neutral
unabhängig
gemeinnützig

IKT - Institut für
Unterirdische Infrastruktur

Vergleichende Prüfung der Qualität von Reparaturverfahren für Hauptkanäle

- Projekterweiterung -

Untersuchungen zu Hafteigenschaften von Kurzlinern auf unterschiedlich vorbehandelten Oberflächen und
Einsatz ausgewählter Reparaturverfahren unter äußerem Wasserdruck

AZ I-2 / ZV 2.1 – 06/181.1

Gelsenkirchen, September 2011

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Projektbezeichnung:

Vergleichende Prüfung der Qualität von Reparaturverfahren für Hauptkanäle
- Projekterweiterung -

AZ: I-2 / ZV 2.1 – 06/181.1

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

Auftragnehmer: IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

Wissenschaftliche Leitung: PD Dr.-Ing. Bert Bosseler

Projektleitung und -bearbeitung: Dipl.-Ing. (FH) Kathrin Harting
Dipl.-Ing. Daniela Färber
Dipl.-Ing. Markus Gillar
Marco Bartel

INHALT

1 HINTERGRUND, ZIELSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE 1

2 HAFTWIRKUNG VON KURZLINERN AUF UNTERSCHIEDLICH VORBEHANDELTEN OBERFLÄCHEN 3

2.1 Versuchsprogramm und Vorgehensweise bei den Haftzugprüfungen 3

2.2 Vorversuche – Versuchsdurchführung und Ergebnisse 6

2.2.1 Haftzugprüfungen an Kurzlinern aus Teststrecken des IKT-Warentests 6

2.2.2 Exemplarische Haftzugprüfungen an separat hergestellten Probekörpern 11

2.3 Vergleichende Haftzugprüfungen an vier Kurzlinersystemen 15

2.3.1 Präparieren der Rohroberflächen 16

2.3.2 Vorgehen bei den Kurzlinereinbauten 21

2.3.2.1 ALOCIT-Kurzliner 21

2.3.2.2 3P-Plus-Kurzliner 23

2.3.2.3 K-Liner 25

2.3.2.4 Point-Liner® 27

2.3.3 Ergebnisse der Haftzugprüfungen 31

2.3.3.1 Alocit-Kurzliner 33

2.3.3.2 3P-Plus-Kurzliner 38

2.3.3.3 K-Liner 42

2.3.3.4 Point-Liner® 47

2.4 Gegenüberstellung der Ergebnisse und Empfehlungen für die Praxis 52

3 SANIERUNGEN UNTER GRUNDWASSERZUTRITT UND AUßENWASSERDRUCK 58

3.1 Versuchsprogramm 58

3.1.1 Untersuchungen an erdüberdeckten Teststrecken 60

3.1.2 Untersuchungen an freiliegenden Teststrecken 62

3.2 Verfahrenseinsätze und Ergebnisse 64

3.2.1 Janßen Riss- und Scherbensanierung 64

3.2.2 KA-TE PMO-Verfahren 67

3.2.3 3P-Plus-Kurzliner 74

3.2.4 KM-Kurzliner 79

3.2.5 Quick-Lock mit einseitiger Aufbördelung 82

3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse 84

4 FAZIT 89

5 LITERATURVERZEICHNIS 93

1 Hintergrund, Zielstellung und Vorgehensweise

Im Rahmen des IKT-Warentests „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ [1] wurden am Markt verfügbare Reparaturverfahren vergleichend in Versuchsstrecken getestet und bewertet. Mit den im Jahr 2009 veröffentlichten Ergebnissen wurden den Netzbetreibern neutrale und unabhängige Informationen über die Qualität und Einsatzmöglichkeiten der Verfahren zur Verfügung gestellt und Hinweise zu Verbesserungspotentialen gegeben. Sechs Kurzliner, drei Innenmanschetten sowie drei Injektions- bzw. Spachtel-/ Verpressverfahren waren in den Test einbezogen worden.

In der Diskussion der Testergebnisse mit den beteiligten Netzbetreibern zeigte sich, dass neben den bereits im IKT-Warentest untersuchten Fragestellungen zwei weitere Themen für die Betreiber von Bedeutung sind, die im Rahmen dieser Projektweiterung untersucht wurden: Zum einen bestanden Unsicherheiten, inwieweit sich die zum Teil sehr kostenintensiven Untergrundvorbereitungen auf die Hafteigenschaften von Kurzlinern auswirken und ob sie überhaupt erforderlich sind. Zum anderen war fraglich, inwieweit Reparaturverfahren unter Grundwasserzutritt und äußerem Wasserdruck eingesetzt werden können.

Haftwirkung von Kurzlinern auf unterschiedlich vorbehandelten Oberflächen

Die im Rahmen des IKT-Warentests (vgl. [1]) untersuchten Kurzliner zeigten teils deutliche Qualitätsunterschiede hinsichtlich ihrer Dichtheit. Die Qualitätsunterschiede wurden u.a. auf einen mangelnden Verbund zwischen Kurzliner und Altrohr zurückgeführt. Für den Sanierungserfolg und die Dauerhaftigkeit ist die Haftwirkung des Kurzliners auf der Rohroberfläche von besonderer Bedeutung. Besteht kein adhäsionsschlüssiger Verbund zwischen Kurzliner und Rohrwand, ist die Sanierungsstelle undicht und die stabilisierende Wirkung der Reparatur fraglich. Im schlimmsten Falle kann der Kurzliner von der Rohrwand abgelöst, mit dem Abwasserstrom transportiert und zu einem Abflusshindernis werden.

Damit ein Verbund zwischen Kurzliner und Rohrwandung entsteht, wird im DWA-Merkblatt 143-7 [2] empfohlen, glatte Rohre anzuschleifen. In der Praxis jedoch gehen die Meinungen auseinander[1], ob ein Anschleifen oder Anfräsen der Rohrwand tatsächlich für einen guten Haftverbund erforderlich ist.

Von Interesse ist daher für die Netzbetreiber, ob die Haftwirkung von Kurzlinern durch eine Untergrundvorbereitung mittels Fräsarbeiten verbessert werden kann oder ob dies nur zusätzliche und damit vermeidbare Kosten verursacht. Somit stehen mögliche Kosteneinsparungen möglichen Einschränkungen in der Qualität und der Dauerhaftigkeit der Reparaturmaßnahme gegenüber. Wie Diskussionen in den Lenkungskreissitzungen zeigten, wird der Nutzen von Fräsarbeiten unterschiedlich eingeschätzt und es besteht teilweise Unsicherheit, inwieweit Fräsarbeiten mit ausgeschrieben werden sollen. Auch seitens der Verfahrensanbieter und Sanierungsfirmen wird die Notwendigkeit von Fräsarbeiten offensichtlich unterschiedlich gesehen. Bei

[1] Informationen aus dem Lenkungskreis der Netzbetreiber zum IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

den Sanierungsarbeiten im Rahmen des IKT-Warentests „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ [1] wurden die Vorarbeiten in den Steinzeugleitungen mit deutlich unterschiedlichem Aufwand geleistet: Teilweise wurde die Glasur im kompletten Bereich des späteren Kurzliners entfernt und teilweise wurde nur stellenweise gefräst, z.B. Ringe an den Liner-Enden und/oder im Bereich des Schadens.

Um für zukünftige Kurzlinersanierungen Gewissheit über die Notwendigkeit dieser Vorarbeiten zu erhalten, wurde in den hier dargestellten weiterführenden Untersuchungen die Haftung verschiedener Kurzlinermaterialien auf Rohroberflächen unterschiedlichen Zustands (z.B. glasiert, vorgefräst, nass, trocken, mit oder ohne Fettverunreinigungen) untersucht. Aus den Untersuchungsergebnissen wurden abschließend Empfehlungen für die Untergrundvorbereitung abgeleitet.

Einzelheiten zum Versuchsprogramm sowie den Ergebnissen können Kapitel 2 entnommen werden.

Einsatz von Reparaturverfahren unter zuströmendem Grundwasser und äußerem Wasserdruck

Eine zweite für die Netzbetreiber bedeutende Fragestellung war, ob die untersuchten Reparaturverfahren auch für Sanierungen bei zuströmendem Grundwasser und unter Außenwasserdruck, beispielsweise bei der Fremdwassersanierung, geeignet sind. Liegen schadhafte Kanäle in Gebieten mit zeitweise oder dauerhaft hohen Grundwasserständen, müssen die Reparaturverfahren auch gegen einströmendes, drückendes Grundwasser eingesetzt werden können. In diesem Fall bestehen erschwerte Bedingungen für die Reparaturarbeiten. Zum Beispiel können vorbereitende Fräsarbeiten durch zufließendes Grundwasser behindert werden und es besteht die Gefahr, dass Sanierungsharze ausgespült und Aushärtungsprozesse gestört werden. Viele Anbieter von Reparaturverfahren versprechen zwar, ihr System erziele auch bei Grundwasser beste Ergebnisse, bei vielen Netzbetreibern bestehen diesbezüglich allerdings Unsicherheiten.

In den weiterführenden Untersuchungen wurden daher ausgewählte Reparaturverfahren in speziellen Prüfaufbauten getestet, mit denen sowohl Sanierungen unter zuströmendem und teils drückendem Grundwasser simuliert werden als auch ein Außenwasserdruck nach der Sanierung aufgebaut bzw. aufrechterhalten werden konnte.

Details zum Versuchsprogramm und den Ergebnissen werden in Kapitel 3 beschrieben.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

2 Haftwirkung von Kurzlinern auf unterschiedlich vorbehandelten Oberflächen

2.1 Versuchsprogramm und Vorgehensweise bei den Haftzugprüfungen

Um erste Anhaltswerte zu Hafteigenschaften von Kurzlinern zu erhalten, wurden zunächst im Rahmen von **Vorversuchen** die Teststrecken des IKT-Warentests „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ [1] genutzt, um Probekörper mit Kurzlinerauskleidung zu gewinnen. Für jedes der sechs im IKT-Warentest geprüften Kurzliner-Verfahren (vgl. Tab. 1) wurden je zwei Rohrsegmente aus den Steinzeug- und Betonteststrecken getrennt und Haftzugprüfungen vorgenommen (s. Abschnitt 2.2.1).

Die Haftzugprüfungen lieferten teils starke Unterschiede in den Haftzugwerten, sowohl zwischen den sechs Kurzliner-Verfahren als auch innerhalb eines Verfahrens (s. Abschnitt 2.2.1). Eindeutige Rückschlüsse auf Zusammenhänge zwischen Kurzliner bzw. Harzsystem, Untergrund und Haftwirkung ließen sich auf Basis dieser Prüfungen allerdings nicht ziehen, da es den Verfahrensanbietern gezielt freigestellt worden war, Art und Umfang von Vorarbeiten sowie das Vorgehen beim Kurzlinereinbau selbst festzulegen. Damit sollten alle aus Sicht der Verfahrensanbieter notwendigen Arbeitsschritte für ein gutes Reparaturergebnis eingeleitet wurden. Somit wichen zum einen Spül- und Fräsarbeiten in den mit Fettablagerungen versehenen Teststrecken voneinander ab, sodass von unterschiedlich verschmutzten Rohroberflächen auszugehen ist. Zum anderen unterschieden sich teils auch Faktoren wie Harz-Verarbeitungszeiten, Packersystem und -drücke sowie Aushärtezeiten innerhalb eines Kurzlinersystems, sodass auch die Randbedingungen beim Kurzlinereinbau nicht vergleichbar waren.

Vor diesem Hintergrund wurden Versuche an Probekörpern mit vergleichbaren Randbedingungen ergänzt. Mit zwei exemplarisch ausgewählten Kurzlinerverfahren wurden je drei Kurzliner in Steinzeugrohre mit glasierter und unglasierter (gefräster) Oberfläche gesetzt (s. Abschnitt 2.2.2). Die Ergebnisse der Haftzugprüfungen zeigten, dass Untergrundvorbereitungen einen deutlichen Einfluss auf die Haftung eines Kurzliners haben können, sich dieser jedoch von Harzsystem zu Harzsystem unterscheiden kann (s. Abschnitt 2.2.2).

In umfangreichen **weiterführenden Untersuchungen** wurden daher **vier Kurzlinersysteme** mit unterschiedlichen Harzgruppen (Epoxid-, Silikat-, Polyurethan- und Methylmethacrylat-Harz) an insgesamt elf unterschiedlich präparierten Steinzeug- und Betonoberflächen vergleichend getestet. Einzelheiten zum Versuchsablauf sowie den Ergebnissen werden in Abschnitt 2.3 erläutert.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Tab. 1: Überblick zum Versuchsprogramm

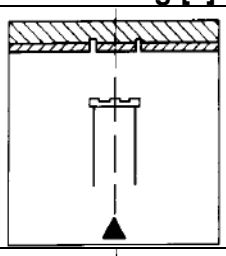
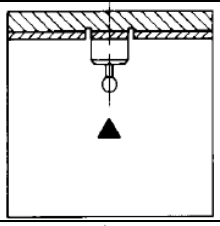
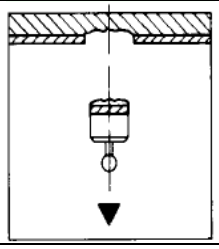
Verfahren	Prüfumfang
Haftzugprüfungen an Kurzlinern aus Teststrecken des IKT-Warentests „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ (Vorversuche)	
ALOCIT-Kurzliner	o Haftzugprüfungen an je zwei Kurzlinern in Steinzeugrohren (mit Fett verschmutzte Rohroberflächen wurden nach Ermessen des Anbieters gereinigt) o Haftzugprüfungen an je zwei Kurzlinern in Betonrohren (mit Fett verschmutzte Rohroberflächen wurden nach Ermessen des Anbieters gereinigt) o 3 bis 5 Prüfstellen je Kurzliner (abh. von der Probegröße)
3P-Plus-Kurzliner	
K-Liner	
Konudur Sewer Repair Kit (VP)	
KM-Kurzliner	
Point-Liner®	
Exemplarische Haftzugprüfungen an separat hergestellten Probekörpern (Vorversuche)	
3P-Plus-Kurzliner	o Haftzugprüfungen an je drei Kurzlinern in sauberen glasierten Steinzeugrohren (vergleichbare Oberflächen) o Haftzugprüfungen an je drei Kurzlinern in sauberen unglasierten (gefrästen) Steinzeugrohren (vergleichbare Oberflächen) o 5 Prüfstellen je Kurzliner
KM-Kurzliner	
Vergleichende Haftzugprüfungen an vier Kurzlinersystemen (weiterführende Untersuchungen)	
ALOCIT-Kurzliner	o Haftzugprüfungen an je drei Kurzlinern in glasierten Steinzeugrohren mit unterschiedlich vorbehandelten Oberflächen (sauber/trocken, sauber/feucht, fettig/feucht) o Haftzugprüfungen an je drei Kurzlinern in gefrästen (unglasierten) Steinzeugrohren mit unterschiedlich vorbehandelten Oberflächen (sauber/trocken, sauber/feucht, fettig/feucht) o Haftzugprüfungen an je fünf Kurzlinern in Betonrohren mit unterschiedlich vorbehandelten Oberflächen (sauber/trocken, sauber/feucht, fettig/feucht, wassergelagert/abgetrocknete Oberfläche, wassergelagert/nasse Oberfläche) o 5 Prüfstellen je Kurzliner
3P-Plus-Kurzliner	
K-Liner	
Point-Liner®	

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Die **Haftzugfestigkeit** wurde bei allen Prüfungen in Anlehnung an die Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton) [3] und DIN EN 1542 [4] bestimmt. Bei dieser Prüfung wird mit Hilfe einer Prüfapparatur die senkrecht auf eine zu prüfende Fläche wirkende Zugkraft ermittelt, die benötigt wird, um die Prüffläche (z.B. Kurzliner, Beschichtung) vom Untergrund zu trennen. Anschließend wird die Haftzugfestigkeit bezogen auf die Prüffläche in N/mm² errechnet. Wesentliche Arbeitsschritte sind exemplarisch in Tab. 2 dargestellt.

Tab. 2 Arbeitsschritte zur Durchführung einer Haftzugprüfung

lfd. Nr.	Arbeitsschritte zur Durchführung einer Haftzugprüfung	Schematische Darstellung [5]	Umsetzung an Rohrhalbschalen
1.	Herstellen der Prüffläche (d = 50 mm) durch Nassbohrung eines Zylinderstumpfes mit Hilfe eines Kernbohrgerätes (Bohrung bis etwa 10 mm Tiefe in den Untergrund)		
2.	Aufkleben eines kreisförmigen Prüfstempels (d = 50 mm) nach Reinigung der Prüffläche mit dünner Klebefuge; Entfernen des austretenden Klebstoffs aus der Ringnut		
3.	Abziehen des Prüfstempels mit einem Haftzugprüfgerät nach Aushärtung des Klebers durch konstante Steigerung der Zugkraft bis zum Versagen des Verbundes; Dokumentation der maximal aufgebrachten Spannung in N/mm² sowie der Bruchform		

Mit Hilfe einer Haftzugfestigkeitsmessung kann die Stärke des Verbunds zwischen Kurzliner und Rohrwandung ermittelt werden. Anforderungen an die Haftzugfestigkeit von Kurzlinern werden in DWA-M 143-20 [6] und im „Vorläufigen Prüfprogramm für harzgetränkte, vor Ort härtende Kurzliner zur Sanierung von erdverlegten Freispiegelabwasserkanälen und –leitungen“ im Rahmen der Zulassung [7] des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) gestellt. Hier werden für die Eignungsprüfung von Kurzlinern auf Steinzeug- und Betonplatten (DWA-M 143-20) und in Steinzeugrohren (DIBt-Prüfprogramm) als Mindest-Anforderungen für die Kurzzeit-Haftzugfestigkeit folgende Werte aufgeführt:

- Mittelwert aus 6 Einzelwerten: 1,5 N/mm²,
- Kleinster Einzelwert einer Prüfserie: 1,0 N/mm².

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

2.2 Vorversuche – Versuchsdurchführung und Ergebnisse

2.2.1 Haftzugprüfungen an Kurzlinern aus Teststrecken des IKT-Warentests

Nach Abschluss der Prüfungen an den Teststrecken des IKT-Warentests „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ [1] wurden für jedes der sechs getesteten Kurzlinerverfahren vier Probekörper für Haftzugprüfungen gewonnen. Zunächst sind dabei jeweils zwei mit Kurzlinern ausgekleidete Rohrsegmente aus Steinzeug DN 300 und Beton DN 300 in Längsrichtung halbiert worden, um so Halbschalen mit den sanierten Schadensbildern für die Haftzugprüfungen zu gewinnen. Anschließend wurden je Halbschale, abhängig vom Schadensbild und der Kurzlinerlänge, drei bis fünf Prüfstellen angeordnet (vgl. Abb. 1).

Abb. 1: Bohrungen mit aufgeklebten Prüfstempeln (links) und Durchführung einer Haftzugprüfung (rechts)

Die Haftzugprüfungen wurden, soweit möglich, an den in Abb. 2 dargestellten Positionen vorgenommen. Aufgrund der unterschiedlichen Kurzlinerlängen konnten Position und Anzahl der Prüfstempel nicht in allen Fällen exakt gleich gewählt werden. Die Prüfungen geben daher Anhaltswerte für die Haftwirkung der Kurzliner mit eingeschränkter Vergleichbarkeit. Abb. 3 zeigt beispielhaft Kurzlinersegmente nach erfolgter Haftzugprüfung.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

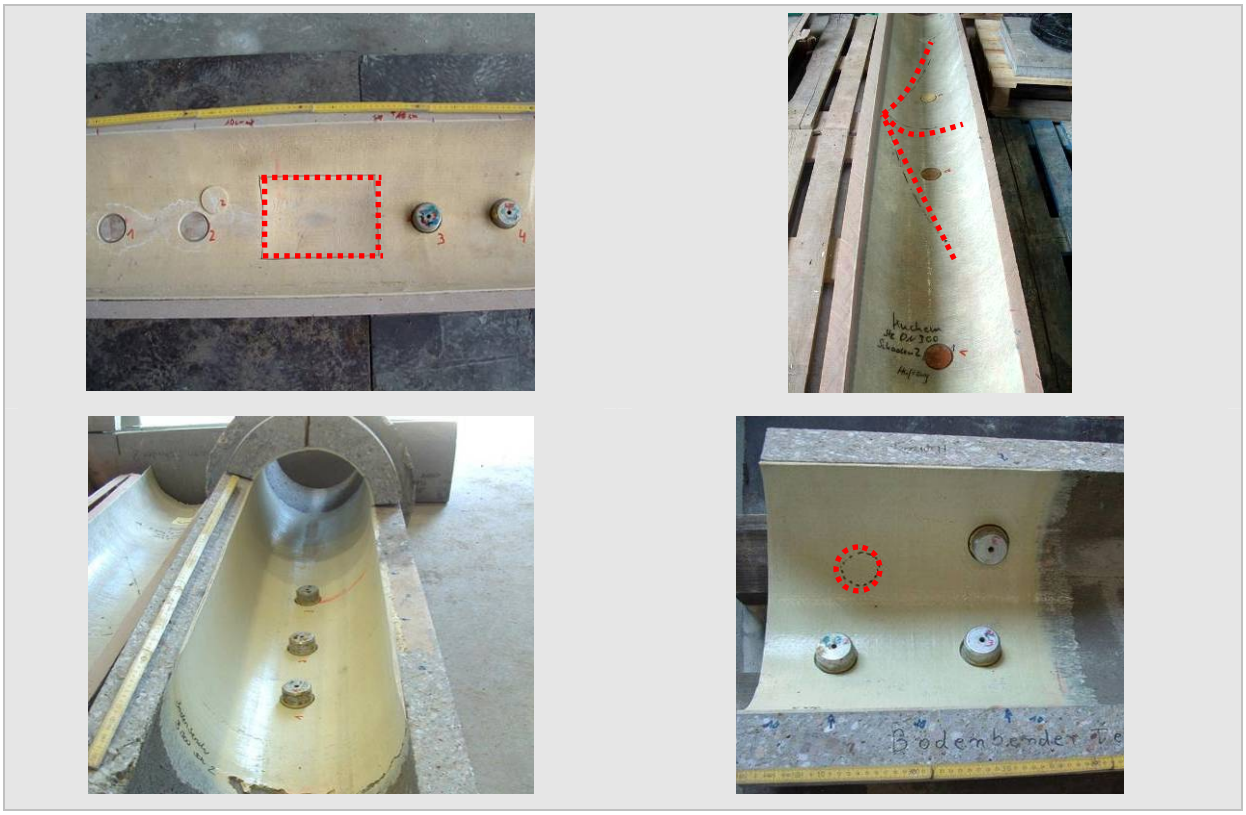


Abb. 2: Beispiele zur Position der Prüfstellen in den Steinzeugprobekörpern (oben links: Schadensbild 1 – Ausbruch und oben rechts: Schadensbild 2 -Rissverzweigung) sowie in den Betonprobekörpern (unten links: Schadensbild 2 – Längsrisse und unten rechts: Schadensbild 3 – Ausbruch)

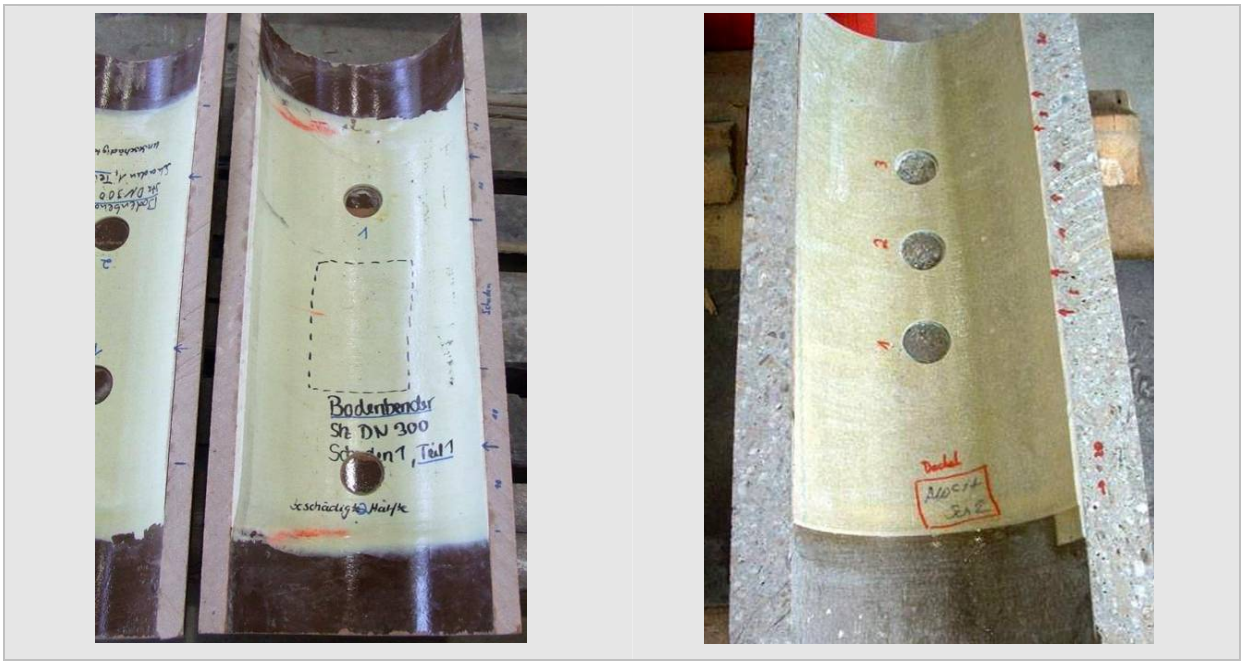


Abb. 3: Beispiele für Probekörper nach Abschluss der Haftzugprüfungen

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Die Ergebnisse der Haftzugprüfungen sind in **Tab. 3** zusammengestellt. Die Prüfungen ergaben teils starke Unterschiede in den Haftzugwerten. Dies betrifft sowohl den Vergleich der sechs Kurzliner-Verfahren untereinander als auch den Vergleich der Haftzugwerte innerhalb eines Verfahrens. So löste sich der Kurzliner an einigen Stellen bereits bei den Bohrungen vom Rohr, die Spitzenwerte dagegen liegen zwischen 4 N/mm² und 6 N/mm².

Beim „3P-Plus-Kurzliner“, bei dem die gründlichste Untergrundvorbereitung vorgenommen wurde, liegen 13 von 14 Werten oberhalb der Mindestanforderungen für die Einzelwerte des DWA-Merkblatt 143-20[1] [6] und der DIBt-Zulassungsprüfung[2] [7] von 1 N/mm². Ein Vergleich der Mittelwerte von 1,47 N/mm² und 2,12 N/mm² für Steinzeug sowie 1,77 N/mm² und 2,22 N/mm² für Beton zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen der Haftung auf Beton- und Steinzeugrohren.

Dagegen ergaben die Prüfungen an den „K-Linern“ deutliche Unterschiede zwischen Beton und Steinzeug. Sämtliche Prüfergebnisse in den Steinzeugrohren liegen mit Werten zwischen 1,28 N/mm² und > 5 N/mm² oft deutlich über den Mindestanforderungen und stellen zugleich die Spitzenwerte für Steinzeugrohre aller Verfahren dar. Bei den Betonrohren dagegen lagen sämtliche Werte mit 0,13 N/mm² bis 0,27 N/mm² deutlich unterhalb der Anforderungen des DWA-Merkblatts 143-20 und der DIBt-Zulassungsprüfung.

