmörtel; Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens nach dem Filterplattenverfahren (11.1987), Teil 8: Frischmörtel; Bestimmung der Verarbeitbarkeitszeit und der Korrigierbarkeitszeit von Dünnbettmörteln für Mauerwerk (11.1987), Teil 9: Festmörtel; Bestimmung der Fugendruckfestigkeit (09.1999); Beuth Verlag, Berlin.
- [17] Hoppe, F.: Parameter des Hochdruckspülversuches nach dem Hamburger Modell der Stadtentwässerung Hamburg, schriftliche Mitteilung, August 2002.
- [18] WTA-Sachstandsbericht: Messung der Feuchte von mineralischen Baustoffen; erarbeitet durch WTA-Referat 4 Mauerwerk, Arbeitsgruppe 4.11, Fraunhofer IRB Verlag, 2004.
- [19] German Society for Trenchless Technology e.V. (GSTT): Anforderungen an Mörtel für Abwasserkanäle und Bauwerke der Ortsentwässerung, Teil1: Zementgebundene Mörtel;

- Informationen Nr. 18 des Arbeitskreises Nr. 3: Grabenloses Bauen und Leitungsstandhaltung, Dezember 2003.
- [20] Materialdatenblatt Ergelit Kombina KS1, Information der Fa. Rainer Hermes GmbH & Co KG, Schwerte.
- [21] Materialdatenblatt Mapei Sewament 100, Information der Mapei GmbH, Erlenbach.
- [22] Vorläufige Verarbeitungsrichtlinie Oldodur WS 56 Beschichtung, Flüssigkunststoff-Beschichtungssystem für Kanal- Schachtsanierung; Relius Coatings GmbH & Co., Oldenburg, Juli 2001.
- [23] DIN 18551: Spritzbeton; Herstellung und Güteüberwachung; Beuth Verlag, März 1992.
- [24] Polymer Institut: Prüfbericht P2511, Prüfungen an einem Beschichtungssystem für die Kanalsanierung auf Basis von Relius Oldodur WS 56 im Auftrag der Relius Coatings GmbH & Co.; Oldenburg; Juni 2001.
- [25] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Köln (Hrsg.): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen – RstO, 86/89.
- [26] DIN 1072: Straßen- und Wegbrücken, Lastannahmen; Beuth Verlag, Berlin, Dezember 1985.
- [27] DIN V 4034-1: Schächte aus Beton-, Stahlfaserbeton- und Stahlbetonfertigteilen für Abwasserleitungen und –kanäle – Typ 1 und Typ 2; Teil 1: Anforderungen, Prüfungen und Bewertung der Konformität; Beuth Verlag, Berlin, August 2004.
- [28] DIN 4034: Schächte aus Beton- und Stahlbetonfertigteilen, Teil 2: Schächte für Brunnen- und Sickeranlagen; Maße, Technische Lieferbedingungen; Beuth Verlag, Berlin, Oktober 1990.
- [29] RILEM (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures) Technical Committee 14-CPC (Concrete Permanent Committee): Concrete Test Methods, No 11.1: Absorption of water by immersion, in: Materials and Structure No 30, RILEM Publications S.A.R.L., Paris 2002.
- [30] Meschke, G.; Rumans, E.; Gofman, M.: Gutachten und numerische Studie über die Ermittlung von Haftzugspannungen von Mörtelbeschichtungen in Abwasserkanälen aus Betonfertigteilen; im Auftrag des IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur, Bochum, Januar 2005.

- [31] Gesprächsprotokoll des Telefonats mit Herrn Rumanus (Lehrstuhl für Statik und Dynamik an der Ruhr-Universität Bochum) vom 31. Januar 2005.
- [32] Cerny, R.; Rovnanikova, P.: Transport Processes in Concrete; Spon Press, London, New York, 2002.
- [33] Schneider, K.-J. (Hrsg.): Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen; Werner Verlag, Neuwied, 2004.
- [34] ATV-DVWK-A 127: Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen; ATV-DVWK-Arbeitsblatt, 2000.
- [35] Duddek, H.: Empfehlungen zur Berechnung von Tunneln im Lockergestein; in: Die Bautechnik, 10:349–356, 1980.
- [36] Merkblatt ATV-M 149: Zustanderfassung, -klassifizierung und -bewertung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden; ATV-Merkblatt, April 1999.