Bei den weiteren vier Kurzliner-Verfahren ist wiederum kein signifikanter Unterschied zwischen Beton und Steinzeug sichtbar. Beim „Konudur Sewer Repair Kit“ erreichten drei Kurzliner vergleichsweise gute Werte (Mittelwerte zwischen 1,46 und 2,80 N/mm²); hier unterschritt lediglich ein Einzelwert die 1,0 N/mm². Beim vierten Kurzliner dagegen lösten sich zwei von vier Stellen bereits beim Bohren.

Ähnliche Unterschiede zeigten sich beim „KM - Kurzliner“. Während bei drei Kurzlinern ebenfalls nur ein Einzelwert die 1,0 N/mm² unterschritt, lösten sich beim vierten Kurzliner drei Stellen bereits bei den Bohrungen. Auffällig sind beim KM - Kurzliner die großen Differenzen der Haftzugwerte zwischen den Kurzlinern. Während ein Kurzliner im Betonrohr Werte zwischen 3,80 und 4,87 N/mm² lieferte, ergaben die Prüfungen am zweiten Kurzliner auf Beton lediglich Werte zwischen ca. 0 und 1,65 N/mm².

Der „ALOCIT Kurzliner“ lieferte ebenfalls große Unterschiede in den Einzelwerten. Während sich hier innerhalb eines Kurzliners im Sohlbereich sämtliche Prüfstellen bereits beim Bohrvorgang lösten, lag die Haftung im Scheitelbereich zwischen 4,66 N/mm² und 5,97 N/mm². Bei den restlichen Kurzlinern lagen sechs von zehn Werten unter 1,0 N/mm².

Beim „Point-Liner®“ waren die Haftzugwerte insgesamt niedrig. 11 von 14 Werten lagen zwischen 0,02 N/mm² und 0,87 N/mm². Lediglich drei Prüfstellen lieferten mit 1,57 N/mm² bis >3,50 N/mm² höhere Werte.

[1] Prüfung von Kurzlinern auf Steinzeug- und Betonplatten
[2] Prüfung von Kurzlinern in Steinzeugrohren

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Entsprechend dem DWA-Merkblatt 143-20 und den DIBt-Zulassungsprüfungen wird neben Einzelprüfwerten von mindestens 1,0 N/mm² ein Mittelwert aus sechs Prüfwerten von mindestens 1,50 N/mm² je Kurzliner gefordert. Die Anforderungen an den Mittelwert werden in der Gesamtbetrachtung nur bei einem Drittel der Kurzliner erreicht, allerdings wurden bei den exemplarischen Haftzugprüfungen im Rahmen des IKT-Warentests i.d.R. weniger als fünf Haftzugwerte je Kurzliner ermittelt.

Rückschlüsse auf Zusammenhänge zwischen Kurzliner bzw. Harzsystem, Untergrundvorbereitung und Haftwirkung lassen sich auf Basis der Prüfungen nicht ziehen, da sowohl zwischen den sechs Kurzliner-Verfahren als auch innerhalb eines Verfahrens unterschiedliche Randbedingungen bei den Sanierungsarbeiten vorlagen. Dies betrifft beim Vergleich der Verfahren insbesondere Art und Umfang der HD-Reinigung und der Fräsarbeiten. Innerhalb eines Verfahrens können beispielsweise Packerlänge, -art und -drücke sowie Harzverarbeitungs- und Aushärtezeiten zu unterschiedlichen Bedingungen führen.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Tab. 3: Ergebnisse der Haftzugprüfungen an Kurzlinern aus den Teststrecken

Verfahren	Steinzeug DN 300				Beton DN 300			
	Schadensbild 1		Schadensbild 2		Schadensbild 2		Schadensbild 3	
	Einzelwerte [N/mm²]	Mittelwert [N/mm²]	Einzelwerte [N/mm²]	Mittel wert [N/mm²]	Einzelwerte [N/mm²]	Mittelwert [N/mm²]	Einzelwerte [N/mm²]	Mittelwert [N/mm²]
ALOCIT Kurzliner, ALOCIT Chemie GmbH	0,79 0,68 1,04	0,84	0,00[1] 1,21 0,73 0,02	0,49	0,00[1] 0,00[1] 0,00[1] 0,00[1] 0,00[1]	0,00	0,82 3,13 1,70	1,88
					4,66[2] 5,97[2] 5,24[2]	5,29		
3P-Plus-Kurzliner, sikotec GmbH / JT-elektronik GmbH	1,70 1,46 1,33 1,40	1,47	2,77 3,30 1,41 0,98	2,12	3,35 2,28 1,03	2,22	1,60 1,89 1,82	1,77
K-Liner, Kuchem GmbH	1,28	1,28	2,66 4,69 >5,22[4] >4,52[4]	> 4,27	0,23 0,24 0,27	0,25	0,13 0,21	0,17
	> 2,60[3/4] > 4,95[3/4]	3,78						
Konudur Sewer Repair Kit (VP), MC Bauchemie Müller GmbH & Co. KG	0,00[1] 0,00[1] 0,69 > 0,66[4]	> 0,34	1,05 1,34 > 2,97[4] > 1,33[4]	> 1,67	1,74 0,41 2,24	1,46	2,11 3,37 2,91	2,80
KM - Kurzliner, KMG Pipe Technologies GmbH	1,49 0,32	0,91	2,24 2,10 2,16 1,69	2,05	0,00[1] 0,00[1] 0,00[1]	0,00	3,80 4,87 3,82	4,16
	1,51[3] 1,74[3]	1,63			1,24[2] 1,65[2] 0,65[2]	1,18		
Point-Liner®, Bodenbender GmbH	0,47 0,44	0,46	0,31 0,35 0,40 0,27	0,33	0,02 0,72 0,23	0,32	1,57 > 3,50[4] 0,21	> 1,76
	0,87[3] 1,64[3]	1,26						

[1] Der Kurzliner löste sich beim Bohrvorgang von der Rohrwandung
[2] Ergänzende Versuche in der Scheitel-Halbschale
[3] Ergänzende Versuche in der unbeschädigten Rohrhalbschale
[4] Bruch in der Klebefuge zwischen Kurzliner und Prüfstempel
Anmerkung: „>“ bedeutet, dass die Klebeverbindung des Prüfstempels auf dem Kurzliner versagte

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

2.2.2 Exemplarische Haftzugprüfungen an separat hergestellten Probekörpern

Da die Haftzugprüfungen an den Kurzlinern der Teststrecken des IKT-Warentests keine vergleichbare Datenbasis für Aussagen über Zusammenhänge zwischen Haftwirkung, Harzsystem und Untergrundvorbereitung lieferten (s. Abschnitt 2.2.1), wurden exemplarische Versuche mit Kurzlinern auf glasierten und unglasierten Steinzeugoberflächen ergänzt.

Zunächst war geplant, die Kurzliner auf Steinzeugplatten zu setzen und diese mit einer ebenen Platte in einer Prüfmaschine unter steuerbarer, definierter Kraft anzupressen, um mögliche Einflüsse des Sanierungspackers auszuschalten. Allerdings waren keine Platten erhältlich, deren Mineralzusammensetzung und Glasur identisch zu den Steinzeugrohren ist. Spezielle Sonderanfertigungen eines Steinzeugrohrherstellers konnten aufgrund ungleichmäßiger Glasur und geringfügiger Wölbung der Platten nicht verwendet werden (vgl. Abb. 4).

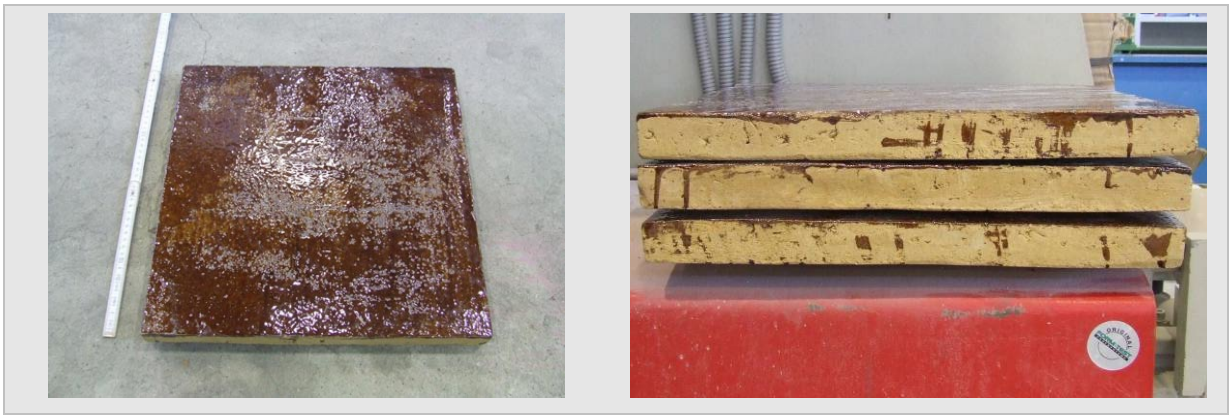


Abb. 4: Detailansichten der Spezialanfertigungen mit ungleichmäßiger Glasur (links) und erkennbaren Unebenheiten einzelner Steinzeugplatten (rechts)

Die Kurzliner wurden daher in herkömmliche Steinzeugrohre eingesetzt. Mit zwei unterschiedlichen Kurzlinersystemen, eines mit Epoxidharz und ein zweites mit Silikatharz, wurden je sechs Steinzeugrohre DN 300 ausgekleidet. Drei der Rohre waren neuwertige glasierte Rohre, bei den weiteren drei Rohren wurde die Glasur in Teilbereichen entfernt (vgl. Abb. 5). Um die gefrästen Bereiche möglichst gleichmäßig und eben zu gestalten, sind die Rohre zuvor in Halbschalen geschnitten worden, um die Glasur händisch mit Hilfe einer Trennscheibe zu entfernen. Alle Rohre wurden vor Einbau der Kurzliner gründlich gereinigt, um ggf. anhaftende Staub- und Schmutzpartikel zu entfernen.

Für die Sanierungsarbeiten wurden die Rohrhalbschalen wieder zusammengesetzt und mit Gurten umspannt. Der Einbau erfolgte in Zusammenarbeit mit den Verfahrensanbietern. Dabei wurde innerhalb eines Sanierungssystems für jeden Kurzliner derselbe Packer verwendet und es wurde auf identische Randbedingungen wie Materialmengen, Verarbeitungs- und Setzzeiten, Aushärtezeiten und Packerdrücke geachtet.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

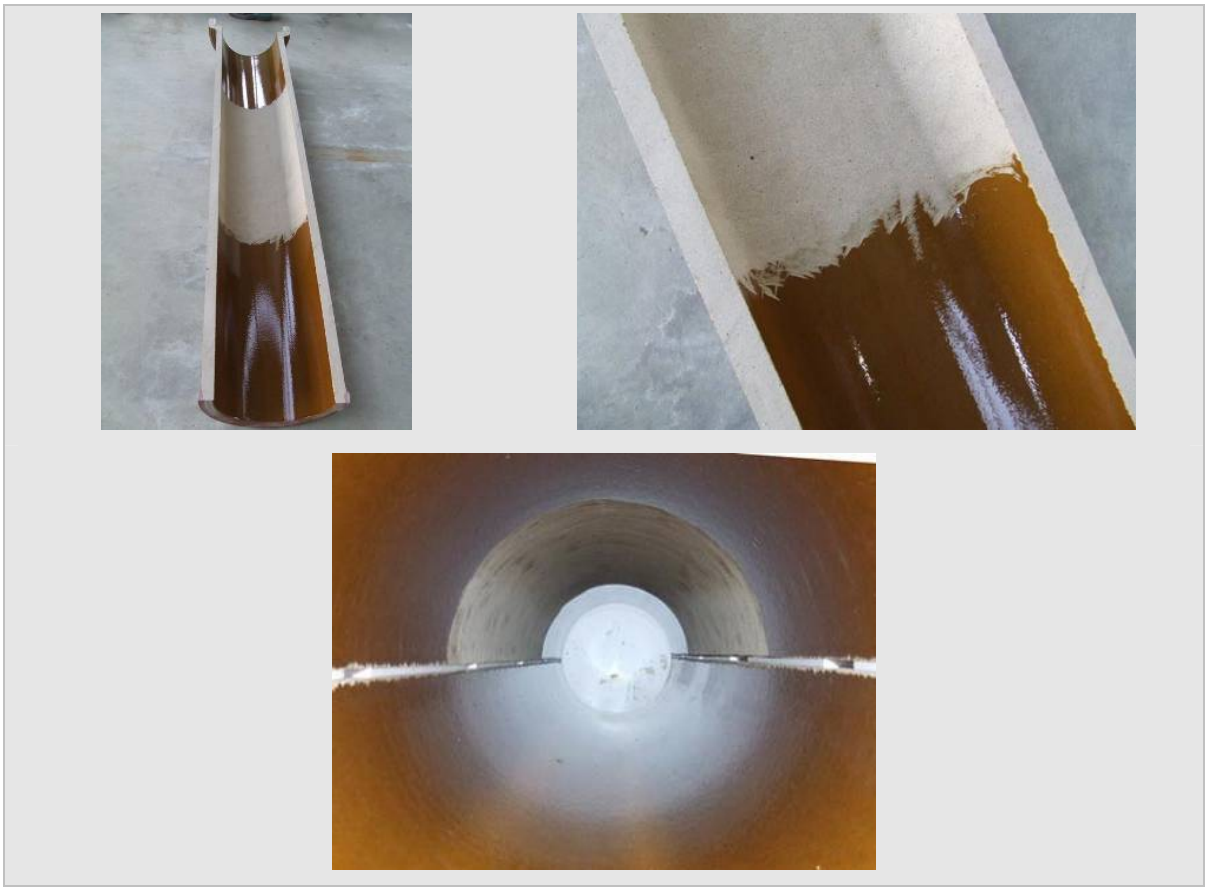


Abb. 5: Gefräste Oberflächen (oben), zusammengesetzte Rohrhalbschalen (unten)

Ziel bei der Herstellung dieser Probekörper war in erster Linie ein vergleichbarer Einbau aller Kurzliner eines Verfahrens, nicht die Herstellung von Kurzlinern mit bestmöglichen Haftzugwerten. Auf Basis dieser ergänzenden Haftzugprüfungen sind somit Schlussfolgerungen zu Haftwirkung, Kurzlinersystem und Untergrundvorbereitung möglich, da hier die Kurzliner eines Verfahrens unter identischen Randbedingungen eingebaut wurden. Wie die Ergebnisse in Tab. 4 und Tab. 5 zeigen, ist die Frage, ob ein Entfernen der Glasur für den Kurzlinereinbau grundsätzlich erforderlich ist, aufgrund dieser Einzelprüfungen nicht pauschal zu beantworten. Während sich bei dem Kurzlinersystem mit Silikatharz deutliche Unterschiede in der Haftwirkung auf gefrästen und glasierten Flächen ergaben, sind die Werte beim Kurzliner mit Epoxidharz annähernd vergleichbar. Das Silikatharz-System (3P-Plus-Kurzliner) erreichte auf der gefrästen Fläche Einzelwerte von 0,18 - 3,12 N/mm² mit einem Mittel von 1,92 N/mm² und auf der glasierten Fläche Werte von 0,00 – 0,45 N/mm² mit einem Mittel von 0,07 N/mm². Beim Epoxidharz-System (KM - Kurzliner) dagegen wurden für beide Oberflächen im Mittel Werte von >5 N/mm² erreicht. Da sich hier bei ca. 70 % der Prüfungen der Prüfstempel bereits in der Klebefuge zum Kurzliner löste, bevor die absoluten Haftzugwerte zwischen Kurzliner und Rohroberfläche erreicht wurden, lassen sich die Einzelwerte nur eingeschränkt vergleichen.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Tab. 4: Ergebnisse der Haftzugprüfungen an Kurzliner-Probekörpern auf glasierten und gefrästen Steinzeugoberflächen (3P-Plus-Kurzliner mit Silikatharz)

Probekörper	Gefräste Oberfläche		Glasierte Oberfläche	
	Einzelwerte [N/mm²]	Mittelwert [N/mm²]	Einzelwerte [N/mm²]	Mittelwert [N/mm²]
1	1,00	1,25	0,08	0,07
	2,86		0,04	
	1,23		0,05	
	0,49		0,00	
	0,66		0,17	
2	0,42	1,79	0,45	0,15
	0,18		0,00	
	2,79		0,01	
	2,85		0,30	
	2,69		0,00	
3	2,74	2,71	0,00	0,00
	2,49		0,00	
	2,78		0,00	
	2,43		0,00	
	3,12		0,00	
Gesamtmittel	**1,92**		**0,07**	

Tab. 5: Ergebnisse der Haftzugprüfungen an Kurzliner-Probekörpern auf glasierten und gefrästen Steinzeugoberflächen (KM – Kurzliner mit Epoxidharz)

Probekörper	Gefräste Oberfläche		Glasierte Oberfläche	
	Einzelwerte [N/mm²]	Mittelwert [N/mm²]	Einzelwerte [N/mm²]	Mittelwert [N/mm²]
1	> 1,54	> 4,12	> 5,10	> 5,16
	> 3,55		> 5,18	
	> 4,48		> 6,06	
	> 6,08		> 4,69	
	> 4,96		> 4,77	
2	6,30	> 6,03	> 3,74	> 4,85
	> 6,86		> 4,81	
	6,21		> 6,17	
	> 5,27		3,73	
	> 5,50		> 5,79	
3	> 4,54	> 5,37	4,52	> 4,89
	5,85		> 4,94	
	6,58		4,43	
	> 4,44		5,05	
	> 5,46		5,52	
Gesamtmittel	**> 5,17**		**> 4,96**	

Anmerkung: „>“ bedeutet, dass die Klebeverbindung des Prüfstempels auf dem Kurzliner versagte

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Im Ergebnis zeigt sich deutlich, dass die Haftwirkung eines Harzes von der Untergrundvorbereitung abhängig sein kann, jedoch Unterschiede zwischen den Kurzlinersystemen bzw. Harzen zu erwarten sind. Während mit dem KM-Kurzliner nahezu vergleichbare Haftzugwerte auf glasierten und gefrästen Flächen erzielt wurden, hafteten die 3P-Plus-Kurzliner nur auf gefrästen Flächen. Vor dem Hintergrund dieser Versuchsergebnisse mit nur zwei Kurzlinersystemen und nur zwei unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheiten wurden die Versuche auf vier Kurzlinersysteme mit unterschiedlichen Harztypen und je elf verschiedene Oberflächen ausgeweitet (s. folgender Abschnitt 2.3).

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

2.3 Vergleichende Haftzugprüfungen an vier Kurzlinersystemen

In die weiterführenden Untersuchungen wurden vier Kurzlinersysteme mit vier unterschiedlichen Harzgruppen einbezogen:

- ALOCIT-Kurzliner (Methylmethacrylatharz),
- 3P-Plus-Kurzliner (Silikatharz),
- K-Liner (Epoxidharz),
- Point-Liner® (Polyurethanharz).

Mit jedem Kurzlinerverfahren wurden sechs Rohre ausgekleidet, die aus jeweils zwei Halbschalen mit unterschiedlich vorbehandelten Oberflächen zusammengesetzt waren. Je Kurzliner wurden elf unterschiedlich präparierte Oberflächen verwendet (vgl. Tab. 6). Dabei wurden zum einen unterschiedliche Rohrwerkstoffe und zum anderen verschiedene Reinigungs- und Feuchtegrade von Oberflächen sowie gefräste und ungefräste Flächen simuliert. Sowohl in Beton- als auch in Steinzeugrohren wurden saubere trockene, saubere feuchte sowie feuchte Oberflächen mit Fettrückständen hergestellt. Bei den Steinzeugrohren wurde dabei nochmals zwischen glasierten und unglasierten (gefrästen) Flächen unterschieden. Für den nicht vollständig wasserundurchlässigen Werkstoff Beton, der durch seine Porigkeit Feuchtigkeit aus Abwasser und Erdreich aufnehmen kann, wurden darüber hinaus zwei Rohrhalbschalen mit hohem Feuchtigkeitsgehalt hergestellt, die bis unmittelbar vor dem Kurzlinereinbau in Wasser lagerten. Einen Überblick zu den verschiedenen Oberflächen gibt Tab. 6. Details zur Herstellung der Oberflächen werden in Abschnitt 2.3.1 erläutert.

Tab. 6: Überblick der unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheiten für die vergleichenden Haftzugprüfungen an vier Kurzlinersystemen

Beton, unbehandelt	Steinzeug, glasiert	Steinzeug, unglasiert (gefräst)
sauber, trocken	sauber, trocken	sauber, trocken
sauber, feucht	sauber, feucht	sauber, feucht
fettig, feucht	fettig, feucht	fettig, feucht
wassergelagert mit abgetrockneter Oberfläche[1]	–	–
wassergelagert mit nasser Oberfläche[2]	–	–

[1] mind. 24 h in Wasser gelagerte Rohrsegmente, die unmittelbar vor dem Kurzlinereinbau aus dem Wasserbecken entnommen und mit Zellstoff-Tüchern abgetrocknet wurden

[2] mind. 24 h in Wasser gelagerte Rohrsegmente, die unmittelbar vor dem Kurzlinereinbau aus dem Wasserbecken entnommen wurden

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Je Rohrhalbschale wurden die Kurzliner an fünf Stellen auf ihre Haftzugfestigkeit geprüft. In der Summe wurden somit 220 einzelne Haftzugprüfungen an 44 Rohrhalbschalen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in den Abschnitten 2.3.3 und 2.4. dargestellt. Das Vorgehen bei den Kurzlinereinbauten wird in Abschnitt 2.3.2 beschrieben.

2.3.1 Präparieren der Rohroberflächen

Um die unterschiedlich präparierten Rohroberflächen (s. Tab. 6) mit reproduzierbaren Randbedingungen herstellen zu können, wurden aus Beton- und Steinzeugrohren zunächst Segmente (Länge 1 m) getrennt und diese in Halbschalen zerschnitten. Auf diese Weise waren die Rohroberflächen gut zugänglich (vgl. Abb. 6).

Abb. 6: Schneiden der Rohrhalbschalen aus Beton- und Steinzeugrohren DN 300

Die Beton- und Steinzeug-Rohrhalbschalen mit der Oberflächenbeschaffenheit **„sauber und trocken“** wurden vor der Applikation des Kurzliners mit Wasserhochdruck mittels Handlanze gereinigt, um Schmutzrückstände wie anhaftenden Staub zu entfernen (vgl. Abb. 7). Nach der Reinigung wurden die Probekörper mit einer Folie abgedeckt, um ein Einstauben bis zum Zeitpunkt des Linereinbaus zu vermeiden. Es war anzunehmen, dass die sauberen trockenen Oberflächen grundsätzlich günstigste Randbedingungen für die Haftzugfestigkeiten eines Kurzliners bieten und somit i.d.R. als Referenzprobekörper angesehen werden können.

Die Oberflächen **„sauber und feucht“** wurden in gleicher Weise gereinigt und anschließend mit einem Staubschutz versehen. Unmittelbar vor dem Einbau des jeweiligen Kurzliners wurden die Rohrhalbschalen mit ca. 30 ml Wasser eingesprüht, um eine feuchte Rohrwand zu erzeugen (vgl. Abb. 7, links).

Die Feuchtigkeit auf der Oberfläche **„fettig und feucht“** wurde ebenso hergestellt. Um Fettrückstände auf der Rohroberfläche nach einer unzureichenden Kanalreinigung zu simulieren, wurden die Rohrhalbschalen zuvor mit ca. 75 Gramm Pflanzenfett eingestrichen und anschließend mit Wasserhochdruck mittels einer Handlanze gereinigt (vgl. Abb. 7). Die Reinigungsintensität mit der Handlanze wurde dabei an das Reinigungsergebnis eines Spülfahrzeugs angeglichen: In einem Vorversuch waren zwei mit Fett präparierte Beton- und Steinzeugrohre mittels eines üblichen Spülfahrzeugs gereinigt worden (Rotationsdüse, Druck an der Düse 145 bar, Wasser-

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

menge 265 l/min, 2 Reinigungszyklen, Rückzuggeschwindigkeit 0,2 m/s). Nach der Reinigung waren leichte Fettrückstände fühlbar und beim Benetzen der Oberfläche mit Wasser perlte dieses ab und sammelte sich in der Rohrsohle. Orientierend an diesem Vorversuch wurden die Rohrhalbschalen für die Kurzlinereinbauten mit vergleichbaren Fettrückständen hergestellt, indem eine Handlanze mit Führungsrollen (vgl. Abb. 7) in Bahnen jeweils zwei Mal über die Rohrhalbschale geführt wurde (Wassermenge 10 l/min, Druck 120 bar, Geschwindigkeit 0,2 m/s).

Abb. 7: Befeuchten der Rohroberfläche mit Wasser (oben links) und mit Pflanzenfett (oben rechts); Reinigung gefetteter Rohrwandungen mittels Wasserhochdruck (unten)

Um Hinweise zur Notwendigkeit von Fräsarbeiten in glattwandigen glasierten Steinzeugrohren zu erhalten, wurden die Oberflächen „sauber und trocken“, „sauber und feucht“ sowie „fettig und feucht“ sowohl mit neuwertigen **glasierten** als auch mit **unglasierten (gefrästen)** Steinzeug-Rohrhalbschalen hergestellt. Die Glasur wurde in diesen Fällen sorgfältig und eben mit einer Trennscheibe entfernt.

Um auch mögliche Einflüsse einer Wassersättigung der Rohroberfläche auf die Hafteigenschaften eines Kurzliners untersuchen zu können, wurden zusätzlich zur „sauberen trockenen“ und „sauberen feuchten“ Betonoberfläche auch **wassergelagerte** Beton-Rohrhalbschalen für die Kurzlinereinbauten hergestellt. Die Halbschalen wurden für mindestens 24 Stunden in einem Wasserbad gelagert und unmittelbar vor der Sanierung aus dem Wasser entnommen. Je Kurzlinerverfahren wurden nochmals zwei unterschiedliche Einbausituationen simuliert: Eine Rohrhalbschale wurde mit einem Zellstoff-Tuch **abgetrocknet**, die andere wurde **nass** und ohne weitere Bearbeitung unmittelbar vor dem Kurzlinereinbau aufgestellt (vgl. Abb. 8, oben).

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

In Abb. 9 sind Bildbeispiele zu den elf unterschiedlichen Oberflächen zusammengestellt.

Abb. 8: Wassergelagerte Beton-Rohrhalbschale (oben); entnommene „nasse“ Halbschale (unten links) und „abgetrocknete“ Oberfläche (unten rechts)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Abb. 9: Oberflächen sauber/trocken, sauber/feucht, fettig/feucht (von links nach rechts) bei glasiertem Steinzeug (obere Zeile), bei gefrästem Steinzeug (zweite Zeile v. oben) und bei Beton (dritte Zeile v. oben) sowie wassergelagerte Beton-Rohrhalbschalen mit nasser Oberfläche (untere Zeile links) und abgetrockneter Oberfläche (untere Zeile rechts)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Nach der Vorbereitung der Oberflächen wurden jeweils zwei Rohrhalbschalen zu einem Rohr zusammengesetzt und mit Gurten umspannt. Sofern die verwendeten Packer länger als 1,0 m waren (Länge der Rohrsegmente), wurden zwei 0,5 m lange Andock-Rohre vor das „Halbschalenrohr“ gesetzt. In Abb. 10 ist der Versuchsaufbau für den Einbau der Kurzliner exemplarisch dargestellt.

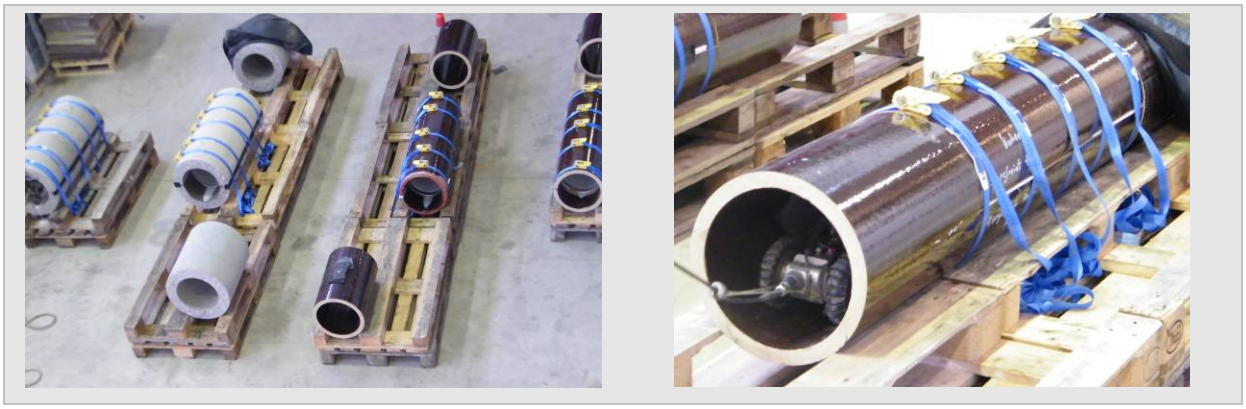


Abb. 10: Versuchsaufbau aus zusammengesetzten Rohrhalbschalen mit Spanngurten

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

2.3.2 Vorgehen bei den Kurzlinereinbauten

2.3.2.1 ALOCIT-Kurzliner

Der ALOCIT-Kurzliner besteht aus einem ECR-Glasfasergewebe (Flächengewicht 1.530 g/m², Advantex), zusammengenäht aus einem Glasfasergewebe und einer Wirrfaserschicht mit PES-Vlies, und einem Methylmethacrylatharz mit der Bezeichnung „ALOCIT Harz® Alocan“. Durch Zugabe eines Härters in Pulverform, einem Dibenzoylperoxid mit der Bezeichnung Peroxan BP-Pulver 50 W+, wird eine Reaktion im Harz initiiert, die nach Ablauf der Verarbeitungszeit zur Härtung des Harzes führt. Das Mischungsverhältnis ist abhängig von der Harz- und Umgebungstemperatur und hat Auswirkungen auf die Topf- und Aushärtezeit (vgl. Tab. 7). [8; 9]

Tab. 7: Mischungsverhältnis, Mischzeit und Aushärtezeit des Harzes (lt. Datenblatt)

Harz	Mischungsverhältnis Harz : Härter (Masse)	Mischzeit	Harz- und Umgebungs-temperatur	Verarbeitungszeit	Aushärtezeit
ALOCIT Harz® Alocan	100 : 1	ca. 2 min	+25°C	18 min	43 min
	100 : 2		+20°C	20 min	45 min
	100 : 3		+15°C	23 min	45 min
	100 : 4		+10°C	25 min	48 min
	100 : 5		+5°C	25 min	48 min
	100 : 6		+0°C	27 min	50 min

Der Einbau der ALOCIT-Kurzliner wurde von der Fa. Alocit Chemie GmbH unter Mithilfe eines Mitarbeiters des IKT vorgenommen. Es wurden 2-lagige ALOCIT-Kurzliner aus zwei übereinandergelegten Gewebematten mit einer Einbaulänge von ca. 60 cm hergestellt. Die Einbauarbeiten in der IKT-Versuchshalle fanden bei Temperaturen um die 20°C statt. Tab. 8 gibt einen Überblick über die jeweiligen Einbauparameter.

Tab. 8: Übersicht der Einbauparameter der sechs ALOCIT-Kurzliner

Abmessungen des Glasfaser-gewebes	Harzmenge und Mischungsver-hältnis	Temperatur	Packerdruck	Aushärtezeit
Kurzliner 2-lagig 2 x 105 cm x 60 cm	2 x Harz à 1200 ml 2 x Härter à 25 g (Peroxidpulver)	ca. +20°C	2,0 bar	rund 50 min

Einbaubeschreibung

Im Vorfeld jedes Einbaus wurde ein Sanierungspacker entsprechender Nennweite mit einer Länge von 80 cm mit einer Stretchfolie als Trennschicht umwickelt, um Verklebungen zwischen Packer und Kurzliner zu vermeiden. Anschließend wurden Harz und Härterpulver mittels eines Holzstabes zu einem schlierenfreien Gemisch verrührt. Die Mischzeit betrug dabei ca. 2 Minuten bis sich eine gelbliche Färbung des Harz-Härtergemischs einstellte. Der Härteranteil ist beim eingesetzten Harzsystem variabel (zwischen 1 und 6 Masse - % von Komponente A) und wird laut Anbieter abhängig von der Harz- und Umgebungstemperatur gewählt (vgl. Tab. 7). Bei den

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

hier ausgeführten Einbauten wurden Härteranteile von 2 % verwendet. Für jede der beiden Gewebematten mit den Abmessungen 105 cm x 60 cm, resultierend aus dem 3,5-fachen des Rohrdurchmessers DN 300 und der Länge des zu sanierenden Rohrabschnitts, wurde ein Gemisch angerührt. Das verrührte Harzgemisch wurde mit Spachteln händisch auf beide Seiten der Glasfasergewebematten aufgetragen. Die getränkten Glasfasergewebe wurden mit einer Überlappung von 2-3 cm auf der kurzen Mattenseite übereinandergelegt und 2-lagig auf den Packer gewickelt. Der Packer wurde in die übereinanderliegenden und mit Spanngurten umspannten Rohrhalbschalen eingebracht, an der Sanierungsstelle positioniert und mit Druckluft expandiert. Der Packerinnendruck zur Aushärtung lag bei 2,0 bar. Die Aushärtezeit betrug rund 50 Minuten.

Abb. 11 zeigt Bildbeispiele zu wesentlichen Arbeitsschritten beim Einbau eines ALOCIT Kurzliners. Das Bild oben links zeigt dabei die aufeinanderliegenden Rohrhalbschalen, oben rechts das Imprägnieren der Glasfasergewebematten, unten links das Umwickeln des Packers mit dem Kurzliner und unten rechts das Einbringen des Packers in die Rohrhalbschalen.

Abb. 11: Setzen eines ALOCIT-Kurzliners: Zusammengesetzte Rohrhalbschalen (oben links); Tränken des Glasfasergewebes (oben rechts); Umwickeln des Packers (unten links); Einschieben des Packers in die Teststrecke (unten rechts)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

2.3.2.2 3P-Plus-Kurzliner

Zur Herstellung der 3P-Plus-Kurzliner wurden ein ECR-Glasfasergewebe (Flächengewicht 1.085 g/m², Advantex), bestehend aus einem mit einer Wirrfaserlage vernähten Glasfasergewebe, und ein Silikatharz mit der Bezeichnung „3P-Harz“ verwendet. Das Silikatharz setzt sich aus zwei Komponenten zusammen:

Komponente A, ein Natronwasserglas mit dem Handelsnamen „Betol 3 P“, dient als Härter und Komponente B, das Harz mit dem Handelsnamen „3P-Plus-Kurzliner B“.

Komponente B ist als „Winterqualität B_W“ und als „Sommerqualität B_S“ erhältlich. Die hier eingesetzten Kurzliner wurden ausschließlich mit der Komponente B_W hergestellt. Das Mischungsverhältnis ist mit zwei Teilen der Komponente B auf einen Teil der Komponente A festgesetzt. Bei einer Harz- und Umgebungstemperatur von 22°C stehen eine Topfzeit von ca. 17 Minuten zur Verfügung (vgl. Tab. 9). [10; 11]

Tab. 9: Mischungsverhältnis, Mischzeit und Aushärtezeit der Harze (lt. Datenblatt)

Harz	Mischungsverhältnis A : B_w[1] : B_S[2] (Volumen)	Mischzeit	Verarbeitungszeit	Aushärtezeit
3P-Harz (Winterqualität)	1 : 2 : 0	2 – 3 min	17 min. bei +22°C	ca. 2 h bei +20°C
3P-Harz (Sommerqualität)	1 : 1 : 1	2 – 3 min	25 min. bei +22°C	ca. 2 h bei +20°C

[1] B_w = Komponente B – Winter [2] B_S = Komponente B – Sommer

Der Einbau der 3P-Plus-Kurzliner wurde von der Fa. Remscheider Kanalsanierung Althaus e.K. vorgenommen. Es wurden 3-lagige 3P-Plus-Kurzliner aus zwei übereinandergelegten und gefalteten Gewebematten mit einer Einbaulänge von ca. 60 cm hergestellt. Die Einbauarbeiten in der IKT-Versuchshalle fanden bei Temperaturen um die 20°C statt. Tab. 10 gibt einen Überblick über die jeweiligen Einbauparameter.

Tab. 10: Übersicht der Einbauparameter der sechs 3P-Plus-Kurzliner

Abmessungen des Glasfasergewebes	Harzmenge und Mischungsverhältnis	Temperatur	Packerdruck	Aushärtezeit
Kurzliner 3-lagig 1 x 110 cm x 127 cm 1 x 110 cm x 60 cm	Komponente A: 1200 ml Komponente B_w: 2400 ml	ca. +20°C	1,4 bar	rund 2 h

Einbaubeschreibung

Zunächst wurden zwei ECR-Glasfasergewebematten mit den Abmessungen 110 cm x 127 cm für Matte 1 und 110 cm x 60 cm für Matte 2 auf einer Schutzfolie ausgelegt. Anschließend wurde das 3P-Harz aus den zwei Komponenten A + B_w im Mischungsverhältnis 1:2 bis zum Erreichen einer gleichmäßigen Durchfärbung ca. 2-3 Minuten angemischt. Beide Matten wurden lagenweise mit dem Harz imprägniert und gefaltet.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Hierzu wurde die kleinere der beiden Matten mittig auf die größere gelegt und die überstehenden Enden der größeren Matte nach innen gefaltet. So entstand eine 3-lagige, mit Harz getränkte Gewebematte mit einer Breite von ca. 60 cm und einer Länge von 110 cm. Diese wurde mittig um den mit einer Schutzfolie umhüllten, 150 cm langen Sanierungspacker gewickelt. Aufgrund der Länge des Sanierungspackers mussten die in Abschnitt 2.3.1 beschriebenen Andock-Rohre bei jeder der sechs Einbauten eingesetzt werden. Nach Positionierung des Packers an der Sanierungsstelle wurde dieser mit einem Luftdruck von i.d.R. 1,6 bar expandiert und die mit Harz imprägnierte Glasfasergewebematte an die Rohrinnenseite der beiden mit Spanngurten umspannten Halbschalen angepresst. Nach einer Aushärtezeit von rund 2 h wurde der Luftdruck im Packer abgelassen und der Packer aus den Rohrhalbschalen entnommen.

Abb. 12 zeigt Bildbeispiele zu wesentlichen Arbeitsschritten beim Einbau eines 3P-Plus-Kurzliners. Das Bild oben links zeigt dabei die aufeinanderliegenden Rohrhalbschalen, oben rechts das Imprägnieren der Glasfasergewebematten, unten links das Umwickeln des Packers mit dem Kurzliner und unten rechts das Einbringen des Packers in die zu sanierenden Rohrhalbschalen.

Abb. 12: Setzen eines 3P-Plus-Kurzliners: Zusammengesetzte Rohrhalbschalen (oben links); Tränken des Glasfasergewebes (oben rechts); Umwickeln des Packers (unten links); Einschieben des Packers in die Teststrecke (unten rechts)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

2.3.2.3 K-Liner

Der K-Liner besteht aus einem ECR-Glasfasergewebe (Flächengewicht 1.085 g/m², Advantex), zusammengenäht aus einer Glasgewebeseite und einer Wirrfaserseite und einem Epoxidharz mit der Bezeichnung ARALDITE GY 250 BD (Sommerharz). Diesem Harz muss ein Härter mit der Bezeichnung ARADUR 16 BD zugegeben werden. Alternativ steht noch eine Epoxidharzvariante mit der Bezeichnung ARALDITE GY 240 BD (Winterharz) zur Verfügung. Das Mischungsverhältnis ist mit zwei Teilen Harz auf einen Teil Härter festgesetzt. Bei Außentemperaturen über 14°C muss das Harz auf 20°C ± 2°C temperiert sein. Bei Außentemperaturen von ca. 20°C lässt sich das angemischte Harz ca. 30 Minuten verarbeiten. [12; 13]

Tab. 11: Mischungsverhältnis, Mischzeit und Aushärtezeit des Harzes (lt. Anbieter)

Harz	Mischungsverhältnis A:B (Volumen)	Mischzeit	Verarbeitungszeit	Aushärtezeit
Sommerharz *Komponente A:* ARALDITE GY 250 BD *Komponente B:* ARADUR 16 BD	2 : 1	min. 2 min	30 min bei +20°C	2,5-3 h bei +20°C

Der Einbau der K-Liner wurde von der Fa. Kuchem GmbH vorgenommen. Es wurden 3-lagige K-Liner aus zwei übereinandergelegten und gefalteten Gewebematten mit einer Einbaulänge von ca. 65 cm hergestellt. Die Einbauarbeiten in der IKT-Versuchshalle fanden bei Temperaturen um die 20°C statt. Tab. 12 gibt einen Überblick über die jeweiligen Einbauparameter.

Tab. 12: Übersicht der Einbauparameter der sechs K-Liner

Abmessungen des Glasfaser-gewebes	Harzmenge und Mischungsver-hältnis	Temperatur	Packerdruck	Aushärtezeit
Kurzliner 3-lagig 1 x 110 cm x 130 cm 1 x 110 cm x 65 cm	Komponente Härter: 750 ml Komponente Harz: 1500 ml	ca. +20°C	1,4 bar	rund 4 h

Einbaubeschreibung

Vor der Sanierung wurden die Packer mit Stretch-Folie umwickelt, um ein Verkleben zwischen Packer und Kurzliner zu vermeiden. Die beiden Harzkomponenten wurden auf 20°C temperiert, mittels eines elektrischen Rührgerätes vermischt (Mischzeit ca. 2 Minuten) und mit Spachteln auf beiden Glasfasergewebematten verteilt. Die kleinere Gewebematte, mit den Abmessungen 110 cm x 65 cm, wurde mittig auf die größere Matte gelegt (110 cm x 130 cm) und die überstehenden Enden der größeren Matte nach innen gefaltet. Dadurch entstand ein 3-lagiger Kurzliner. Dieser wurde mittig um den Sanierungspacker gewickelt, dieser im Rohr positioniert und mit Luftdruck an die

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Rohrinnenseite gepresst. Der Packerdruck lag bei 1,4 bar und wurde über die gesamte Aushärtezeit von rund 4 h (vgl. Tab. 11) aufrecht erhalten. Nach erfolgter Aushärtung wurde der Luftdruck im Packer abgelassen und dieser aus den Rohrhalbschalen entfernt.

In Abb. 13 sind Beispielbilder zu wesentlichen Arbeitsschritten beim Einbau des K-Liners. Das Bild oben links zeigt dabei die aufeinanderliegenden Rohrhalbschalen, oben rechts das Imprägnieren der Glasfasergewebematten, unten links das Umwickeln des Packers mit dem Kurzliner und unten rechts den Packer in den zu sanierenden Rohrhalbschalen während des Aushärtevorgangs.

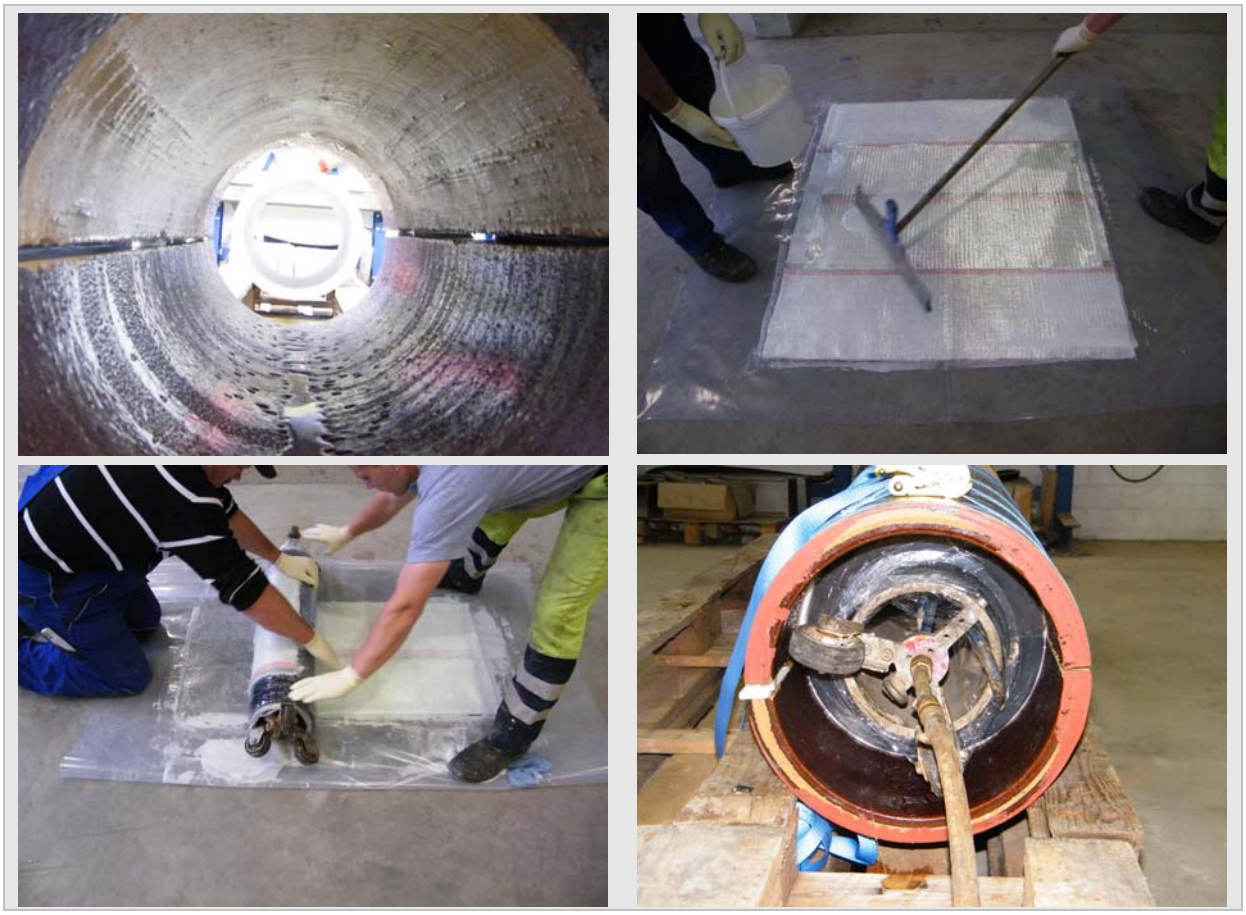


Abb. 13: Setzen eins K-Liners: Zusammengesetzte Rohrhalbschalen (oben links); Tränken des Glasfasergewebes (oben rechts); Umwickeln des Packers (unten links); Einschieben des Packers in die Teststrecke (unten rechts)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

2.3.2.4 Point-Liner®

Das Point-Liner®-System besteht aus den System-Komponenten Multi-PL®-Harz und einer PL®-Glasfasermatte. Das Multi-PL®-Harz ist ein 2-Komponenten-PUR-Harz (Polyurethan), das in Doppelkammer-Beuteln verpackt ist, so dass das Mischungsverhältnis von Harzkomponente A und Härterkomponente B (100:56) vorgegeben ist. Die PL®-Glasfasermatte ist eine ECR Advantex Glasfasermatte mit einem Flächengewicht von 1060g/m². Bei einer Temperatur von 18°C steht eine Topfzeit des Multi-PL®-Harzes von ca. 15 Minuten zur Verfügung. Die Aushärtezeit ist abhängig von der Außentemperatur und beträgt bei Temperaturen über 11°C zwei Stunden. [14; 15]

Tab. 13: Mischungsverhältnis, Mischzeit und Aushärtezeit des Multi-PL® -Harzes (lt. Datenblatt)

Harz	Mischungsverhältnis A : B	Mischzeit	Verarbeitungszeit	Aushärtezeit
Multi-PL® -Harz	100 : 56	keine Angabe	ca. 15 min bei +18°C	> 2 h bei +11 °C 4 h bei +5-10°C 6 h bei <+5 °C Durchhärtezeit/ Nachbearbeitungszeit: 24 h

Der Einbau des Point-Liner®-Systems wurde von der Fa. Bodenbender GmbH vorgenommen. Es wurden 3-lagige Point-Liner® aus zwei übereinandegelegten und gefalteten Gewebematten mit einer Einbaulänge von ca. 60 cm hergestellt. Die Einbauarbeiten in der IKT-Versuchshalle fanden bei Temperaturen um die 20°C statt. Tab. 14 gibt einen Überblick über die jeweiligen Einbauparameter.

Tab. 14: Übersicht der Einbauparameter der sechs Point-Liner®

Abmessungen des Glasfasergewebes	Harzmenge und Mischungsverhältnis	Temperatur	Packerdruck	Aushärtdauer
Kurzliner 3-lagig 1 x 240 cm x 65 cm 1 x 120 cm x 65 cm	2 Beutel à 1,5 kg Multi-Point-Liner®-System Harz	ca. 20°C	1,6 bar	rund 1,5 h

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Einbaubeschreibung

Bei den Einbauten wurde ein PL®-Flex-Packer mit einer Länge von 130 cm verwendet, der zunächst mit einer Trennfolie umwickelt wurde, um eine Verklebung zwischen Point-Liner® und Packer zu vermeiden. Die Komponenten A und B des Harzes werden in so genannten Doppelkammerbeuteln bereits in abgestimmten Mengen geliefert, die nach Entfernen des Sicherheitssiegels zwischen den beiden Kammern durch Kneten des Beutels (ca. 3 Minuten) vermischt werden. Das Harz wurde mit Hilfe von Spachteln auf den PL®-Glasfasermatten verteilt. Dabei wurde zunächst die Oberseite der längeren Gewebematte (240 cm x 65 cm) zur Hälfte eingeharzt, anschließend die Gewebematte mit den Abmessungen 120 cm x 65 cm auf die bereits geharzte Fläche aufgelegt und ebenfalls eingeharzt. Darauffolgend wurde der noch nicht eingeharzte Teil der längeren Gewebematte umgeschlagen und die Oberseite des nun 3-lagigen Kurzliners ebenfalls eingeharzt. Der Kurzliner wurde mit einer Schutzfolie abgedeckt, gewendet, nun die ursprüngliche Unterseite eingeharzt, wieder mit der Schutzfolie abgedeckt und mit einer Laminierrolle gewalkt. Der 3-lagige Kurzliner mit den Abmessungen 120 cm x 65 cm, resultierend aus dem 4-fachen des Rohrdurchmessers DN 300 und der Länge des zu sanierenden Rohrabschnitts, wurde um den Sanierungspacker gewickelt, in den Rohrhalbschalen positioniert und mit einem Anfangsluftdruck von 1,6 bar an die Rohrinnenseite gepresst. Unmittelbar darauf wurde der Sanierungspacker direkt wieder entlüftet, um den korrekten Sitz des Kurzliners an der Rohrwand zu überprüfen. Anschließend wurde der Packer wiederum mit 1,6 bar Luftdruck beaufschlagt und bis zum Erreichen der Aushärtezeit von rund 1,5 h in den Rohrhalbschalen belassen.

Abb. 14 zeigt Bildbeispiele zu wesentlichen Arbeitsschritten beim Einbau eines Point-Liners®. Das Bild oben links zeigt dabei die aufeinanderliegenden Rohrhalbschalen, oben rechts das Imprägnieren der Glasfasergewebematten, unten links das Umwickeln des Packers mit dem Kurzliner und unten rechts das Einbringen des Packers in die zu sanierenden Rohrhalbschalen.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

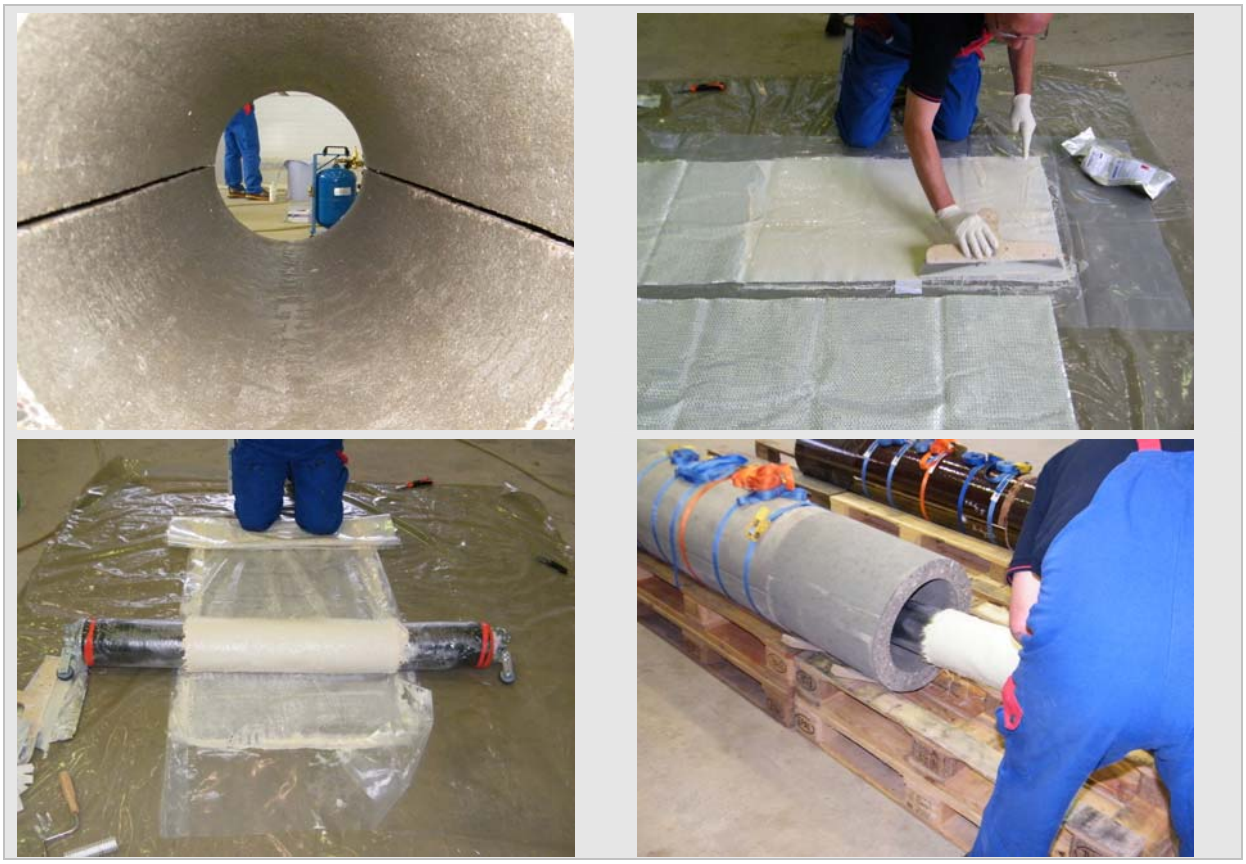


Abb. 14: Setzen eines Point-Liners®: Zusammengesetzte Rohrhalbschalen (oben li); Tränken des Glasfasergewebes (oben re); Umwickeln des Packers (unten li); Einschieben des Packers in die Teststrecke (unten re)

Bei sämtlichen Einbauten der Kurzliner in Rohre mit feuchten Oberflächen (Steinzeug und Beton) war ein Zischen zu vernehmen. Nach dem Ausbau des Sanierungspackers waren bei allen Kurzlinern unmittelbar am Kurzlinerrand oder im Überschussharz Blasen im Harz zu sehen (vgl. Abb. 15). Am stärksten ausgeprägt war diese Blasenbildung bei den wassergelagerten Betonrohren.

Darüber hinaus wurde bei dem in die gewässerten Beton-Rohrhalbschalen eingebauten Kurzliner eine Wölbung nach innen mittig in einem Bereich zwischen Rohrsohle und Kämpfer festgestellt. Bei diesem Kurzliner war beim Setzvorgang eine Besonderheit aufgetreten: Beim Ablassen des Packerdrucks nach kurzzeitigem Aufstellen (zur Kontrolle des korrekten Sitzes des Kurzliners) löste sich der Kurzliner von der nassen Rohrwand, während bei den anderen Einbauten die Kurzliner bereits an der Rohrwand klebten (vgl. Abb. 16). Der Packerdruck wurde sofort wieder auf 1,6 bar erhöht und der Kurzliner erneut an die Rohrwand gepresst. Möglicherweise wurde die Wölbung durch diesen Vorgang verursacht.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

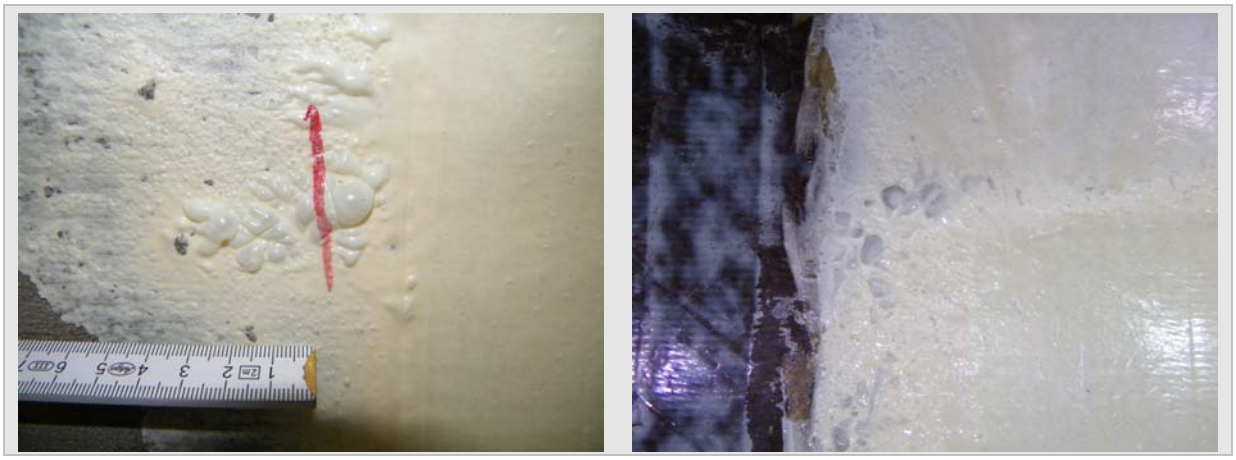


Abb. 15: Luftblasen am Kurzliner-Ende bzw. im Überschussharz (hier Beispiel links: Oberfläche Beton „sauber/feucht“; Beispiel rechts: gefrästes Steinzeug „fettig/feucht“)

Abb. 16: Abgelöster Point-Liner® nach Ablassen des Anfangsanpressdrucks im gewässerten Beton (links) und Beispiel eines bereits haftenden Kurzliners bei den nicht gewässerten Oberflächen (rechts)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

2.3.3 Ergebnisse der Haftzugprüfungen

Je Kurzlinerverfahren wurden 55 einzelne Haftzugprüfungen an elf unterschiedlich vorbehandelten Oberflächen durchgeführt. Die Ergebnisse der Haftzugprüfungen sind in den Abschnitten 2.3.3.1 bis 2.3.3.4 für jedes der vier geprüften Kurzlinerverfahren zusammenfassend dargestellt.

Bei der Darstellung der Ergebnisse wurde berücksichtigt, in welchen Bereichen der Bruch bei der Haftzugprüfung entstanden ist. Trat dieser zu 100 % in der Verbundfuge zwischen Kurzliner und Rohrwand und/oder im Kurzliner-Laminat auf, liegt der Bruch allein im Versagen des Kurzliners begründet (vgl. Abb. 17, a-c). In diesen Fällen konnten die tatsächlichen Haftzugfestigkeiten des Kurliners ermittelt werden, die in N/mm² ohne die Vorzeichen „< oder >“ angegeben sind. Hat sich der Bruch zu 100 % im Beton- bzw. Steinzeuguntergrund oder in der Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner ereignet (vgl. Abb. 17, d-f), liegt die Ursache für den Bruch nicht im Kurzliner, sondern im Untergrund bzw. in der Klebefuge des Prüfstempels begründet. Dieses Bruchverhalten kann eintreten, wenn der Kurzliner sehr hohe Haftzugfestigkeiten aufweist, sodass der Untergrund oder die Klebefuge des Prüfstempels vor der Verbundfuge des Kurzliners versagen. In diesen Fällen liegt die errechnete Haftzugfestigkeit unterhalb der tatsächlichen Haftzugfestigkeit des Kurzliners und die Werte wurden mit dem Vorzeichen „>“ gekennzeichnet. Waren sowohl der Kurzliner (Verbundfuge oder Laminat) als auch der Untergrund am Bruch beteiligt[1] (vgl. Abb. 17, g-i), lässt sich nicht eindeutig feststellen, ob und inwieweit der Untergrund einen Einfluss auf das Bruchverhalten hatte. So kann die Haftzugfestigkeit des Kurzliners bzw. Harzes größer ausfallen, als der errechnete Wert. Die Haftzugfestigkeit des Kurzliners kann hier nur abgeschätzt werden und die ermittelten Werte sind mit dem Vorzeichen „≥“ gekennzeichnet.

Vor dem Hintergrund der nicht in jedem Fall exakt ermittelbaren Haftzugfestigkeiten bei Beteiligung des Untergrunds oder der Klebefuge an der Bruchfläche sowie des eingeschränkten Probenumfangs können die Prüfungen lediglich Anhaltwerte zu den Hafteigenschaften der vier Kurzlinerverfahren liefern.

[1] Der Fall, dass sowohl die Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner als auch der Kurzliner am Bruch beteiligte waren, ist nicht aufgetreten.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

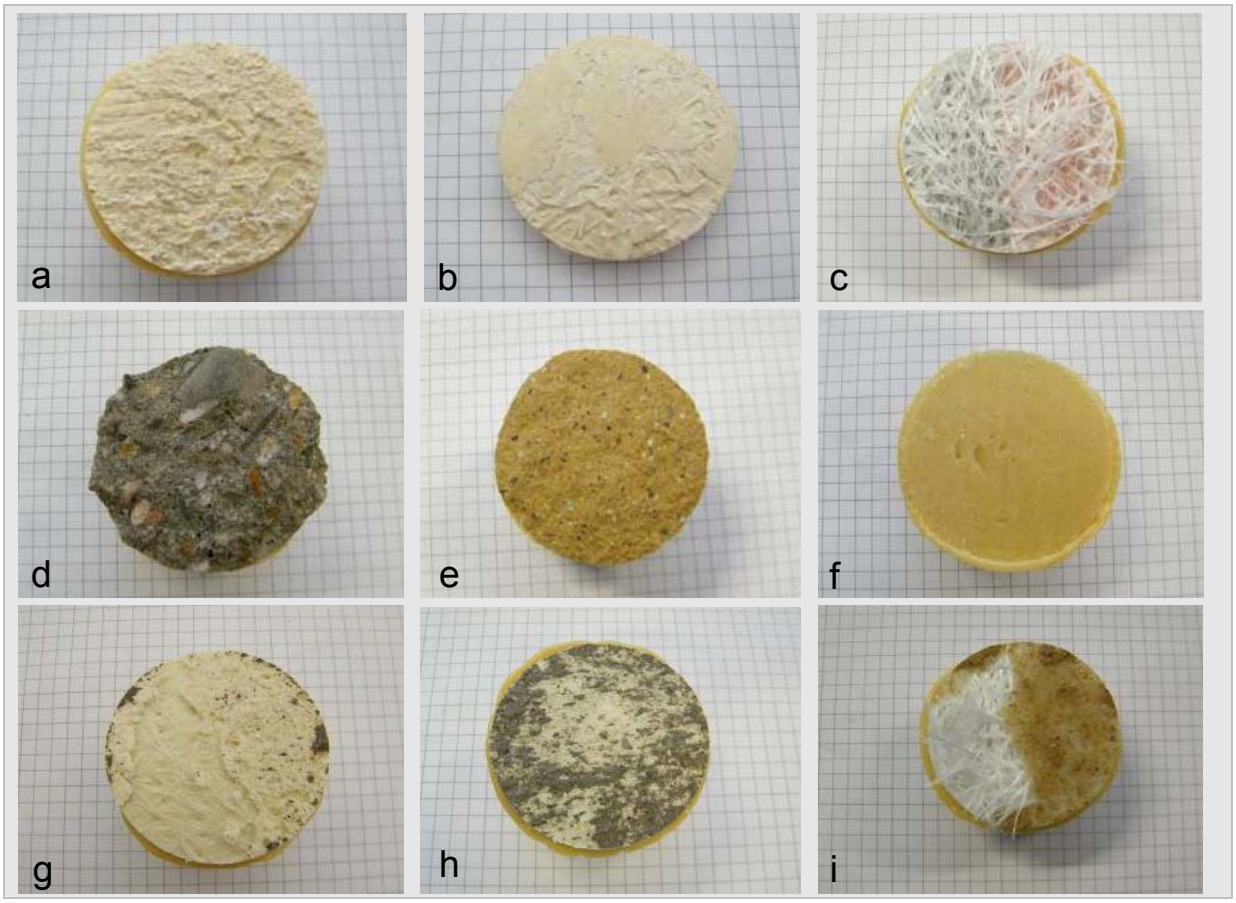


Abb. 17: a+b) Bruch in der Verbundfuge von Kurzliner und Untergrund; c) Bruch im Kurzliner-Laminat; d) Bruch im Betonuntergrund; e) Bruch im Steinzeuguntergrund, f) Bruch in der Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner; g) Bruch in Kurzlinerlaminat + Verbundfuge von Kurzliner und Untergrund (helle Stellen) sowie geringfügige Beteiligung des Untergrunds (dunkele Stellen); h) Bruch in Betonuntergrund (dunkele Stellen) und Verbundfuge zw. Kurzliner und Untergrund (helle Stellen); i) Bruch im Kurzliner-Laminat (helle Stellen) und Steinzeuguntergrund (dunkele Stellen)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

2.3.3.1 Alocit-Kurzliner

Optischer Eindruck

Sämtliche Kurzliner wiesen glatte Oberflächen ohne optische Auffälligkeiten auf. Sowohl an den Kurzliner-Enden als auch an den Schnittkanten der Rohrhalbschalen waren keine Ringspalte zwischen Kurzliner und Rohrwand ersichtlich. In Abb. 18 sind beispielhaft angebohrte und mit Prüfstempeln versehene Kurzliner in Rohrhalbschalen abgebildet.

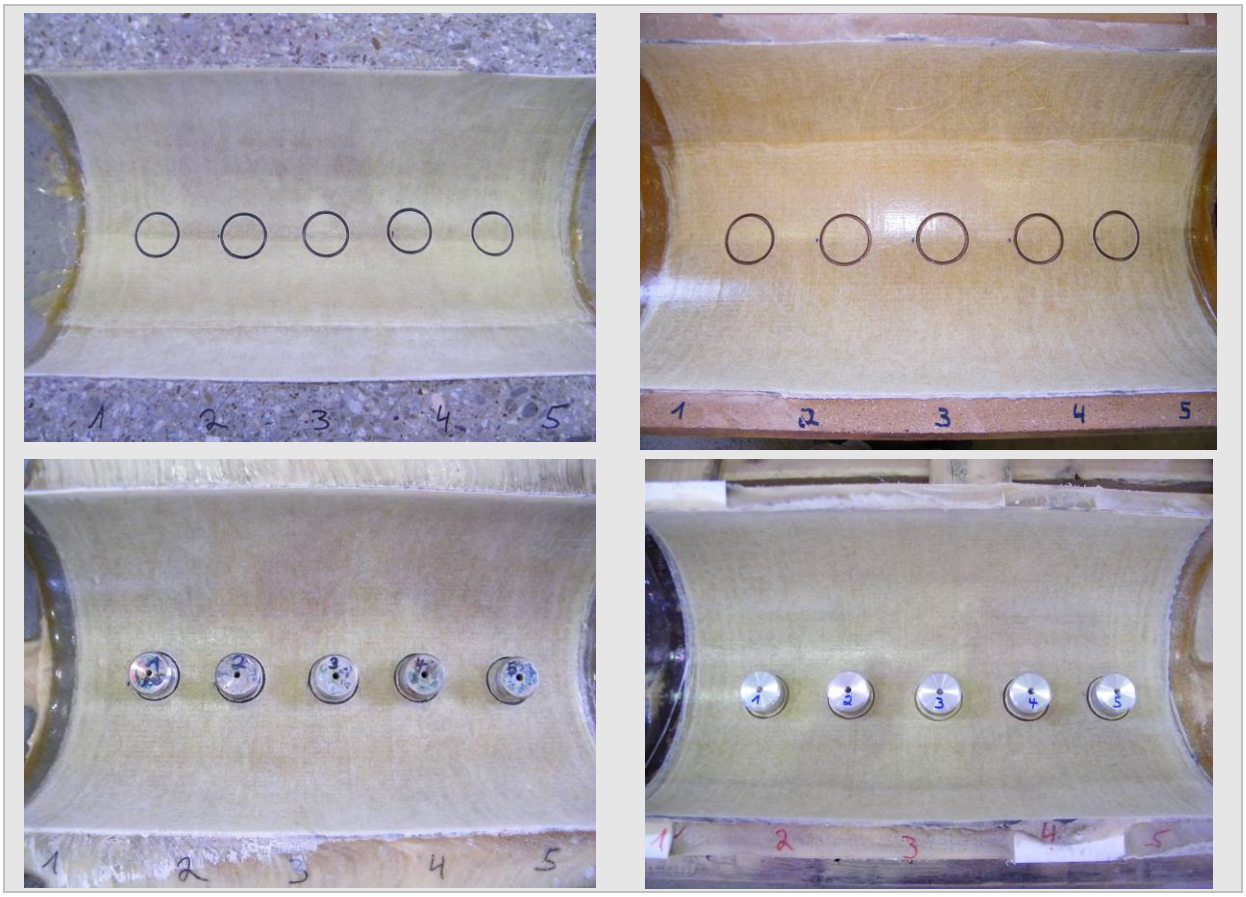


Abb. 18: Mit Bohrungen und Prüfstempeln versehene ALOCIT-Kurzliner in Rohrhalbschalen aus Beton (links) und Steinzeug (rechts)

Hafteigenschaften

Die Kurzliner zeigten bezüglich ihrer Hafteigenschaften innerhalb des jeweiligen Rohrwerkstoffs (Beton, Steinzeug glasiert, Steinzeug unglasiert) ein recht einheitliches Bild. Beim Vergleich der Rohrwerkstoffe untereinander gab es jedoch signifikante Unterschiede zwischen unglasierten und glasierten Steinzeugoberflächen. Tab. 15 gibt einen Überblick zu den ermittelten Haftzugwerten der Kurzliner auf den unterschiedlich vorbehandelten Rohroberflächen. Neben den Einzelwerten sind die Mittelwerte mit Standardabweichung aufgeführt. Abbildungen der geprüften Stellen können den Prüfprotokollen im Anhang entnommen werden.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Tab. 15: Haftzugfestigkeiten des ALOCIT-Kurzliners auf unterschiedlichen Untergründen

Rohroberfläche	ALOCIT-Kurzliner Haftzugfestigkeit [N/mm²]		
	Steinzeug glasiert	Steinzeug unglasiert	Beton
sauber-trocken	0,03	> 3,59	> 4,56
	* 0,00	> 3,59	> 3,89
	* 0,00	> 4,09	> 4,34
	0,03	> 4,48	> 4,17
	* 0,00	> 4,63	≥ 3,82
Mittelwert	**0,01**	**> 4,08**	**> 4,16**
Standardabweichung	0,01	0,43	0,28
sauber-feucht	* 0,00	> 3,84	**≥ 3,98
	* 0,00	> 4,15	**≥ 3,63
	* 0,00	> 4,68	**≥ 2,82
	* 0,00	≥ 3,64	**≥ 3,05
	* 0,00	> 4,02	**≥ 3,27
Mittelwert	**0,00**	**> 4,07**	**≥ 3,35**
Standardabweichung	0,00	0,35	0,41
fettig-feucht	**≥ 0,30	> 2,89	**≥ 3,60
	**≥ 0,45	> 4,17	≥ 3,15
	0,15	> 4,38	**≥ 1,96
	* 0,00	> 4,17	**≥ 2,79
	* 0,00	> 4,07	**≥ 3,93
Mittelwert	**≥ 0,18**	**> 3,94**	**≥ 3,09**
Standardabweichung	0,17	0,53	0,68
wassergelagert, abgetrocknete Oberfläche			**≥ 4,09
			**≥ 2,81
			**≥ 3,57
			**≥ 3,08
			**≥ 4,40
Mittelwert			**≥ 3,59**
Standardabweichung			0,60
wassergelagert, nasse Oberfläche			**≥ 3,05
			> 3,74
			**≥ 3,27
			**≥ 2,98
			**≥ 3,22
Mittelwert			**> 3,25**
Standardabweichung			0,27

* Kurzliner löste sich bereits beim Bohren von der Rohrwandung
> Bruch zu 100 % im Untergrund oder in der Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner
≥ Untergrund am Bruch beteiligt, Bruchflächenanteil > 20 %
**≥ Untergrund mit geringem Bruchflächenanteil bis max. 20 % am Bruch beteiligt
Markierungen: kleinster (rot bzw. dunkel) und größter (grün bzw. hell) errechneter Einzelwert

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Die Haftzugprüfungen an den Kurzlinern auf den unterschiedlich konditionierten **Betonuntergründen** lieferten in allen Fällen Werte, die die Anforderungen des DWA-M 143-20 [6][1] und der DIBt-Zulassungsprüfungen[2] [7] deutlich überschreiten. Bei sämtlichen Prüfungen war der Betonuntergrund am Bruch beteiligt, sodass die tatsächlichen Haftzugfestigkeiten der Kurzliner noch über den errechneten Mittelwerten von 3,09 N/mm² bis 4,16 N/mm² liegen können. Die höchsten Werte wurden am sauberen-trockenen Betonrohr gemessen. Hier versagte bei vier von fünf Prüfstellen der Untergrund oder die Klebefuge des Prüfstempels vor der Verbundfuge zwischen Kurzliner und Rohr (vgl. Abb. 19, links). Beim fünften Prüfstempel war dem Untergrund ein großer Bruchflächenanteil zuzuschreiben. Bei den Prüfungen auf den weiteren Betonoberflächen mit Feuchtigkeit und Fettrückständen war der Untergrund mit nur geringen Anteilen an der Bruchfläche beteiligt. Hier löste sich in kleinen Teilbereichen eine dünne Zementschicht vom Rohr ab (vgl. Abb. 19, rechts). Ob diese Zementablösungen einen Einfluss auf die Haftzugfestigkeit des Kurzliners hatten, ist schwer abzuschätzen. Da jedoch der Untergrund bei den fettigen und/oder feuchten Rohrhalbschalen im Vergleich zur sauberen-trocken Halbschale mit einem nur geringen Flächenanteil am Bruch beteiligt war, ist anzunehmen, dass der ALOCIT-Kurzliner die besten Hafteigenschaften auf dem sauberen-trockenen Rohr besaß.

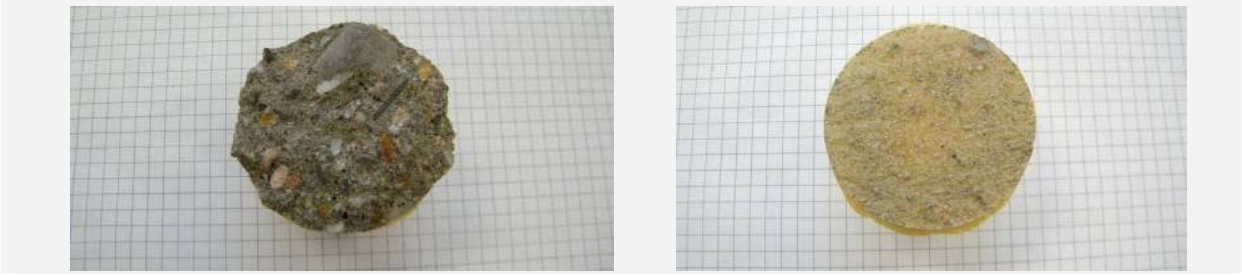


Abb. 19: ALOCIT-Kurzliner: Bruch im Betonuntergrund beim Kurzliner auf „sauber-trockener" Oberfläche (links); Kurzlineroberfläche mit einer geringfügigen Zementschicht in Teilbereichen beim „wassergelagerten, abgetrockneten" Betonrohr (rechts)

Die in die **glasierten Steinzeug-**Rohrhalbschalen eingebauten Kurzliner zeigten bei insgesamt 10 von 15 Einzelprüfungen keinen messbaren Verbund. Beispielhaft sind in Abb. 20 (links) fünf Prüfstellen nach dem Bohren dargestellt, von denen sich drei Stellen bereits beim Bohrvorgang lösten. An zwei Stellen wurde der Kurzliner im Sohlbereich nicht umlaufend durchbohrt, um den Verbund zu kontrollieren. Bei der Begutachtung zeigte sich ein Spalt zwischen Kurzliner und Rohroberfläche (vgl. Abb. 20, rechts). Ein Verbund bestand demnach nicht. Lediglich fünf Haftzugwerte konnten messtechnisch erfasst werden. Hier lagen die Einzelwerte in einem niedrigen Bereich von 0,03 N/mm² bis 0,45 N/mm² und unterschritten somit deutlich die geforderten 1,0 N/mm² für den kleinsten Einzelwert. Davon war zwar bei zwei der Prüfflächen (im Rohr „fettig-feucht) die Steinzeugglasur in Teilbereichen mit abgelöst worden (vgl. Abb. 21), allerdings wird der Einfluss auf die Haftzugfestigkeit des Kurzliners,

[1] Mittelwert aus sechs Einzelprüfungen 1,5 N/mm², kleinster Einzelwert 1,0 N/mm² (Prüfung von Kurzlinern auf Steinzeug- und Betonplatten)
[2] Mittelwert aus sechs Einzelprüfungen 1,5 N/mm², kleinster Einzelwert 1,0 N/mm² (Prüfung von Kurzlinern in Steinzeugrohren)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

insbesondere vor dem Hintergrund der insgesamt schlechten bzw. nicht vorhandenen Haftwirkung, als gering eingeschätzt.

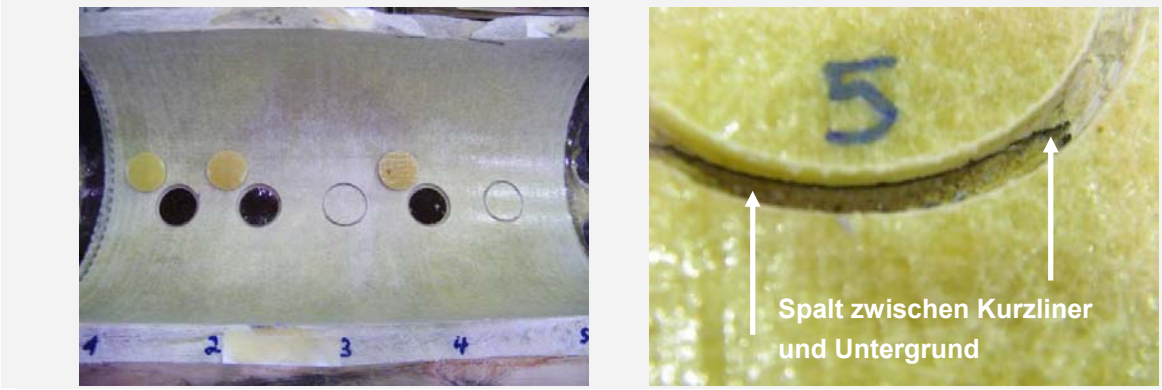


Abb. 20: Beispiele für Prüfbereiche eines ALOCIT Kurzliners ohne ausreichenden Verbund zum Untergrund bei glasierten Steinzeugrohren: Beim Bohren gelöste Prüfflächen (links) und Spalt zwischen Kurzliner und Untergrund bei nicht umlaufend durchbohrter Prüffläche (rechts)

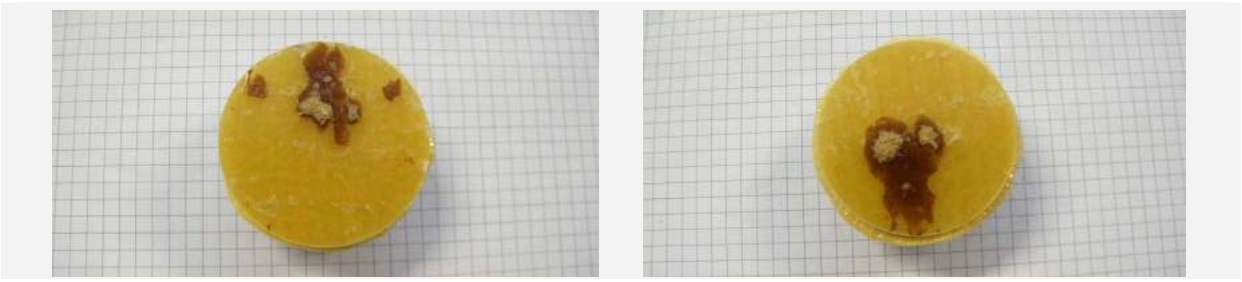


Abb. 21: ALOCIT-Kurzliner: Abgelöste Glasur auf der Kurzliner-Oberfläche

Im Gegensatz zu den glasierten Steinzeugoberflächen zeigte sich auf den **unglasierten (gefrästen) Steinzeugoberflächen** ein sehr guter Haftverbund, der tendenziell auch die Verbundfestigkeit auf den Betonoberflächen überschreitet. Bei 14 von 15 Prüfflächen entstand der Bruch zu 100 % im Steinzeuguntergrund oder in der Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner. Bei der verbleibenden Prüffläche war der Untergrund mit ca. 80 % an der Bruchfläche beteiligt. In der Folge liegen die tatsächlichen Haftzugfestigkeiten der Kurzliner über den errechneten Mittelwerten von 3,94 N/mm² (fettig-feucht), 4,07 N/mm² (sauber-feucht) und 4,08 N/mm² (sauber-trocken).

Fazit

Der ALOCIT-Kurzliner zeigte sehr gute Hafteigenschaften auf Untergründen aus Beton und unglasiertem Steinzeug, wobei die insgesamt höchsten Werte in den unglasierten (gefrästen) Steinzeugrohren gemessen wurden. Die Haftzugfestigkeiten lagen sowohl auf sauberen-feuchten Oberflächen als auch bei Oberflächen mit Feuchtigkeit- und Fettrückständen deutlich über den Anforderungen des DWA-M 143-20 [6] und der DIBt-Zulassungsprüfungen [7]. Tendenziell wurden bei den Betonrohren die höchsten Haftzugwerte auf der sauberern-trockenen Oberfläche gemessen, bei den unglasierten Steinzeugrohren war kein nennensweiter Unterschied festzustellen. Dagegen zeigte sich bei den glasierten Steinzeugoberflächen nahezu kein Haftverbund.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Für den Kurzlinereinbau empfiehlt es sich, glasierte Steinzeugrohre mechanisch vorzubehandeln und grundsätzlich bei allen Werkstoffen Schmutz- und Fettrückstände zu entfernen.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

2.3.3.2 3P-Plus-Kurzliner

Optischer Eindruck

Alle Kurzliner wiesen glatte Oberflächen ohne optische Auffälligkeiten auf. Sowohl an den Kurzliner-Enden als auch an den Schnittkanten der Rohrhalbschalen waren keine Ringspalte zwischen Kurzliner und Rohrwand sichtbar. In Abb. 22 sind beispielhaft angebohrte und mit Prüfstempeln versehene Kurzliner in Rohrhalbschalen dargestellt.

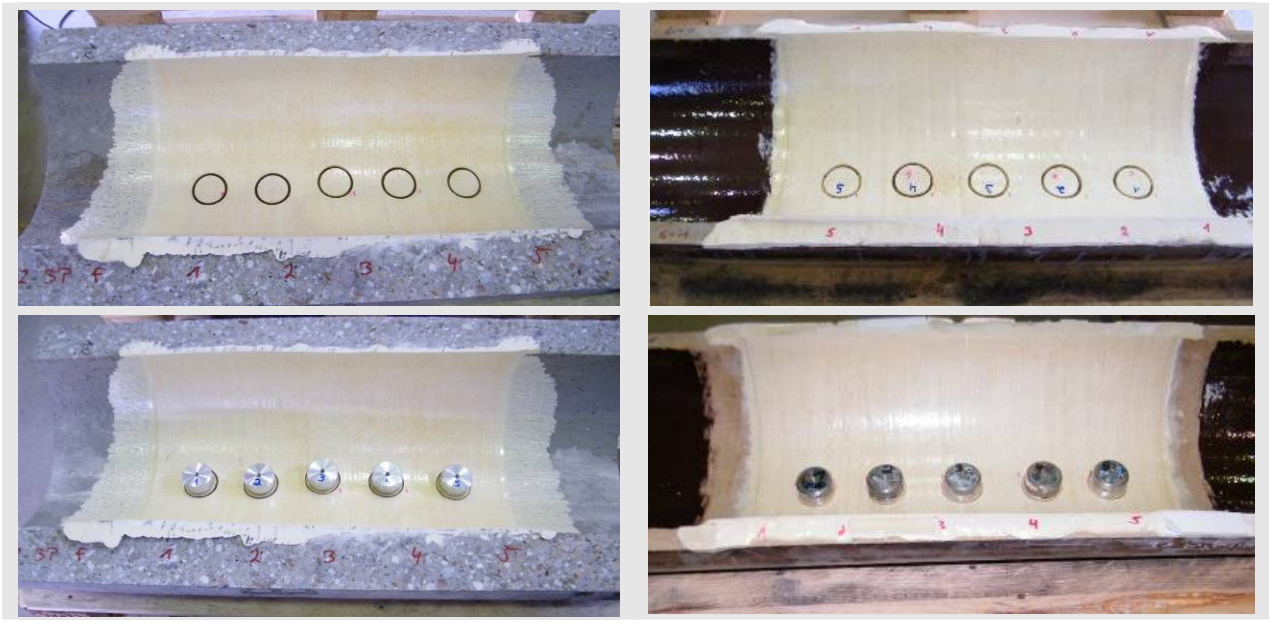


Abb. 22: Mit Bohrungen und Prüfstempeln versehene 3P-Plus-Kurzliner in Rohrhalbschalen aus Beton (links) und Steinzeug (rechts)

Hafteigenschaften

Sowohl innerhalb der Rohrwerkstoffe Beton und unglasiertes (gefrästes) Steinzeug traten sowohl Unterschiede in den Haftzugwerten in Abhängigkeit von der Oberflächenvorbehandlung als auch im Vergleich der Werkstoffe untereinander auf. Tab. 16 gibt einen Überblick zu den ermittelten Haftzugwerten der Kurzliner auf den unterschiedlich vorbehandelten Oberflächen. Neben den Einzelwerten sind die Mittelwerte mit Standardabweichung aufgeführt. Abbildungen der geprüften Stellen können den Prüfprotokollen im Anhang entnommen werden.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Tab. 16: Haftzugfestigkeiten des 3P-Plus-Kurzliners auf unterschiedlichen Untergründen

Rohroberfläche	3P-Plus-Kurzliner Haftzugfestigkeit [N/mm²]		
	Steinzeug glasiert	Steinzeug unglasiert	Beton
sauber-trocken	* 0,00	2,95	**≥ 2,39
	* 0,00	2,98	**≥ 2,69
	* 0,00	2,74	**≥ 2,85
	* 0,00	3,37	**≥ 2,31
	* 0,00	2,93	**≥ 2,90
Mittelwert	**0,00**	**2,99**	**≥ 2,63**
Standardabweichung	0,00	0,21	0,24
sauber-feucht	* 0,00	2,70	0,41
	* 0,00	1,73	0,30
	* 0,00	2,21	0,30
	* 0,00	0,66	0,16
	* 0,00	2,06	0,34
Mittelwert	**0,00**	**1,87**	**0,30**
Standardabweichung	0,00	0,68	0,08
fettig-feucht	* 0,00	0,54	1,85
	* 0,00	0,57	1,00
	* 0,00	0,65	1,25
	* 0,00	0,75	1,33
	* 0,00	0,70	1,54
Mittelwert	**0,00**	**0,64**	**1,39**
Standardabweichung	0,00	0,08	0,29
wassergelagert, abgetrocknete Oberfläche			0,18
			0,12
			0,18
			0,21
			0,25
Mittelwert			**0,19**
Standardabweichung			0,04
wassergelagert, nasse Oberfläche			0,12
			0,11
			0,13
			0,03
			0,32
Mittelwert			**0,14**
Standardabweichung			0,10

* Kurzliner löste sich bereits beim Bohren von der Rohrwandung
> Bruch zu 100 % im Untergrund oder in der Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner
≥ Untergrund am Bruch beteiligt, Bruchflächenanteil > 20 %
**≥ Untergrund mit geringem Bruchflächenanteil bis max. 20 % am Bruch beteiligt
Markierungen: kleinster (rot bzw. dunkel) und größter (grün bzw. hell) errechneter Einzelwert

Die Haftzugfestigkeit der Kurzliner auf **Betonuntergründen** fiel unterschiedlich aus. Auf dem sauberen-trockenen Untergrund erfüllt die Haftzugfestigkeit mit 2,63 N/mm² im Mittel bei einem kleinsten errechneten Einzelwert von 2,31 N/mm² die Anforderungen des DWA-M 143-20[1] [6] und der DIBt-Zulassungsprüfungen[2] [7] deutlich. Da auf den abgerissenen Kurzlineroberflächen teilweise dünne Zementschichten anhafteten (vgl. Abb. 23) und ein Einfluss des Untergrunds auf das Verbundversagen nicht

[1] Mittelwert aus sechs Einzelprüfungen 1,5 N/mm², kleinster Einzelwert 1,0 N/mm² (Prüfung von Kurzlinern auf Steinzeug- und Betonplatten)
[2] Mittelwert aus sechs Einzelprüfungen 1,5 N/mm², kleinster Einzelwert 1,0 N/mm² (Prüfung von Kurzlinern in Steinzeugrohren)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

ausgeschlossen werden kann, wurden die errechneten Werte mit „≥“ gekennzeichnet. Geringfügig verfehlt werden die Anforderungen des DWA-M 143-20 und der DIBt-Zulassungsprüfungen von dem Kurzliner, der auf dem fettig-feuchten Betonuntergrund eingebaut worden ist. Hier liegt die mittlere Haftzugfestigkeit bei 1,39 N/mm² mit einem kleinsten Einzelwert von 1,00 N/mm². Die in unterschiedlich feuchte saubere Betonrohrhalbschalen eingebauten Kurzliner wiesen hingegen durchweg sehr geringe mittlere Haftzugfestigkeiten von 0,14 N/mm² bis 0,30 N/mm² auf und verfehlen die Anforderungen deutlich.

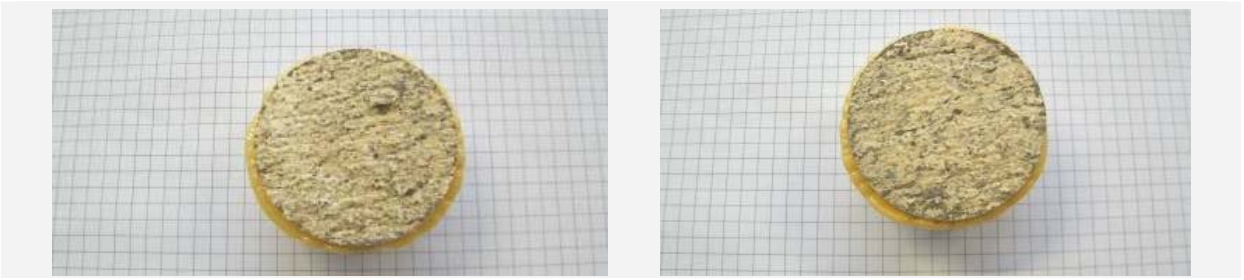


Abb. 23: 3P-Plus-Kurzliner: Kurzlineroberfläche mit einer geringfügigen Zementschicht in Teilbereichen beim „sauberen-trockenen“ Betonrohr

Die Kurzliner in den **glasierten Steinzeug-**Rohrhalbschalen zeigten bei keiner Einzelprüfung einen messbaren Verbund zum Altrohr. In Abb. 24 (links) sind fünf Prüfstellen nach dem Bohren dargestellt. Hier löste sich der Kurzliner an drei Stellen bereits beim Bohrvorgang. An zwei Stellen wurde der Kurzliner im Sohlbereich nicht umlaufend durchbohrt, um hier bereits den Verbund zu kontrollieren. Bei der Begutachtung zeigte sich ein Spalt zwischen Kurzliner und Rohroberfläche (vgl. Abb. 24, rechts). Ein Verbund bestand demnach nicht.

In den **unglasierten (gefrästen) Steinzeug**-Rohrhalbschalen war die Verbundfestigkeit der Kurzliner unterschiedlich. Auf dem sauberen-trockenen Untergrund lag die mittlere errechnete Haftzugfestigkeit bei 2,99 N/mm² mit kleinstem Einzelwert von 2,74 N/mm² deutlich über den Anforderungen des DWA-M 143-20 [6] und der DIBt-Zulassungsprüfungen [7]. Auch der auf einem sauberen-feuchten Untergrund eingebaute Kurzliner liegt mit einem Mittelwert von 1,87 N/mm² über den geforderten 1,5 N/mm². Allerdings liegt der kleinste Einzelwert mit 0,66 N/mm² unter der Vorgabe von 1,0 N/mm. Die Haftzugfestigkeit des Kurzliners auf fettig-feuchtem Untergrund verfehlt die Vorgaben des DWA-M 143-20 und der DIBt-Zulassungsprüfungen mit einem Mittelwert von 0,64 N/mm² deutlich.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Abb. 24: Beispiele für Prüfbereiche eines 3P-Plus-Kurzliners ohne ausreichenden Verbund zum Untergrund bei glasierten Steinzeugrohren: Beim Bohren gelöste Prüfflächen (links) und Spalt zwischen Kurzliner und Untergrund bei nicht umlaufend durchbohrter Prüffläche (rechts)

Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass der 3P-Plus-Kurzliner einen sehr guten Verbund mit hohen Haftzugfestigkeiten auf sauberen-trockenen Beton- und unglasierten Steinzeuguntergründen eingehen kann. Glasierte Steinzeugoberflächen hingegen bieten offensichtlich keine Grundlage für den Kurzliner, um einen Verbund mit dem Untergrund eingehen zu können. Das Vorhandensein von Feuchtigkeit, insbesondere bei Betonrohren, sowie Fettrückständen kann die Haftwirkung ebenfalls reduzieren. Hier empfiehlt sich, den Vorgaben aus dem Verfahrenshandbuch zum Einbau des 3P-Plus-Kurzliners Folge zu leisten: „Der 3P-Plus-Kurzliner darf nur unter abflussfreien Bedingungen auf eine saubere, gereinigte und mechanisch vorbehandelte Schadensstelle gesetzt werden“ [10]. Insbesondere bei Betonrohren scheint es sinnvoll, die Kurzliner nicht unmittelbar nach der Hochdruckreinigung einzubauen, sondern die Oberfläche zunächst abtrocknen zu lassen.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

2.3.3.3 K-Liner

Optischer Eindruck

Sämtliche Kurzliner wiesen glatte Oberflächen ohne optische Auffälligkeiten auf. Weder an den Kurzliner-Enden noch an den Schnittkanten der Rohrhalbschalen waren Ringspalte zwischen Kurzliner und Rohrwand erkennbar. In Abb. 25 sind beispielhaft angebohrte und mit Prüfstempeln versehene Kurzliner in Rohrhalbschalen dargestellt.

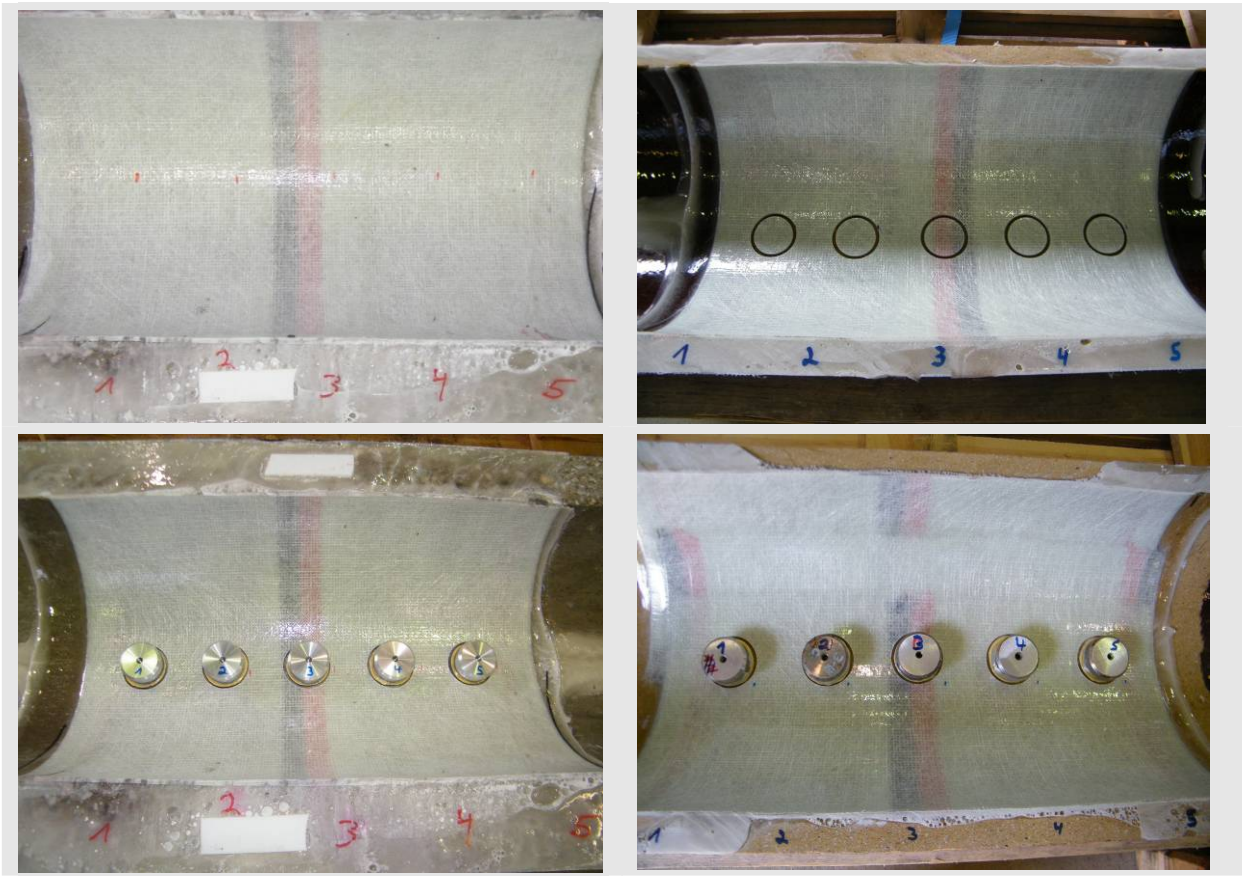


Abb. 25: Mit Bohrungen und Prüfstempeln versehene K-Liner in Rohrhalbschalen aus Beton (links) und Steinzeug (rechts)

Hafteigenschaften

In Tab. 17 sind die ermittelten Einzelwerte der Haftzugfestigkeiten mit Mittelwerten und Standardabweichung dargestellt. Abbildungen der geprüften Stellen können den Prüfprotokollen im Anhang entnommen werden. Wie die Ergebnisse zeigen, wurden innerhalb des Rohrwerkstoffs „Steinzeug unglasiert“ unabhängig von der Oberflächebeschaffenheit sehr homogene hohe Werte gemessen. Bei den Betonrohren sind die errechneten Werte innerhalb eines Probekörpers überwiegend homogen, doch gibt es Unterschiede zwischen den Oberflächenbeschaffenheiten. Bei den glasierten Steinzeugrohren schwanken die Werte sowohl zwischen den Probekörpern als auch z.T. innerhalb eines Probekörpers.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Tab. 17: Haftzugfestigkeiten des K-Liners auf unterschiedlichen Untergründen

Rohroberfläche	K-Liner Haftzugfestigkeit [N/mm²]		
	Steinzeug glasiert	Steinzeug unglasiert	Beton
sauber-trocken	0,73	> 4,35	> 3,57
	0,79	4,35	> 3,78
	0,47	> 4,46	> 3,84
	0,41	> 4,05	> 3,84
	0,37	> 4,61	> 3,82
Mittelwert	**0,55**	**> 4,36**	**> 3,77**
Standardabweichung	0,17	0,18	0,10
sauber-feucht	**≥ 2,76	> 4,27	≥ 3,89
	3,35	> 4,67	> 3,48
	2,54	4,68	> 3,45
	1,77	> 4,92	**≥ 3,94
	**≥ 2,37	> 4,34	**≥ 3,86
Mittelwert	**≥ 2,56**	**> 4,58**	**> 3,72**
Standardabweichung	0,51	0,24	0,21
fettig-feucht	2,02	≥ 4,81	**≥ 2,74
	1,40	≥ 3,99	**≥ 2,52
	0,34	≥ 3,08	**≥ 2,90
	0,95	≥ 3,72	**≥ 2,87
	0,88	≥ 4,38	**≥ 2,93
Mittelwert	**1,12**	**≥ 4,00**	**≥ 2,79**
Standardabweichung	0,56	0,59	0,15
wassergelagert, abgetrocknete Oberfläche			≥ 4,40
			**≥ 2,81
			**≥ 1,37
			**≥ 3,78
			**≥ 3,90
Mittelwert			**≥ 3,25**
Standardabweichung			1,07
wassergelagert, nasse Oberfläche			**≥ 0,49
			**≥ 0,41
			**≥ 0,51
			**≥ 0,22
			**≥ 0,16
Mittelwert			**≥ 0,36**
Standardabweichung			0,14

> Bruch zu 100 % im Untergrund oder in der Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner
≥ Untergrund am Bruch beteiligt, Bruchflächenanteil > 20 %
**≥ Untergrund mit geringem Bruchflächenanteil bis max. 20 % am Bruch beteiligt
Markierungen: kleinster (rot bzw. dunkel) und größter (grün bzw. hell) errechneter Einzelwert

Die Verbundfestigkeiten der K-Liner auf den **Betonuntergründen** lagen, mit Ausnahme der wassergelagerten nassen Oberfläche, mit sehr hohen Werten deutlich oberhalb der Anforderungen des DWA-M 143-20[1] [6] und der DIBt-Zulassungsprüfungen[2] [7]. Auf der sauberen-trockenen Oberfläche und der sauberen-feuchten Oberfläche wurden die höchsten Mittelwerte mit 3,77 N/mm² und 3,72 N/mm² mit kleinsten Einzelwerten von 3,57 N/mm² bzw. 3,45 N/mm² errechnet, wobei die tatsächlichen Haftzugfestigkeiten der Kurzliner noch höher liegen: Bei der sauberen-trockenen Betonoberfläche entstanden sämtliche Brüche zu 100 % im Betonuntergrund. Bei der sauberen-feuchten Oberfläche war bei zwei Prüfstellen der Bruch

[1] Mittelwert aus sechs Einzelprüfungen 1,5 N/mm², kleinster Einzelwert 1,0 N/mm² (Prüfung von Kurzlinern auf Steinzeug- und Betonplatten)
[2] Mittelwert aus sechs Einzelprüfungen 1,5 N/mm², kleinster Einzelwert 1,0 N/mm² (Prüfung von Kurzlinern in Steinzeugrohren)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

komplett im Untergrund entstanden, bei einer Prüfstelle mit einem Flächenanteil von ca. 30 % und bei den zwei restlichen Prüfstellen haftete in kleinen Teilbereichen eine dünne Zementschicht am abgerissenen Kurzliner (vgl. Abb. 26).

Auch die Haftzugfestigkeiten auf der fettig-feuchten (Mittelwert 2,79 N/mm²) und der wassergelagerten Beton-Rohrhalbschale mit abgetrockneter Oberfläche (Mittelwert 3,25 N/mm²) lagen deutlich über den Anforderungen. Anzumerken ist, dass die Einzelwerte bei der wassergelagerten Betonoberfläche eine vergleichsweise große Schwankungsbreite mit einer Standardabweichung von ± 1,07 N/mm² aufwiesen (kleinster Wert 1,37 N/mm², größter Wert 4,40 N/mm²). Unterhalb der Anforderungen des DWA-M 143-20 und der DIBt-Zulassungsprüfungen lagen im Gegensatz dazu die Haftzugwerte des Kurzliners, der in der wassergelagerten Beton-Rohrhalbschale mit nasser Oberfläche eingesetzt worden war. Hier lagen sowohl der Mittelwert mit 0,36 Nmm² als auch der kleinste Einzelwert mit 0,16 N/mm² deutlich unterhalb der geforderten Werte von 1,5 N/mm² im Mittel und 1,0 N/mm² für den Einzelwert. Ergänzend anzumerken ist, dass auf sämtlichen Kurzliner-Proben in kleinen Teilbereichen eine dünne Zementschicht anhaftete. Da ein Einfluss des Untergrunds auf das Verbundversagen nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, wurden die errechneten Werte mit „≥“ gekennzeichnet (vgl. Tab. 17).

Abb. 26: K-Liner: Bruch vollständig im Betonuntergrund (links), Bruch zu ca. 1/3 Flächenanteil im Untergrund (mittig) und Kurzliner mit in Teilbereichen anhaftender geringfügiger Zementschicht (rechts) beim Kurzliner auf sauberem-feuchten Betonuntergrund

Die ermittelten Haftzugfestigkeiten der Kurzliner auf **glasierten Steinzeug**rohrhalbschalen zeigten ein vergleichsweise uneinheitliches Bild. Dies betrifft sowohl den Vergleich der unterschiedlich vorbehandelten Oberflächen untereinander als auch den Vergleich der Einzelwerte innerhalb der Probekörper. So wurden die höchsten Haftzugfestigkeiten beim Kurzliner auf sauberem-feuchten Untergrund gemessen: Der Mittelwert lag hier bei 2,56 N/mm², der kleinste Einzelwert bei 1,77 N/mm² und der größte Einzelwert bei 3,35 N/mm², sodass die Anforderungen des DWA-M 143-20 [6] und der DIBt-Zulassungsprüfungen [7] erfüllt werden. Auf dem sauberen-trockenen Untergrund hingegen wurde lediglich eine mittlere Haftzugfestigkeit von 0,55 N/mm² mit einem kleinsten Einzelwert von 0,37 N/mm² ermittelt, sodass die Anforderungen unterschritten werden. Auch beim fettig-feuchten Untergrund lagen der Mittelwert mit 1,12 N/mm² und der kleinste Einzelwert mit 0,34 N/mm² in einer Größenordnung, die die Anforderungen nicht erfüllen. Zudem lag bei diesem Untergrund die größte Schwankungsbreite der Einzelwerte vor. Hier wurden ein kleinster Wert von 0,34 N/mm² und ein größter Wert von 2,02 N/mm² gemessen. Die Standardabweichung liegt in der Folge bei rund 50 % des Mittelwertes. Hervorzuheben ist, dass

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

bei diesem Kurzlinersystem auch auf den glasierten Steinzeugflächen bei jeder Prüfstelle eine, wenn auch teils geringe, Haftzugfestigkeit gemessen werden konnte.

Auf den **unglasierten (gefrästen) Steinzeug**untergründen wurden im Vergleich zu den anderen Werkstoffen die höchsten Verbundfestigkeiten über 4,00 N/mm² im Mittel gemessen. Die höchsten Werte wurden auf der sauberen-trockenen und der sauberen-feuchten Oberfläche gemessen. Hier löste sich bei jeweils vier von fünf Stellen der Prüfstempel vom Kurzliner, bevor die Haftzugfestigkeit der Verbundfuge zwischen Kurzliner und Rohrwand erreicht worden war (vgl. Abb. 27). Die tatsächlichen Haftzugwerte liegen demnach über den errechneten Mittelwerten von 4,36 N/mm² (sauber-trocken) und 4,58 N/mm² (sauber-feucht). Bei jeweils einer Prüfstelle entstand der Bruch im Laminat des Kurzliners (vgl. Abb. 27). Auch auf der fettig-feuchten Rohroberfläche wurde ein hoher Mittelwert von 4,0 N/mm² errechnet. Da bei sämtlichen Prüfstellen neben dem Kurzliner-Laminat auch der Untergrund an der Bruchfläche beteiligt war (vgl. Abb. 27), kann die tatsächliche Haftzugfestigkeit des Kurzlines noch darüber liegen. Ein signifikanter Einfluss der Fettrückstände auf die Haftzugfestigkeit der Kurzliner lässt sich somit nicht eindeutig ableiten.

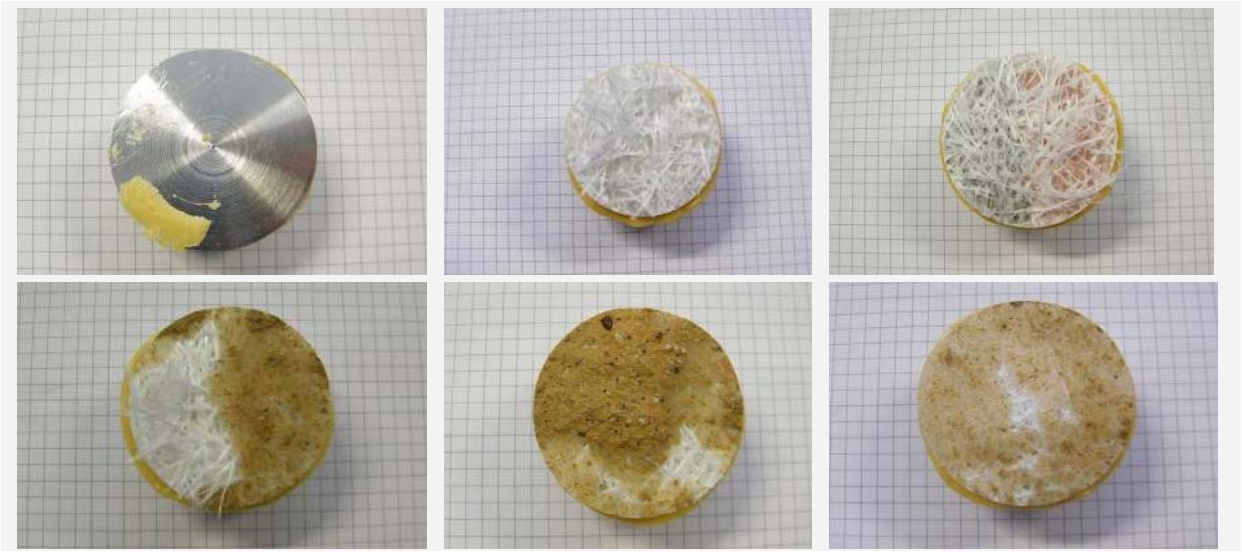


Abb. 27: K-Liner: Prüfstempelunterseite beim Bruch der Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner (links), Bruch im Kurzliner-Laminat auf unglasierter sauberer-trockener Steinzeugoberfläche (mittig) und auf unglasierter sauberer-feuchter Steinzeugoberfläche (rechts); Beteiligung von Kurzliner-Laminat und Untergrund an der Bruchfläche bei fettig-feuchter Steinzeugoberfläche (unten)

Fazit

Der K-Liner zeigte sowohl bei den unglasierten Steinzeugoberflächen als auch bei den Betonoberflächen, mit Ausnahme der sehr nassen wassergelagerten Beton--Rohrhalbschale, sehr hohe Haftzugwerte, die die Anforderungen des DWA-M 143-20 und der DIBt-Zulassungsprüfungen deutlich überschreiten. Die durchgängig höchsten Haftzugwerte ergaben sich bei Kurzlinern auf unglasierten Steinzeugoberflächen. Hier wurden bei den Kurzlinern auf fettfreien Oberflächen im Vergleich zur fettbehafteten Oberfläche geringfügig höhere Werte gemessen (vgl. Tab. 17), ein signifikanter Einfluss der Fettrückstände auf die Haftzugfestigkeit lässt sich jedoch nicht eindeutig

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

ableiten, da ein Einfluss des Untergrunds auf das Bruchverhalten des Kurzliners auf fettiger Oberfläche nicht ausgeschlossen werden kann. Im Gegensatz dazu zeigte der Kurzliner auf der sehr nassen wassergelagerten Betonoberfläche einen sehr geringen Verbund, der deutlich unterhalb der Anforderungen des DWA-M 143-20 und der DIBt-Zulassungsprüfungen liegt. Bei den Betonrohren zeichneten sich leichte Tendenzen dahingehend ab, dass die Kurzliner auf fettfreier Oberfläche besser hafteten als bei Fettrückständen.

Bei den glasierten Steinzeugoberflächen ergaben sich die geringsten Haftzugfestigkeiten. Sowohl auf sauberer-trockener als auch auf fettig-feuchter Oberfläche konnten die Anforderungen des DWA-M 143-20 und der DIBt-Zulassungsprüfungen nicht erfüllt werden, während hingegen bei sauberer-feuchter Oberfläche höhere Haftzugwerte erzielt wurden, die den Anforderungen entsprechen. Allerdings sollte dies nicht unmittelbar auf die Feuchtigkeit zurückgeführt werden, da zum einen die Einzelwerte innerhalb des Probekörpers vergleichsweise stark schwankten und zum anderen bei den Werkstoffen Beton und unglasiertem Steinzeug keine signifikanten Unterschiede zwischen minimal befeuchteter und trockener Oberfläche ermittelt wurden. Bei glasierten Steinzeuguntergründen empfiehlt es sich somit, die Vorgaben des Verfahrenshandbuches zu berücksichtigen und glasierte Steinzeugrohre anzuschleifen [12]. Ebenfalls ist anzuraten, Fettrückstände zu entfernen und stark genässte Betonoberflächen vor dem Kurzlinereinbau abtrocknen zu lassen.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

2.3.3.4 Point-Liner®

Optischer Eindruck

Mit Ausnahme des Kurzliners, der in das gewässerte Betonrohr eingebaut worden war, wiesen sämtliche Kurzliner eine glatte Oberfläche ohne besondere Auffälligkeiten auf. Es waren lediglich bei sämtlichen feuchten Oberflächen (Beton und Steinzeug) in den Randbereichen der Kurzliner bzw. im Überschussharz kleine Bläschen im Harz entstanden, die bei den gewässerten Betonrohren am stärksten ausgeprägt waren (vgl. Abb. 30). Weder an den Kurzliner-Enden noch an den Schnittkanten der Rohrhalbschalen waren Ringspalte zwischen Kurzliner und Rohrwand ersichtlich. In Abb. 28 sind beispielhaft angebohrte und mit Prüfstempeln versehene Point-Liner® in Rohrhalbschalen dargestellt. Bei dem Kurzliner, der in das Betonrohr aus zwei gewässerten Halbschalen eingebracht worden war, zeigte sich eine unregelmäßige Struktur der Lineroberfläche im Überlappungsbereich der Glasfasermatten (vgl. Abb. 29, links). Darüber hinaus war eine Beule zwischen Rohrsohle und Kämpfer entstanden (Breite = ca. 3 cm, Länge = ca. 10 cm). Die Beule wurde nach Abschluss der Prüfungen aufgeschnitten, um festzustellen, ob ein Verbund zwischen Kurzliner und Rohrwand existierte (s. Abb. 29). Hier zeigte sich deutlich, dass der Kurzliner in diesem Bereich keinen Verbund mit der Rohroberfläche eingegangen war (vgl. Abb. 29, rechts).

Abb. 28: Mit Bohrungen und Prüfstempeln versehene Point-Liner® in Rohrhalbschalen aus Beton (links) und Steinzeug (rechts)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

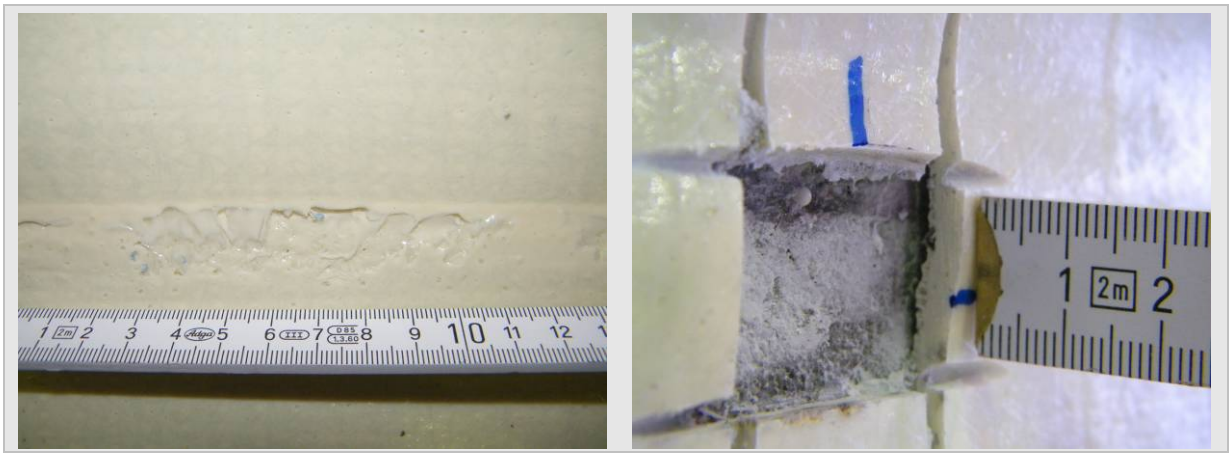


Abb. 29: In das gewässerte Betonrohr eingebauter Kurzliner: Überlappungsbereich mit unebener Oberfläche (links) und Bereich einer aufgeschnittenen Beule im Kurzliner (rechts)

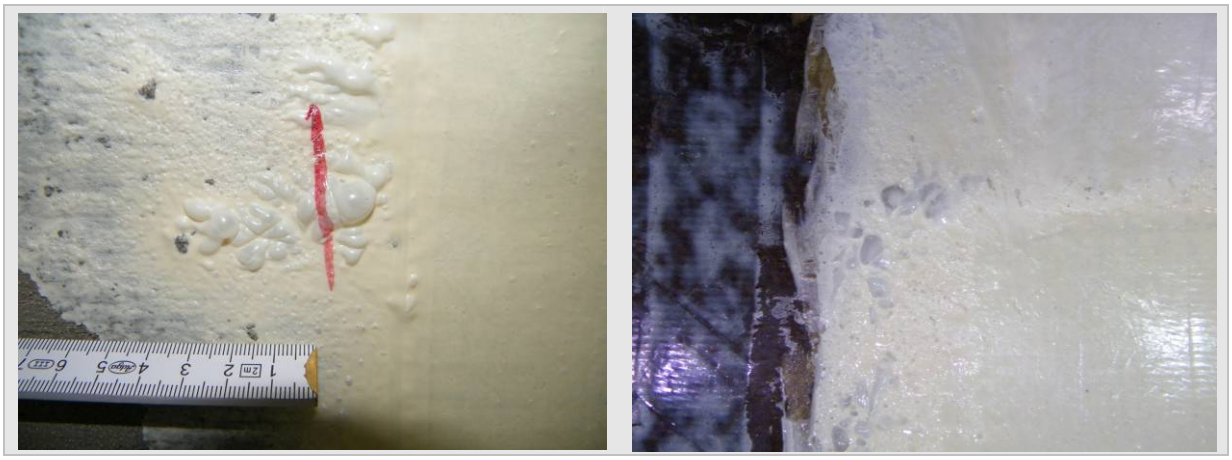


Abb. 30: Bläschen im Überschussharz bzw. am Point-Liner®-Ende, eingebaut auf feuchten Untergründen

Hafteigenschaften

In Tab. 18 sind die ermittelten Haftzugfestigkeiten mit Einzelwerten, Mittelwerten und Standardabweichungen dargestellt. Abbildungen der geprüften Stellen können den Prüfprotokollen im Anhang entnommen werden. Wie die Ergebnisse zeigen, wurden innerhalb des Rohrwerkstoffs „Steinzeug unglasiert“ mit Ausnahme eines Einzelwertes durchgängig hohe Haftzugfestigkeiten gemessen, sodass sich hier im Vergleich zu den anderen Werkstoffen das homogenste Bild abzeichnet. Bei den Betonrohren und glasierten Steinzeugrohren hingegen ergibt sich ein uneinheitlicheres Bild mit Werten über und unter 1,0 N/mm².

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Tab. 18: Haftzugfestigkeiten des Point-Liners® auf unterschiedlichen Untergründen

Rohroberfläche	Point-Liner Haftzugfestigkeit [N/mm²]		
	Steinzeug glasiert	Steinzeug unglasiert	Beton
sauber-trocken	0,26	> 4,18	≥ 4,81
	0,16	> 3,28	> 4,64
	0,96	> 3,03	> 5,05
	**≥ 1,13	> 3,06	> 4,97
	1,40	> 4,86	≥ 4,50
Mittelwert	**≥ 0,78**	**> 3,68**	**> 4,79**
Standardabweichung	0,49	0,72	0,20
sauber-feucht	0,51	**≥ 0,61	0,41
	> 1,48	≥ 3,06	1,13
	> 0,76	> 4,50	0,28
	0,80	> 2,94	0,30
	1,58	≥ 2,35	0,21
Mittelwert	**> 1,03**	**> 2,69**	**0,47**
Standardabweichung	0,42	1,26	0,34
fettig-feucht	1,92	> 2,18	**≥ 0,66
	> 1,82	≥ 2,33	**≥ 0,49
	> 1,92	≥ 3,37	**≥ 2,40
	1,90	≥ 3,35	1,38
	1,40	> 2,45	**≥ 0,62
Mittelwert	**> 1,79**	**> 2,74**	**≥ 1,11**
Standardabweichung	0,20	0,52	0,72
wassergelagert, abgetrocknete Oberfläche			* 0,00
			0,08
			0,32
			0,21
			0,26
Mittelwert			**0,17**
Standardabweichung			0,12
wassergelagert, nasse Oberfläche			0,38
			0,32
			0,26
			* 0,00
			* 0,00
Mittelwert			**0,19**
Standardabweichung			0,16

* Kurzliner löste sich bereits beim Bohren von der Rohrwandung
> Bruch zu 100 % im Untergrund oder in der Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner
≥ Untergrund am Bruch beteiligt, Bruchflächenanteil > 20 %
**≥ Untergrund mit geringem Bruchflächenanteil bis max. 20 % am Bruch beteiligt
Markierungen: kleinster (rot bzw. dunkel) und größter (grün bzw. hell) errechneter Einzelwert

Innerhalb des Werkstoffs **„Beton“** konnten auf der sauberen-trockenen Oberfläche mit Abstand die höchsten Haftzugwerte erzielt werden, die mit einem errechneten Mittelwert von 4,79 N/mm² und einem kleinsten Einzelwert von 4,50 N/mm² weit über den Mindestanforderungen des DWA-M 143-20[1] und der DIBt-Zulassungsprüfungen[2] liegen. Die tatsächlichen Haftzugfestigkeiten der Kurzliner liegen sogar noch höher,

[1] Mittelwert aus sechs Einzelprüfungen 1,5 N/mm², kleinster Einzelwert 1,0 N/mm² (Prüfung von Kurzlinern auf Steinzeug- und Betonplatten)
[2] Mittelwert aus sechs Einzelprüfungen 1,5 N/mm², kleinster Einzelwert 1,0 N/mm² (Prüfung von Kurzlinern in Steinzeugrohren)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

da sich bei drei Prüfstellen der Prüfstempel vom Kurzliner löste und bei zwei Prüfstempeln der Untergrund an der Bruchfläche beteiligt war.

Auf den feuchten bis nassen sowie fettigen Oberflächen war der Haftverbund deutlich schlechter. Hier wurden bei keiner der vier Oberflächen die Anforderungen erfüllt. Bei jeder Oberfläche lagen drei bis fünf Einzelprüfungen unterhalb von 1,0 N/mm². Auf den gewässerten Betonrohrhalbschalen wurden die geringsten Mittelwerte mit 0,17 N/mm² und 0,19 N/mm² ermittelt. Bei der feuchten sowie der fettig-feuchten Rohrhalbschale traten vereinzelt Werte über 1,0 N/mm² auf (vgl. Tab. 18), sodass sich Mittelwerte von 0,47 N/mm² (sauber-feucht) und 1,11 N/mm² (fettig-feucht) ergaben. Bei der fettig-feuchten Fläche haftete in geringen Teilbereichen Zement des Betonuntergrunds an, sodass die Werte mit „≥“ gekennzeichnet wurden, da eine Beteiligung des Untergrunds am Bruch nicht vollständig ausgeschlossen werden kann (vgl. Tab. 18 und Abb. 31).

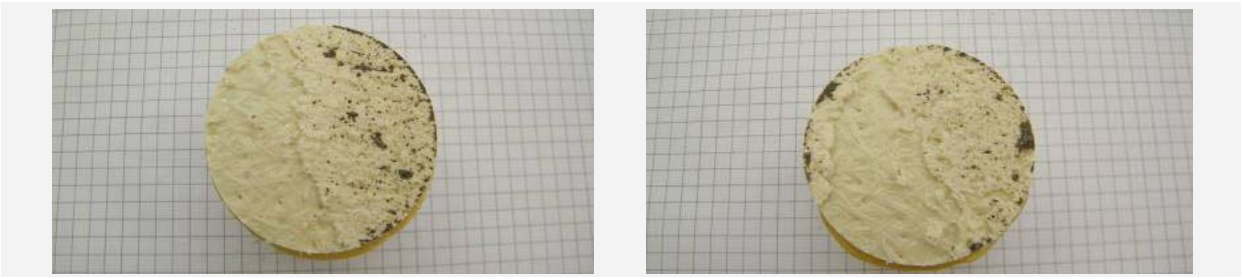


Abb. 31: Point-Liner®: In geringen Teilbereichen anhaftender Zement des Betonuntergrunds (Rohroberfläche fettig-feucht)

Bei den **glasierten Steinzeugoberflächen** haftete nur der Kurzliner auf der fettig-feuchten Oberfläche entsprechend den Anforderungen des DWA-M 143-20 und der DIBt-Zulassungsprüfungen. Hier wurden vergleichsweise konstante Werte zwischen 1,40 N/mm² und 1,92 N/mm² mit einem Mittelwert von 1,79 N/mm² erreicht, wobei die tatsächliche Haftzugfestigkeit des Kurzliners bei zwei Prüfstellen noch über der ermittelten Festigkeit lag, da die Verbundfuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner eher versagte (vgl. Tab. 18). Bei der sauberen-trockenen und der sauberen-feuchten Oberfläche schwankten die Einzelwerte deutlich zwischen 0,16 N/mm² und 1,40 N/mm² (sauber-trocken) bzw. 0,51 N/mm² und 1,58 N/mm² (sauber-feucht). Jeweils mindestens zwei Werte lagen unterhalb der geforderten 1,0 N/mm². Insbesondere weil die Haftzugwerte innerhalb der Probekörper teils erheblich schwankten, ist zu vermuten, dass die guten Haftzugwerte auf der fettig-feuchten Fläche nicht mit der Oberflächenbeschaffenheit zusammenhängen, sondern die Werte eher zufällig erzielt wurden.

Hervorzuheben ist, dass bei diesem Kurzlinersystem auch auf den glasierten Steinzeugflächen bei jeder Prüfstelle eine, wenn auch teils geringe, Haftzugfestigkeit gemessen wurde.

Auf den **unglasierten (gefrästen) Steinzeug**oberflächen wurden bis auf einen Einzelwert sehr hohe Haftzugwerte bei allen Kurzlinern gemessen. Auf dem sauberen-trockenen Untergrund haftete der Kurzliner am stärksten. Bei jeder der fünf Prüfflächen versagte die Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner, bevor die Haftzug-

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

festigkeit zwischen Kurzliner und Rohrwand erreicht werden konnte. Der errechnete Mittelwert von 3,68 N/mm² liegt somit unterhalb der tatsächlichen Haftzugfestigkeit. Auch bei der sauberen-feuchten und der fettig-feuchten Oberfläche löste sich an je zwei Prüfstellen zuerst der Prüfstempel vom Liner, sodass die tatsächlichen Haftzugfestigkeiten auch hier über den Mittelwerten von 2,69 N/mm² (sauber-feucht) und 2,74 N/mm² (fettig-feucht) liegen. Bei den jeweils restlichen drei Flächen haftete in Teilbereichen Steinzeugmaterial am abgezogenen Kurzliner, sodass eine Beteiligung des Untergrunds nicht ausgeschlossen werden kann (vgl. Abb. 32).

Abb. 32: Point-Liner®: In Teilbereichen anhaftender Steinzeuguntergrund (Rohroberfläche sauber-feucht)

Fazit

Der Point-Liner® zeigte auf den unglasierten Steinzeugoberflächen die besten Hafteigenschaften mit sehr hohen Haftzugwerten im Vergleich zu den anderen Werkstoffen, mit Ausnahme eines einzigen Einzelwertes. Die größten Haftzugkräfte wurden dabei auf der sauberen-trockenen Oberfläche gemessen. Auf glasierten Steinzeugoberflächen haftete der Kurzliner im Vergleich dazu deutlich schlechter. Hier wurden nur bei einem von drei Kurzlinern die geforderten Werte erreicht und es lagen teilweise erhebliche Schwankungen in den Einzelwerten vor. Bei den Betonoberflächen haftete der Kurzliner hervorragend auf der sauberen-trockenen Oberfläche. Allerdings zeigte er auf feuchten und/oder fettigen Flächen deutliche Schwächen. Die Haftzugwerte entsprachen hier auf keiner der Flächen den Anforderungen des DWA-Merkblatts und des DIBt.

Vor dem Hintergrund der z.T. geringen Haftzugfestigkeiten des Kurzliners auf glasierten Steinzeuguntergründen sollten die Vorgaben aus dem Verfahrenshandbuch berücksichtigt werden, die einen Oberflächenabtrag von glattwandigen Innenoberflächen fordern [16]. Darüber hinaus sollten Fettrückstände vollständig von den Oberflächen entfernt werden. Bei Betonrohren scheint es sinnvoll, die Kurzliner nicht unmittelbar nach der Hochdruckreinigung einzubauen, sondern die Oberfläche zunächst abtrocknen zu lassen.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

2.4 Gegenüberstellung der Ergebnisse und Empfehlungen für die Praxis

Im Rahmen der weiterführenden Untersuchungen wurden vier verschiedene Kurzlinerverfahren auf ihr Verbundverhalten zum Altrohr durch Messung von Haftzugfestigkeiten untersucht. Die Kurzliner wurden durch die Verfahrensanbieter selbst bzw. durch von ihnen benannte Fachfirmen auf jeweils elf unterschiedlich konditionierten Rohroberflächen eingebaut. Je Probekörper wurden fünf Haftzugwerte bestimmt, sodass insgesamt 220 Einzelwerte vorliegen. Die mittleren Haftzugfestigkeiten je Kurzlinerverfahren und Rohroberfläche sind in den nachfolgenden drei Diagrammen (Untergründe: Steinzeug glasiert, Steinzeug unglasiert und Beton) abgebildet.

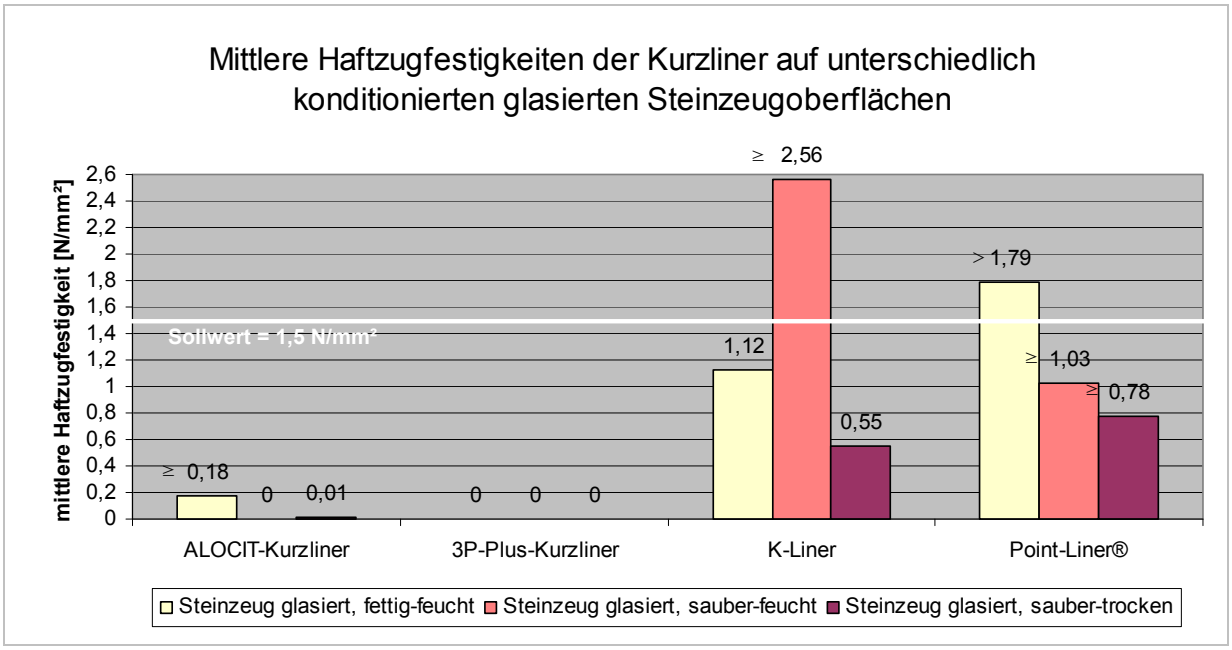


Abb. 33: Mittlere Haftzugfestigkeiten der vier Kurzlinerverfahren auf unterschiedlich konditionierten glasierten Steinzeuguntergründen
Bedeutung „>“: enthält mind. eine von fünf Prüfflächen, bei der Bruch zu 100 % im Untergrund oder in der Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner erfolgte;
Bedeutung „≥“: enthält mind. eine von fünf Prüfstellen, bei der neben dem Kurzliner auch der Untergrund an der Bruchfläche beteiligt war, jedoch keine Prüffläche, bei der Bruch zu 100 % im Untergrund oder in der Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner erfolgte

In Abb. 33 sind zunächst die mittleren Haftzugfestigkeiten der vier Kurzliner auf unterschiedlich konditionierten **glasierten Steinzeugoberflächen** dargestellt. Hier zeigt sich deutlich, dass der ALOCIT-Kurzliner (Methylmethacrylatharz) und der 3P-Plus-Kurzliner (Silikatharz) keinen nennenswerten Verbund zum Untergrund aufwiesen. Beim K-Liner (Epoxidharz) und beim Point-Liner® (Polyurethanharz) konnte zwar stets eine Verbundfestigkeit gemessen werden, diese unterschreitet jedoch bei jeweils zwei von drei Kurzlinern die Anforderungen des DWA-M 143-20[1] [6] und der DIBt-Zulassungsprüfungen[2] [7].

[1] Mittelwert aus sechs Einzelprüfungen 1,5 N/mm², kleinster Einzelwert 1,0 N/mm² (Prüfung von Kurzlinern auf Steinzeug- und Betonplatten)
[2] Mittelwert aus sechs Einzelprüfungen 1,5 N/mm², kleinster Einzelwert 1,0 N/mm² (Prüfung von Kurzlinern in Steinzeugrohren)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Bei den **unglasierten Steinzeuguntergründen** dagegen zeigen die mittleren Haftzugfestigkeiten bei nahezu allen Kurzlinern keine Schwächen. Lediglich die mittlere Haftzugfestigkeit des 3P-Plus-Kurzliners unterschreitet auf einem fettig-feuchten unglasierten Steinzeugrohr den Sollwert von 1,5 N/mm² (vgl. Abb. 34). Allerdings ist anzumerken, dass sowohl beim Point-Liner® als auch beim 3P-Plus-Kurzliner auf der sauberen-feuchten Oberfläche jeweils ein Einzelwert die Mindestanforderungen des DWA-M 143-20 und der DIBt-Zulassungsprüfungen von 1,0 N/mm² unterschritt. Die höchsten Mittelwerte sowie die durchgängig höchsten Einzelwerte wurden mit dem ALOCIT-Kurzliner und dem K-Liner erzielt. Signifikante Einflüsse von leichten Fettrückständen oder leichter Feuchtigkeit auf der Steinzeugoberfläche lassen sich bei diesen beiden Kurzlinerverfahren nicht ablesen, zumal so hohe Haftzugfestigkeiten erreichet wurden, dass bei zahlreichen Prüfungen die Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner versagte oder der Untergrund am Bruch beteiligt war. Sowohl beim Point-Liner® als auch beim 3P-Plus-Kurzliner wurden die höchsten Haftzugwerte auf sauberen-trockenen Flächen erzielt. Es zeichnen sich hier leichte Tendenzen dahingehend ab, dass Fettrückstände und Feuchtigkeit auf der Rohroberfläche einen Einfluss auf die Haftzugfestigkeit haben können.

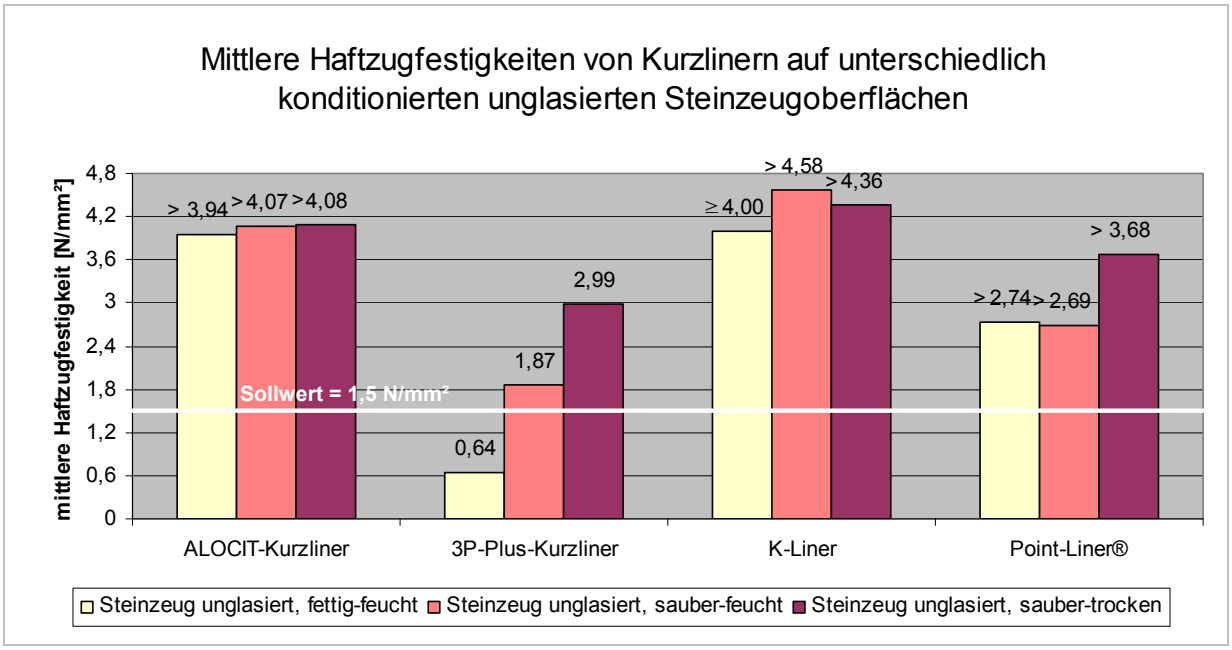


Abb. 34: Mittlere Haftzugfestigkeiten der vier Kurzlinerverfahren auf unterschiedlich konditionierten unglasierten Steinzeuguntergründen
Bedeutung „>“: enthält mind. eine von fünf Prüfflächen, bei der Bruch zu 100 % im Untergrund oder in der Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner erfolgte;
Bedeutung „≥“: enthält mind. eine von fünf Prüfstellen, bei der neben dem Kurzliner auch der Untergrund an der Bruchfläche beteiligt war, jedoch keine Prüffläche, bei der Bruch zu 100 % im Untergrund oder in der Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner erfolgte

Im Vergleich zu den glasierten Steinzeuguntergründen ist auf den unglasierten Flächen eine enorme Steigerung der mittleren Haftzugfestigkeiten zu erkennen. So liegt der über sämtliche Prüfungen alle Kurzlinerverfahren gewonnene Mittelwert auf glasierten Steinzeugrohren bei lediglich 0,67 N/mm², auf unglasierten Steinzeugrohren hingegen bei 3,30 N/mm². Somit wird deutlich, dass die Verbundfestigkeit eines

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Kurzliners auf Steinzeugrohren durch eine mechanische Vorbehandlung mit Abtrag der Glasur erheblich verbessert werden kann.

Voraussetzung für den Haftverbund eines Kurzliners mit der Rohrwand ist, dass auch der Untergrund eine entsprechende Haftzugfestigkeit aufweist. Insbesondere bei Werkstoffveränderungen in **Betonrohren**, z.B. durch Korrosion, muss daher der Beton bis in den ungeschädigten Bereich abgetragen werden. Bei der Präparierung der unterschiedlichen Betonoberflächen wurde davon ausgegangen, dass dieser Arbeitsschritt bereits erfolgt ist. So wurden für die Versuche Betonrohre ohne mechanische Vorbehandlung der Oberfläche verwendet. Auch auf ein Anrauhen der Oberfläche wurde verzichtet. In Abb. 35 sind die mittleren Haftzugfestigkeiten der Kurzliner auf den jeweils fünf unterschiedlich konditionierten Betonuntergründen dargestellt.

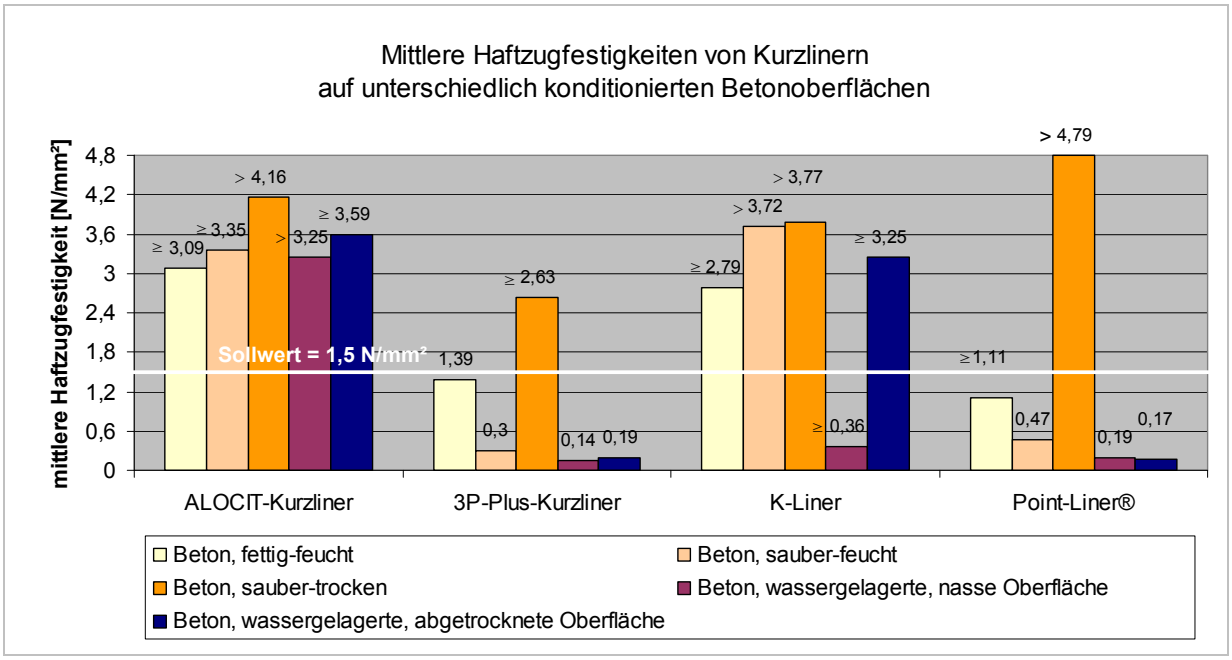


Abb. 35: Mittleren Haftzugfestigkeiten der vier Kurzlinerverfahren auf unterschiedlich konditionierten Betonuntergründen
Bedeutung „>“: enthält mind. eine von fünf Prüfflächen, bei der Bruch zu 100 % im Untergrund oder in der Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner erfolgte;
Bedeutung „≥“: enthält mind. eine von fünf Prüfstellen, bei der neben dem Kurzliner auch der Untergrund an der Bruchfläche beteiligt war, jedoch keine Prüffläche, bei der Bruch zu 100 % im Untergrund oder in der Klebefuge zwischen Prüfstempel und Kurzliner erfolgte

Im Ergebnis zeigte der ALOCIT-Kurzliner (Methylmethacrylatharz) die besten Ergebnisse mit durchgängig hohen Haftzugwerten auf sämtlichen Betonoberflächen. Ebenso ergaben sich für den K-Liner (Epoxidharz), mit Ausnahme des Kurzliners auf dem wassergelagerten Betonrohr mit nasser Oberfläche, sehr gute Verbundeigenschaften. Auch hier liegen die mittleren Haftzugfestigkeiten, mit zuvor genannter Einschränkung, auf hohem Niveau. Demgegenüber konnten der 3P-Plus-Kurzliner (Silikatharz) und der Point-Liner® (Polyurethanharz) nur auf sauberen-trockenen Betonuntergründen hohe Haftzugfestigkeiten erzielen. Bei Feuchtigkeit und/oder Fettrückständen auf der Oberfläche wurden die Sollwerte des DWA-M 143-20 und der DIBt-Zulassungsprüfungen unterschritten.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

In der Einzelbetrachtung der Kurzlinerverfahren lassen sich nicht in jedem Fall eindeutige Zusammenhänge zwischen Differenzen in den Haftzugwerten und dem Vorhandensein von Feuchtigkeit oder Fettrückständen erkennen. Insbesondere vor dem Hintergrund des beschränkten Probenumfangs können allenfalls einzelne vorsichtige Rückschlüsse gezogen werden. So fällt im Gesamtblick aller Verfahren folgendes auf: Bei jedem der Verfahren wurden die höchsten Haftzugwerte auf sauberen-trockenen Betonoberflächen errechnet. Außerdem wurde bei drei von vier Verfahren der geringste Haftverbund auf den zuvor wassergelagerten Betonoberflächen ermittelt, während die Haftzugwerte auf den nur angefeuchteten Oberflächen (trockene Rohre, mit Wasser eingesprüht) geringfügig bis deutlich darüber lagen. Die mittleren Haftzugwerte auf fettig-feuchten Oberflächen lagen bei jedem Verfahren unterhalb der Werte der sauberen-trockenen Oberfläche.

Der 3P-Plus-Kurzliner und der Point-Liner® zeigten in den Tendenzen ein vergleichbares Verhalten. In beiden Fällen wurden die mit Abstand höchsten Werte auf sauberen-trockenen Betonoberflächen erreicht. Die schlechtesten Werte wurden auf den sauberen-feuchten Flächen gemessen. Dabei nehmen die Haftzugwerte zwischen den nur leicht befeuchteten Betonrohren (trockene Rohre mit Wasser eingesprüht) und den nahezu wassergesättigten Oberflächen (wassergelagerte Rohre) ab. Auffällig ist, dass auf den fettig-feuchten Oberflächen höhere Haftzugwerte erzielt wurden, als auf den sauberen-feuchten Flächen. Inwieweit die gefetteten Oberflächen dazu beigetragen haben, dass der Beton weniger Feuchtigkeit aufnehmen konnte und dadurch die Unterschiede in den Haftzugwerten begründet liegen, kann nicht abschließend geklärt werden.

Insgesamt zeichnet sich somit ab, dass die Feuchtigkeit einer Betonoberfläche einen Einfluss auf die Haftwirkung von Kurzlinern haben kann. Ebenso können auch Fettrückstände den Haftverbund herabsetzen.

Empfehlungen zur Untergrundvorbereitung

Die Untersuchungen an Kurzlinern auf **glasierten Steinzeugflächen** bestätigten, dass auf das in den meisten Verfahrenshandbüchern sowie im DWA-M 143–7 [2] geforderte Fräsen/Anschleifen der Glasur nicht verzichtet werden sollte. Mit dem K-Liner (Epoxidharz) und dem Point-Liner® (Polyurethanharz) konnten zwar bei jeweils einem von drei Kurzlinern gute Haftzugwerte erzielt werden, allerdings ist nicht klar zu identifizieren, welche Randbedingungen zu diesem guten Haftverbund führten. Da die Prüfungen an Kurzlinern auf unglasierten (gefrästen) Flächen im Schnitt sehr gute Ergebnisse brachten, sind Fräsarbeiten an glasierten Steinzeugrohren grundsätzlich zu empfehlen, um möglichst gute Voraussetzungen für die Haftung zu schaffen. Im DWA-M 143-7 wird empfohlen, die Glasur an beiden Kurzliner-Enden auf einer Breite entsprechend dem halben Rohrdurchmesser, mindestens jedoch auf 30 cm, „anzuschleifen“. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Haftwirkung innerhalb eines Kurzliners schwanken kann, sollten diese 30 cm als Mindestbreite unbedingt eingehalten werden, um Umläufigkeiten am Kurzliner zu vermeiden. Fraglich ist, ob ein Anschliefen der Glasur tatsächlich ausreichend ist. Da zum einen bei einigen Prüfstempeln die Glasur in Teilbereichen mit abgelöst wurde und zum anderen sehr

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

gute Haftzugwerte bei komplett entfernter Glasur nachgewiesen wurden, empfiehlt es sich, die Glasur vollständig abzutragen.

Auf den **unglasierten (gefrästen)** Steinzeugflächen konnten insgesamt die höchsten und die homogensten Haftzugwerte erreicht werden. Der ALOCIT-Kurzliner (Methylmethacrylatharz) und der K-Liner (Epoxidharz) hafteten sowohl auf den sauberen-trockenen als auch auf feuchten oder mit leichten Fettrückständen behafteten Flächen hervorragend. Beim 3P-Plus-Kurzliner (Silikatharz) und beim Point-Liner® zeichneten sich leichte Tendenzen dahingehend ab, dass sich Feuchtigkeit und Fettrückstände mindernd auf die Haftzugfestigkeit auswirken können, wobei die Anforderungen des DWA-M 143-20 und der DIBt-Zulassungsprüfungen meist noch erreicht wurden.

Eine ähnliche Tendenz zeigte sich auch bei den **Betonrohren**. Während der ALOCIT-Kurzliner (Methylmethacrylatharz) auf sämtlichen Oberflächen sehr hohe Haftzugwerte lieferte und auch der K-Liner (Epoxidharz), mit Ausnahme des Kurzliners auf sehr nasser wassergelagerter Oberfläche, sehr gute Werte erzielte, führten beim Point-Liner® (Polyurethanharz) und beim 3P-Plus-Kurzliner (Silikatharz) Feuchtigkeit und Fettrückstände zu deutlichen Einbußen in der Haftzugfestigkeit, sodass die Mindestanforderungen des DWA-M 143-20 und der DIBt-Zulassungsprüfungen unterschritten wurden.

Somit bestätigten die Untersuchungen, dass die **Hafteigenschaften** von Kurzlinern zum einen **vom Kurzliner- bzw. Harzsystem** und zum anderen von der **Untergrundvorbereitung abhängig** sind. Leichte Fettrückstände und Feuchtigkeit auf der Altrohroberfläche führten nicht bei jedem Verfahren zu einer mangelhaften Verbundfestigkeit zwischen Kurzliner und Untergrund, bei einigen Verfahren waren jedoch deutliche Einbußen zu verzeichnen, die zu einer Unterschreitung der Mindestanforderungen des DWA-M 143-20 und der DIBt-Zulassungsprüfungen führten. Vor dem Hintergrund dieser Prüfergebnisse und der Tatsache, dass bei den Untersuchungen lediglich leichte Fettrückstände nach Hochdruckreinigung simuliert wurden, sind gründliche **Reinigungsarbeiten** vor einem Kurzlinereinbau grundsätzlich zu empfehlen. Bei Verfahren, die empfindlich auf Fettrückstände reagieren, sollte der Einsatz von Fettlösern in Erwägung gezogen werden. Die Reinigungsarbeiten sollten unmittelbar vor dem Kurzlinereinbau erfolgen. Um eine erneute Verschmutzung der Kanalwandung sowie Wasserrückstände in der Rohrsohle beim Setzten eines Kurzliners zu vermeiden, sollten der Kanalabschnitt **abwasserfrei** gehalten und somit die Forderungen des DWA-M 143-7 berücksichtigt werden. Für Kurzliner bzw. Harze, die weniger gut auf feuchten Betonrohrwänden haften, scheint es sinnvoll, die Rohroberflächen nach der Spülung abtrocknen zu lassen. Grundsätzlich sollten **Betonoberflächen** bei Materialveränderungen bis **in die ungeschädigten Bereiche abgetragen** werden, um eine ausreichende Haftzugfestigkeit des Untergrunds sicherzustellen.

Da die Untergrundvorbereitung einen wesentlichen Einfluss auf die spätere Qualität eines Kurzliners hat, kann auch der Auftraggeber zur **Qualitätssicherung** beitragen, indem notwendige Spül- und Fräsarbeiten sowie deren Dokumentation explizit mit ausgeschrieben und in die Reparaturkosten mit einkalkuliert werden.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Auch ein Vergleich der Ergebnisse der weiterführenden Haftzuguntersuchungen mit denen des **IKT-Warentests „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“** [1] bestätigt, dass die Untergrundvorbereitung einen entscheidenden Einfluss auf den späteren Haftverbund eines Kurzliners mit dem Altrohr hat, dieser jedoch auch vom Kurzlinerverfahren bzw. Harzsystem abhängig ist. Im IKT-Warentest wurde den Verfahrensanbietern freigestellt, in welchem Umfang sie Untergrundvorbereitungen vornehmen, damit die aus ihrer Sicht notwendigen Vorarbeiten für eine gute Qualität des Kurzliners getroffen werden. Es zeigte sich, dass die Anbieter ihre Vorarbeiten, insbesondere Fräsarbeiten, in sehr unterschiedlichem Umfang durchführten. Die zeitlich umfangreichsten Arbeiten für zwölf Kurzlinereinbauten fanden beim 3P-Plus-Kurzliner mit 37 Stunden Dauer statt. Hier wurden Beton- und Steinzeugleitungen mit je zehn Spüldurchgängen gereinigt (jeweils zwei davon mit Fettlöser) und in den Steinzeugleitungen zusätzlich die Glasur auf der gesamten Einbaulänge des Kurzliners entfernt. Die kürzesten Vorarbeits-Zeiten ergaben sich beim ALOCIT-Kurzliner (rund acht Stunden), K-Liner (rund acht Stunden) und KM-Kurzliner (rund sieben Stunden). Hier wurden deutlich weniger Spüldurchgängen der Leitungen angesetzt und kein Fettlöser verwendet. Die Fräsarbeiten wurden auf das Entfernen der Glasur an den Kurzliner-Enden und in den Randbereichen der Schadstellen (ALOCIT-Kurzliner), das Entfernen der Glasur in Ringen am Kurzliner-Ende bzw. an den Schadensbildern (KM-Kurzliner) oder auf ein Anrauhen der Glasur auf gesamter Kurzlinerlänge (K-Liner) beschränkt (vgl. [1] Kapitel 4.2.1). Da der 3P-Plus-Kurzliner - zusammen mit dem KM-Kurzliner - beim IKT-Warentest die besten Ergebnisse erzielte, dieser bei den weiterführenden Haftzugprüfungen jedoch am empfindlichsten auf Fettrückstände, Feuchtigkeit und glatte glasierte Flächen reagierte, kann davon ausgegangen werden, dass insbesondere bei diesem Kurzliner-System gute Sanierungsergebnisse nur bei umfangreicher Untergrundvorbereitung erreicht werden können.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

3 Sanierungen unter Grundwasserzutritt und Außenwasserdruck

3.1 Versuchsprogramm

Für den Einsatz ausgewählter Reparaturverfahren unter zuströmendem Grundwasser und äußerem Wasserdruck wurden zwei unterschiedliche Versuchsaufbauten konzipiert. Der erste Teil der Versuche fand im „mittelformatigen IKT-Versuchsstand“ (Stahlbehältnis L/B/H = 4,5/2,0/2,0 m) mit **erdüberdeckten Teststrecken** und einem maximalen Wasserstand von 1,5 m über Rohrsohle statt. Für den zweiten Teil der Versuche wurde ein Versuchsaufbau mit **freiliegenden Teststrecken** gewählt, an denen Wasserstände von 5 m über der Rohrsohle eingestellt werden konnten.

Für den ersten Versuchspart mit **erdüberdeckten Teststrecken** wurden insgesamt fünf Verfahren basierend auf den Ergebnissen der Dichtheitsprüfungen aus dem IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ [1] ausgewählt. Hier wurden die hinsichtlich des Prüfkriteriums „Dichtheit“ jeweils besten Verfahren aus den drei Verfahrensgruppen (Kurzliner, Innenmanschetten, Injektions- bzw. Spachtel-/ Verpressverfahren) einbezogen, ergänzt durch Verfahren mit „sehr guten“ bis „guten“ Prüfergebnissen bei den Dichtheitsprüfungen. Mit jedem der fünf Reparaturverfahren wurden drei undichte Muffen in Kies-/Sand-überdeckten Steinzeugleitungen unter zuströmendem Wasser saniert. Während der Sanierungsarbeiten wurde der Wasserstand auf Rohrscheitelhöhe eingestellt und nach Abschluss der Arbeiten für rund 24 Stunden konstant gehalten. Im Anschluss wurde der Wasserstand für weitere 72 Stunden auf 1,50 m über Rohrsohle angehoben. Die sanierten Muffen wurden währenddessen auf eintretendes Wasser kontrolliert. Tab. 19 gibt einen Überblick zu den eingesetzten Verfahren.

Tab. 19: Eingesetzte Verfahren beim Versuchsaufbau mit Kies-/Sand-überdeckten Steinzeugrohren und Kurzzeit-Wasserdruck (72 h) von 1,50 m über Rohrsohle

Verfahrensgruppe	Reparaturverfahren
Injektions- und Spachtel-/Verpressverfahren	o Janßen Riss- und Scherbensanierung o KA -TE PMO - Verfahren
Kurzliner	o 3P-Plus-Kurzliner o KM - Kurzliner
Innenmanschetten	o Quick-Lock mit einseitiger Aufbördelung

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Für Verfahren, die bei der Reparatur (teils) Sanierungsmaterial in das umgebende Erdreich einpressen, kann die Durchlässigkeit des Bodens für die Einsatzfähigkeit des Verfahrens von Bedeutung sein [17]. Bei den im Rahmen des Projektes betrachteten Reparaturverfahren trifft dies auf die Injektions- bzw. Spachtel-/ Verpressverfahren zu. Vor diesem Hintergrund wurde ein ergänzender Versuchsaufbau mit bindigem Boden erstellt. Entsprechend dem Versuchsaufbau mit Kies-/Sand-Überdeckung wurden jeweils drei undichte Muffen unter zuströmendem Wasser saniert (Wasserstand auf Rohrscheitelhöhe) und der Wasserstand zunächst für 24 Stunden nach Abschluss der Sanierungsarbeiten aufrechtgehalten. Anschließend wurde der Wasserstand für 1.000 Stunden als Langzeitversuch auf rund 1,50 m über Rohrsohle gehalten. Für diesen Versuchsaufbau wurde lediglich eines der zuvor zwei geprüften Injektions- bzw. Spachtel-/ Verpressverfahren eingesetzt (vgl. Tab. 20), da nur einer der Anbieter eine Eignung seines Verfahrens für diesen Versuchsaufbau sah.

Tab. 20: Eingesetzte Verfahren beim Versuchsaufbau an mit bindigem Boden überdeckten Steinzeugrohren und Langzeit-Wasserdruck (1.000 h) von 1,50 m über Rohrsohle

Verfahrensgruppe	Reparaturverfahren
Spachtel-/Verpressverfahren	o KA -TE PMO - Verfahren

Der zweite Versuchsaufbau mit **freiliegenden Teststrecken** ohne Bodenüberdeckung wurde gewählt, um bereits während der Sanierung stark drückendes Grundwasser simulieren und mögliche Einflüsse auf Sanierungen durch Auswaschen/Ausspülen von Harzen aufzunehmen zu können. Bei diesem Versuchsaufbau wurden undichte Muffenverbindungen mit Außenmanschetten abgedichtet und über Ventile ein Wasserdruck von 0,5 bar aufgebracht, um einen Wasserstand von 5 m über der Rohrsohle zu simulieren. Der Wasserstand wurde im Anschluss an die Sanierungsarbeiten als Langzeitversuch für weitere 1.000 Stunden (rund 42 Tage) beibehalten. Die sanierten Muffen wurden in regelmäßigen Abständen optisch auf Wassereintritt untersucht. Bei diesem Versuchsaufbau kamen die zuvor mit Bodenüberdeckung getesteten Kurzliner-Verfahren zum Einsatz (s. Tab. 21). Ein Einsatz der Injektions- bzw. Spachtel-/Verpressverfahren war bei diesem Versuchsaufbau nicht möglich, da diese umliegendes Erdreich für die Harzverpressung benötigen.

Tab. 21: Eingesetzte Verfahren beim Versuchsaufbau an freiliegenden Steinzeugrohren und Langzeit-Wasserdruck (1.000 h) von 5 m über Rohrsohle

Verfahrensgruppe	Reparaturverfahren
Kurzliner	o 3P-Plus-Kurzliner o KM - Kurzliner

Einzelheiten zu den Versuchsaufbauten und Prüfabläufen werden in den Abschnitten 3.1.1 und 3.1.2 erläutert.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

3.1.1 Untersuchungen an erdüberdeckten Teststrecken

Für den Versuchsaufbau mit erdüberdeckten Leitungen wurde ein Stahlbehälter (L/B/H = 4,5/2,0/2,0 m) mit einer PE-Innenauskleidung abgedichtet, die es ermöglichte, eine von außen zugängliche Teststrecke durch den Versuchsstand zu legen. Durch die PE-Innenauskleidung konnte der Versuchsstand geflutet werden, sodass über die simulierten Schadstellen in der Teststrecke Wasser eintrat (Abb. 36).

Abb. 36: Versuchsstand mit noch unüberdeckter Leitung aus Steinzeug (links); Versuchsstand nach Einerdung der Teststrecke (mittig); Wasserzufluss bei den Reparaturen (rechts)

Insgesamt wurden aufeinanderfolgend fünf Teststrecken aus Steinzeugrohren DN 300 mit **Kies-/Sand-Überdeckung** in den Versuchsstand eingebaut (vgl. Abb. 36). In die Teststecken waren je Durchgang drei undichte Muffen integriert, über die während der Reparaturen Wasser einströmen konnte. Die undichten Muffen wurden durch Zusammenstecken von Muffe und gekürztem Spitzende mit einer beschädigten Ringdichtung realisiert. Die Ringdichtung wurde mit acht Fehlstellen durch Herausschneiden von Gummi versehen (vgl. Abb. 37), sodass eine deutliche Undichtigkeit ohne nennenswerte Sandeinträge in die Leitung entstand. Das Wasser drang bei diesem Versuchsaufbau über die undichten Muffe ein, ohne dass sich Wasserstahlen bildeten (vgl. Abb. 36, rechts). Zur Überdeckung der Teststrecken wurde ein Sand-Kies-Gemisch (schwach mittelsandiger Kies, Durchlässigkeitsbeiwert k_f zwischen 10^{-2} und 10^{-6} m/s [18]) verwendet.

Abb. 37: Gekürztes Steinzeugrohr (links); Dichtring mit Fehlstellen (mittig); Undichtigkeit der Muffe bei Wasserfüllung des Rohres (rechts)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Während der Reparaturarbeiten wurde im Versuchsstand ein Wasserpegel auf Rohrscheitelhöhe der Teststrecke erzeugt. Nach Fertigstellung der drei Muffensanierungen wurde der Wasserpegel zunächst für 24 Stunden auf Rohrscheitelhöhe gehalten und anschließend die Dichtheit der Reparaturstellen mittels optischer Kontrolle auf Wassereintritte geprüft. Nach Abschluss der Prüfung wurde der Wasserpegel auf ca. 1,50 m über Rohrsohle angehoben und für rund 72 Stunden gehalten. Anschließend erfolgte eine erneute optische Kontrolle auf Wassereintritte an den Reparaturstellen. Eine Übersicht der Prüfparameter zeigt Tab. 22.

Tab. 22: Parameter der Außenwasserdruckprüfungen bei Versuchsaufbau mit Kies-/Sand-Gemisch

Zeitpunkt	Wasserstand	Dauer
Während der Sanierungen	auf Rohrscheitelhöhe	bis Sanierungsfertigstellung
Nach der Sanierungen	auf Rohrscheitelhöhe	24 Stunden
	1,50 m über der Rohrsohle	72 Stunden

Um exemplarisch den Einfluss der Durchlässigkeit des umgebenden Erdreiches auf das Sanierungsergebnis zu untersuchen, wurde in einem weiteren Versuchdurchgang anstelle des nicht bindigen Sand-Kies-Gemisches ein schwach durchlässiger, **bindiger Boden** (Schluff, Durchlässigkeitsbeiwert k_f zwischen 10^{-5} bis 10^{-7} m/s [18]). Bei diesem zeitlich letzten Versuchsaufbau (vgl. Abb. 38) konnte die Versuchsdauer auf 1.000 Stunden ausgedehnt und der Wasserpegel von rund 1,50 m als Langzeitversuch gehalten werden. Die Prüfparameter sind in Tab. 23 zusammengefasst.

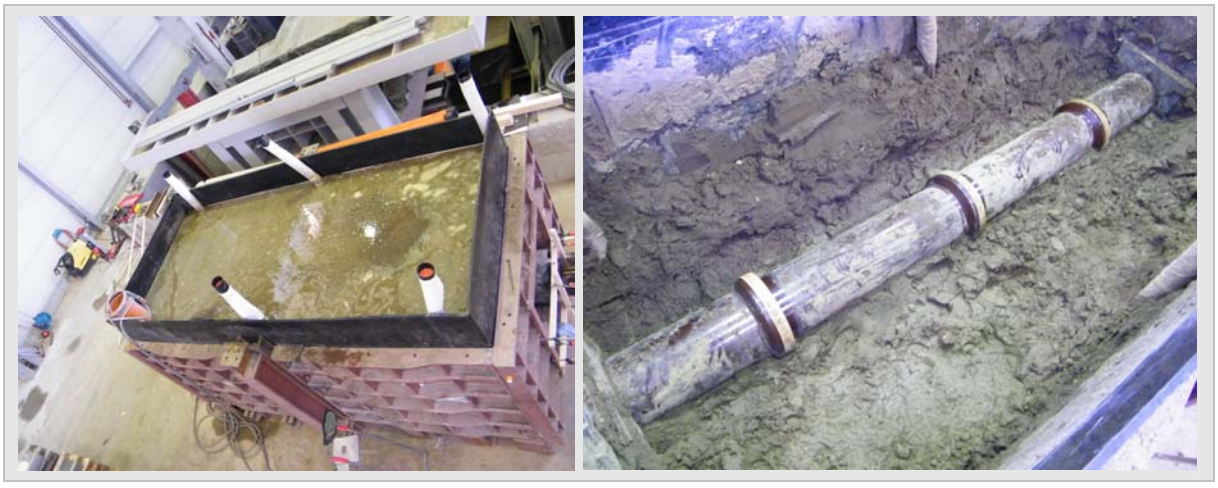


Abb. 38: Gefluteter Versuchsstand mit bindigem Boden (links); frei gelegte Teststrecke beim Ausbau (rechts)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Tab. 23: Parameter der Außenwasserdruckprüfungen bei Versuchsaufbau mit bindigem Boden

Zeitpunkt	Wasserstand	Dauer
Während der Sanierungen	auf Rohrscheitelhöhe	bis Sanierungsfertigstellung
Nach der Sanierungen	auf Rohrscheitelhöhe	24 Stunden
	1,50 m über der Rohrsohle	1.000 Stunden

3.1.2 Untersuchungen an freiliegenden Teststrecken

Bei den freiliegenden Teststrecken wurde ein Versuchsaufbau gewählt, der typischerweise für die DIBt-Zulassung von Kurzlinern zur Überprüfung der Dichtheit bei Außenwasserdruck angewendet wird [7]. Dazu wurden glasierte Steinzeugrohre mittig und senkrecht zur Rohrachse mit einer Trennscheibe durchschnitten und die Stirnflächen der Rohrabschnitte in einem Abstand von zwei Zentimetern voreinander positioniert. Der Bereich der Trennfuge wurde mit einer Manschettendichtung Typ 2B von der Steinzeug Abwassersysteme GmbH von außen abgedichtet (vgl. Abb. 39). Die Manschettendichtungen waren im Vorfeld durch Vulkanisation mit zwei um 180° versetzten Ventile ausgestattet worden (vgl. Abb. 39), um ein Entlüften und Befüllen des Ringraums mit Wasser zu ermöglichen und einen Wasserdruck aufbauen zu können.

Die Sanierungsaufgabe bestand darin, den Spalt von 2 cm (Simulation einer undichten Muffe) mit Kurzlinern abzudichten. Den ausführenden Firmen wurde dabei frei gestellt, im welchem Umfang Vorarbeiten vorgenommen werden.

Abweichend von der Prüfung im Rahmen der DIBt-Zulassung für Kurzliner [7], bei der der Wasserdruck von 0,5 bar erst nach Einbau des Kurzliners aufgebaut wird, wurde hier bereits während der Vor- und Reparaturarbeiten eindringendes Wasser simuliert, indem eine Wasserzuleitung mit Druckminderer (0,5 bar) an ein Ventil angeschlossen wurde. Zum Schutz der Versuchseinrichtung wurde zwischen Rohraußenwand und Manschette ein Vlies eingesetzt, um ein Verkleben der Ventile mit Harz zu vermeiden. Während der Vor- und Reparaturarbeiten trat so Wasser über den umlaufenden Spalt („undichte Muffe“) in das Rohr ein, ohne dass sich jedoch spritzende Wasserstrahlen bildeten (vgl. Abb. 40). Mit Setzen der Sanierungspacker baute sich ein äußerer Wasserdruck auf die Kurzliner von 0,5 bar auf. Dieser Wasserdruck wurde während der Sanierungsarbeiten und im Anschluss daran für 1.000 Stunden aufrecht erhalten.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Abb. 39: Elastomer-Manschette mit zwei Ventilen zur Wasserbefüllung und Entlüftung (links); Montage einer Manschettendichtung DN 200 (mittig); montierte Manschettendichtung DN 200 (rechts)

Entsprechend der Tab. 21 wurden zwei Kurzliner-Verfahren im Rahmen des beschriebenen Versuchsaufbaus untersucht (3P-Plus-Kurzliner, KM-Kurzliner). Der Versuchsaufbau wurde für jedes der ausgewählten Reparaturverfahren in den Nennweiten DN 200, DN 300 und DN 500 erstellt, so dass je Verfahren drei Reparaturen vorzunehmen waren. Abb. 40 (links) zeigt den vorbereiteten Versuchsaufbau für einen Verfahrenseinsatz.

Unmittelbar nach Fertigstellung der Kurzliner wurde optisch überprüft, ob an der Reparaturstelle Wasser eintrat oder optische Auffälligkeiten, wie beispielsweise Beulen, bestanden. Um auch Langzeiteinflüsse auf die Verbundfestigkeit und Dichtheit der Kurzliner zu erfassen, wurde der Wasserdruck über 1.000 Stunden (≈ 42 Tage) aufrechterhalten. Einflüsse können beispielsweise durch ein Schrumpfen bzw. chemische Veränderungen der Harzen entstehen.

Während dieser Versuchszeit wurden die Reparaturstellen in regelmäßigen Abständen optisch auf Wassereintritte kontrolliert. Der Wasseraußendruck, der nach Abschluss der Sanierungsarbeiten über einen Prüfbehälter in 5 m Höhe über der Rohrsohle erzeugt wurde, wurde regelmäßig überprüft.

Abb. 40: Ausschnitt der Teststrecken in den Nennweiten DN 200, DN 300 und DN 500 (links); Wassereintritt in ein Rohr vor der Sanierung (rechts)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

3.2 Verfahrenseinsätze und Ergebnisse

Nachfolgend werden die Reparaturarbeiten mit den fünf untersuchten Verfahren beschrieben. Insbesondere werden Informationen zu den eingesetzten Materialien, zur Art und dem Umfang der Untergrundvorbereitung sowie zum Vorgehen bei den Reparaturarbeiten dargestellt.

3.2.1 Janßen Riss- und Scherbensanierung

Die Janßen Riss- und Scherbensanierung wurde für Reparaturen der mit **Sand-Kies-Gemisch** überdeckten Teststrecken eingesetzt (vgl. 3.1.1). Die Reparaturen fanden unter zuströmendem Wasser statt (Wasserstand auf Rohrscheitelhöhe) und wurden von der Umwelttechnik Franz Janßen GmbH, Goch ausgeführt.

Bei dem Reparaturverfahren wird das Zweikomponenten-Polyurethanharz mit der Bezeichnung „JaGoPur“, bestehend aus den Komponenten A (Polyurethanharz) und B (Polyisocyanat), eingesetzt. Angaben zu den Verarbeitungs- und Aushärtezeiten sowie zum Mischungsverhältnis von „JaGoPur“ können Tab. 24 entnommen werden.

Tab. 24: Mischverhältnis, Mischzeit und Aushärtezeit des Harzes bei der Janßen Riss- und Scherbensanierungsverfahren (lt. Anbieter)

Harz	Mischverhältnis A:B (Masse)	Mischzeit	Verarbeitungszeit	Aushärtezeit
JaGoPur	1:1	wenige sec.	ca. 2 min	45 Minuten Vollständige Durchhärtung nach ca. 48 Stunden

Einbaubeschreibung

Bei der Janßen Riss- und Scherbensanierung werden als vorbereitende Arbeitsschritte Fräsarbeiten an den Schadstellen abhängig vom Schadensbild vorgenommen. Im Rahmen des IKT-Warentests „Reparatur für Hauptkanäle“ wurden beispielsweise Löcher an Rissenden in die Rohrwand gefräst, um ein Fortschreiten der Risse während der Reparaturarbeiten zur vermeiden. Darüber hinaus wurden an Ausbrüchen Rohrmaterial von den Rändern abgetragen und Muffen sowie Risse aufgeweitet. Mit einer anschließenden Kanalreinigung werden Fräsrückstände und Ablagerungen entfernt.

Für den eigentlichen Reparaturvorgang wird abhängig von der Schadensausdehnung ein Injektionsspacker gewählt und mit einem Trennmittel beschichtet. Der Injektionsspacker wird unter Zuhilfenahme einer Seilwinde an der Schadstelle platziert und mit Druckluft aufgeweitet. Über Schläuche werden die beiden Komponenten des Polyurethanharzes zum Injektionsspacker geführt und über eine Verpressöffnung in die Schadstelle injiziert. Unmittelbar vor der Verpressöffnung in der Harzzuleitung befindet sich ein Statikmischer, über den die beiden Harzkomponenten miteinander vermischt werden. Nach Abschluss des Verpressvorgangs verbleibt der Packer noch ca. 45 Minuten expandiert an der Schadstelle.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Bei den Injektionen unter zuströmendem Wasser fanden als vorbereitende Maßnahme zunächst Fräsarbeiten statt. Die drei undichten Muffen wurden mit einem Fingerfräser (Ø 25 mm, vgl. Abb. 41) ringsherum aufgefräst. Für die vorliegenden Schadensbilder wurde ein Verpresspacker mit einer Länge von etwa 90 cm verwendet (vgl. Abb. 41). Der Verpressdruck, mit dem das Polyurethanharz in die Schadstellen injiziert wurde, lag bei ca. 1,0 bar. Nach dem Injektionsvorgang verblieb der Verpresspacker zwecks Aushärtung noch rund 45 Minuten expandiert an den Reparaturstellen. Vor jedem Injektionsvorgang wurde eine Harzprobe entnommen, um anhand der Reaktionszeit das Mischverhältnis (vgl. Tab. 24) zu überprüfen. Je Reparaturstelle wurden Harzmengen zwischen 14,5 und 28 kg verpresst (s. Tab. 25).

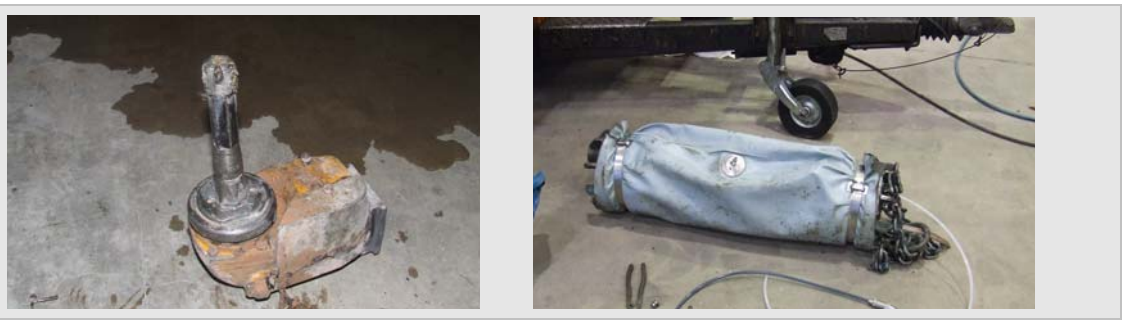


Abb. 41: Fingerfräser für die Untergrundvorbereitung (links); Verpresspacker (mittig);

Im Verlauf der Reparaturarbeiten zeigten sich an einer bereits sanierten Muffe Undichtigkeiten durch eindringendes Wasser, sodass die Reparaturstelle bereichsweise ca. 5 cm tief wieder aufgefräst und erneut verpresst wurde. Nach Abschluss der Reparaturarbeiten wurden an allen drei Reparaturstellen von der Janßen Umwelttechnik GmbH Dichtheitsprüfungen mit Druckluft durchgeführt. Geprüft wurde gemäß DIN EN 1610 [19] mit einem Überdruck von 0,2 bar bei einer Prüfzeit von 2 Minuten. Sämtliche Prüfungen ergaben einen Druckverlust unterhalb des zulässigen Wertes von 0,015 bar, sodass die Reparaturen für dicht befunden wurden. Abschließend wurden Harzüberschüsse mit einem Stahlbürstenaufsatz („Topfbürste“) auf dem Fräsroboter entfernt.

Tab. 25. Verpresste Harzmengen bei der Janßen Riss- und Scherbensanierung

Reparaturstelle	Harzverbrauch
Muffe 1	Gesamtmenge: 16 kg *
Muffe 2	Gesamtmenge: 14,5 kg
Muffe 3	Gesamtmenge: 28 kg **

* Reparaturstelle aufgrund von Undichtigkeiten teils neu verpresst (Harzmenge als Summe beider Reparaturvorgänge)

** Rissbildung an der Muffe während der Fräsarbeiten → Verpressen einer größeren Harzmenge

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Dichtheit der Reparaturstellen und optischer Eindruck

Alle drei Reparaturstellen waren sowohl unmittelbar nach Fertigstellung als auch 24 Stunden später unter Beibehaltung des Wasserstands auf Rohrscheitelhöhe dicht. Daraufhin wurde der Wasserspiegel auf ca. 1,50 m über der Rohrsohle angehoben. Nach Ablauf weiterer 72 Stunden war an zwei Reparaturstellen (Muffen 2 und 3) jeweils in einem Kämpfer ein minimaler Wassereintritt (Tropfenbildung) zu verzeichnen.

Die Reparaturstellen wiesen keine optische Auffälligkeiten auf. Die spätere Ausgrabung der Rohre zeigte große Injektionskörper um die sanierten Muffen (vgl. Tab. 26). In Tab. 26 sind Innen- und Außenansichten der drei Reparaturstellen dargestellt.

Tab. 26: Innen- und Außenansicht der Reparaturen mit der Janßen Riss- und Scherbensanierung in den Kies-Sand-überdeckten Teststrecken

Muffe 1	Muffe 2	Muffe 3
Innenansichten Versuchsaufbau mit Kies-/Sand-Überdeckung		
Außenansichten Versuchsaufbau mit Kies-/Sand-Überdeckung		

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

3.2.2 KA-TE PMO-Verfahren

Das KA-TE PMO-Verfahren wurde für Reparaturen unter zuströmendem Grundwasser Außenwasserdruck sowohl an den mit **Kies-Sand** als auch an den mit **bindigem Boden** überdeckten Testsrecken eingesetzt. Bei beiden Teststrecken fanden die Reparaturarbeiten unter zuströmendem Grundwasser statt (Wasserspiegel in Rohrscheitelhöhe bzw. 0,5 m über Rohrscheitel vgl. Tab. 27). Der Wasserstand wurde nach Abschluss der Arbeiten für 24 Stunden auf Rohrscheitelhöhe beibehalten und im Anschluss auf ca. 1,50 m über der Rohrsohle erhöht. Beim Kies-Sand-Gemisch wurde der Wasserstand für 72 Stunden beibehalten, beim bindigen Boden konnte der Versuch auf 1.000 Stunden ausgeweitet werden (vgl. Tab. 27).

Darüber hinaus wurde das KA-TE PMO-Verfahren an den **freiliegenden Teststrecken** eingesetzt. Zwar zweifelte die ausführende Firma die Einsatzmöglichkeiten ihres Verfahrens bei diesem Versuchsaufbau mit fehlendem Erdreich bereits im Vorfeld an, stimmte der Teilnahme im Sinne einer Erprobung jedoch zu.

Tab. 27: Versuchsparameter bei den zwei Versuchsaufbauten mit Kies-Sand-überdeckten und mit bindigem Boden überdeckten Leitungen (KA-TE PMO-Verfahren)

Versuchparameter	Versuchsaufbau mit Kies-Sand-Gemisch	Versuchsaufbau mit bindigem Boden
Verfüllmaterial im Versuchsstand	Sand-Kies-Gemisch k_f-Wert: $1*10^{-2}$ - $1*10^{-6}$ m/s	sandiger Schluff k_f-Wert: $1*10^{-5}$ - $1*10^{-7}$ m/s
Wasserpegel bei Sanierung	auf Rohrscheitelhöhe	ca. 0,50 m über Rohrscheitel
Wasserpegel 1 nach Sanierung	auf Rohrscheitelhöhe, Dauer: 24 h	ca. 0,50 m über Rohrscheitel, Dauer: 24 h
Wasserpegel 2 nach Sanierung	ca. 1,50 m über Rohrsohle, Dauer: 72 h = 3 Tage	ca. 1,50 m über Rohrsohle, Dauer: 1.000 Stunden ≈ 42 Tage

Die Reparaturarbeiten wurden von der KATEC Müller & Wahl GmbH, Jünkerath ausgeführt. Als Sanierungsharze wurden für die zwei Versuchsaufbauten mit unterschiedlicher Bodenüberdeckung verschiedene Harze eingesetzt. Beim Kies-Sand-Gemisch wurde das Exoxidharz CONCRESIVE® 1801/1850 verwendet, während beim bindigen Boden „Konudur Robopox 10“, ebenfalls ein Epoxidharz, zum Einsatz kam. Angaben zu den Verarbeitungs- und Aushärtezeiten sowie zum Mischungsverhältnis der beiden Sanierungsharze können Tab. 28 entnommen werden.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Tab. 28: Mischverhältnis, Mischzeit und Aushärtezeit der Harze beim KA-TE PMO-Verfahren (lt. Anbieter und Produktdatenblättern)

Harz	Mischverhältnis A:B (Masse)	Mischzeit	Verarbeitungszeit	Aushärtezeit
CONCRESIVE® 1801/1850 [1]	10:3	bis Masse homogen und schlierenfrei, mindestens 6 min	30 min bei +20 °C 45 min bei +15°C 60 min bei +10°C	Bei 20°C Entfernung der Manschette nach 4-6 h, vollständige Durchhärtung bei 20°C nach 7 d
Konudur Robopox 10 [2]	2:1	bis Masse homogen und schlierenfrei	ca. 20 min (bei Vorwärmen des Harzes auf +40°C)	bei 23°C und 2,8 l Reaktionsharz ca. 3-5 h (bei Vorwärmen des Harzes auf +40°C)

[1] Einsatz beim Sand-Kies-Gemisch
[2] Einsatz beim bindigen Boden

Einbaubeschreibung

Beim KA-TE PMO-Verfahren, ein Roboterverfahren, können grundsätzlich zwei unterschiedliche Vorgehensweise bei der Reparatur von Schäden zur Anwendung kommen. Der Roboter kann mit unterschiedlichen Aufsätzen kombiniert werden, die zum Verspachteln oder zum Verpressen von Schäden eingesetzt werden. Risse und undichte Muffen werden üblicherweise verspachtelt. Dabei wird der Roboter mit einem „Verpressschuh“ und einem „Längsspachtel“ oder „Radialspachtel“ kombiniert (vgl. Abb. 42). Mit Hilfe des Verpressschuhs wird Harz auf die Schadstelle aufgetragen und mit dem Spachtel glatt gezogen. Größere Schadstellen, wie z.B. Ausbrüche, werden i.d.R. verpresst. Dabei wird mit Hilfe des Roboters in Kombination mit einem „Schalungssetzgerät“ zunächst eine Schalungsmanschette auf die Schadstelle gesetzt, die eine Verpressöffnung beinhaltet (vgl. Abb. 42). Nachfolgend wird der Roboter mit einem „Injektionsaufsatz“ bestückt (vgl. Abb. 42), mit dem über die Verpressöffnung Harz in den Schadensbereich gepresst wird.

Bei den Vorarbeiten werden in der Regel sämtliche spätere Haftflächen zwischen Rohrwand und Sanierungsharz gefräst und Risse aufgeweitet. Fräsrückstände und Ablagerungen werden mit HD-Spülungen aus dem Kanalabschnitt entfernt.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

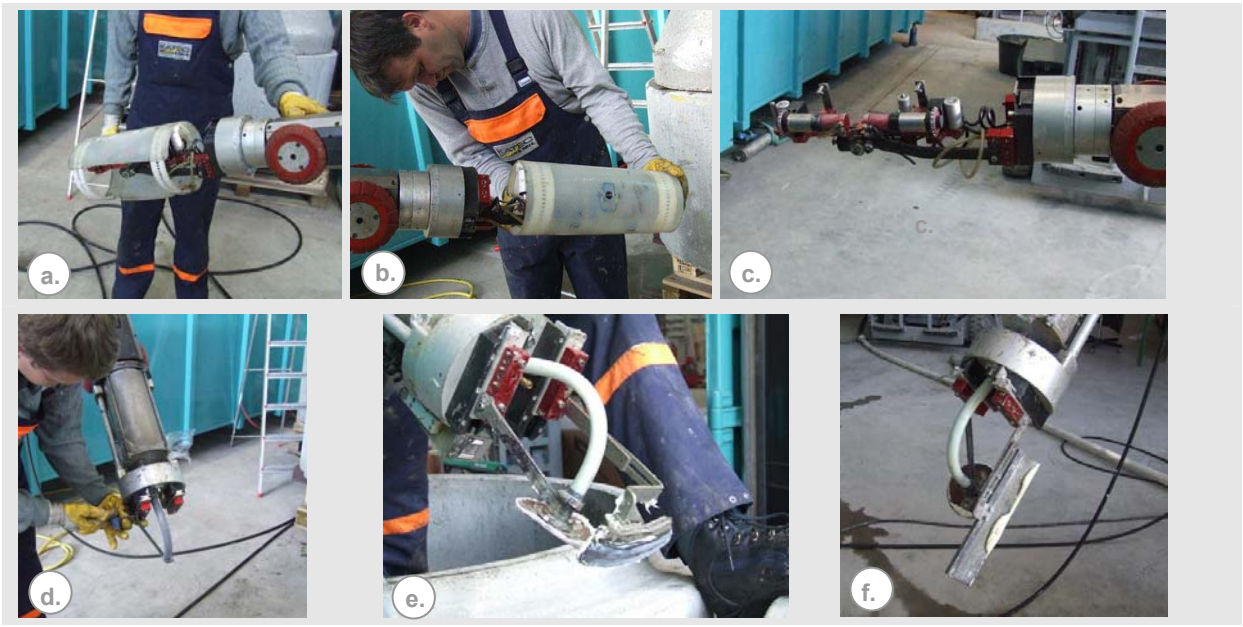


Abb. 42: a+b) Schalungssetzgerät mit Schalungsmanschette, c) Schalungssetzgerät, d) Injektionsaufsatz, e) Verpressschuh mit Längsspachtel, f) Verpressschuh mit Radialspachtel

Im Rahmen der Reparaturen unter Grundwasserzutritt und Außenwasserdruck im IKT wurden die undichten Muffen, abweichend von der üblichen Vorgehensweise ohne anstehendes Wasser, verpresst und nicht verspachtelt. Dabei wurde zunächst eine von außen mit Silikon beschichtete Schalungsmanschette (Abb. 43 d) auf der Schadstelle positioniert und verspannt. Im Anschluss wurde der Roboter mit einem Injektionsaufsatz kombiniert und der Schaden über Verpressöffnungen in der Schalungsmanschette mit Sanierungsharz verpresst. Das Harz wird im Vorfeld aus zwei Komponenten gemischt (Abb. 43 f) und in Kartuschen abgefüllt, die auf dem Sanierungsroboter montiert werden. Das Volumen der Kartuschen ist auf 3 l beschränkt, sodass im Fall größerer Schadensbilder die Reparatur mit mehreren Verpressvorgängen durchgeführt werden muss. Nachdem der Schaden vollständig verpresst worden war, verbleibt die Schalungsmanschette in Abhängigkeit von der Außentemperatur für mehrere Stunden im Kanal (vgl. Tab. 28). Nach Entfernen der Schalungsmanschette können Unebenheiten an der Reparaturstelle mit einem geeigneten Fräsaufsatz („Topfbürste“) beseitigt werden.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

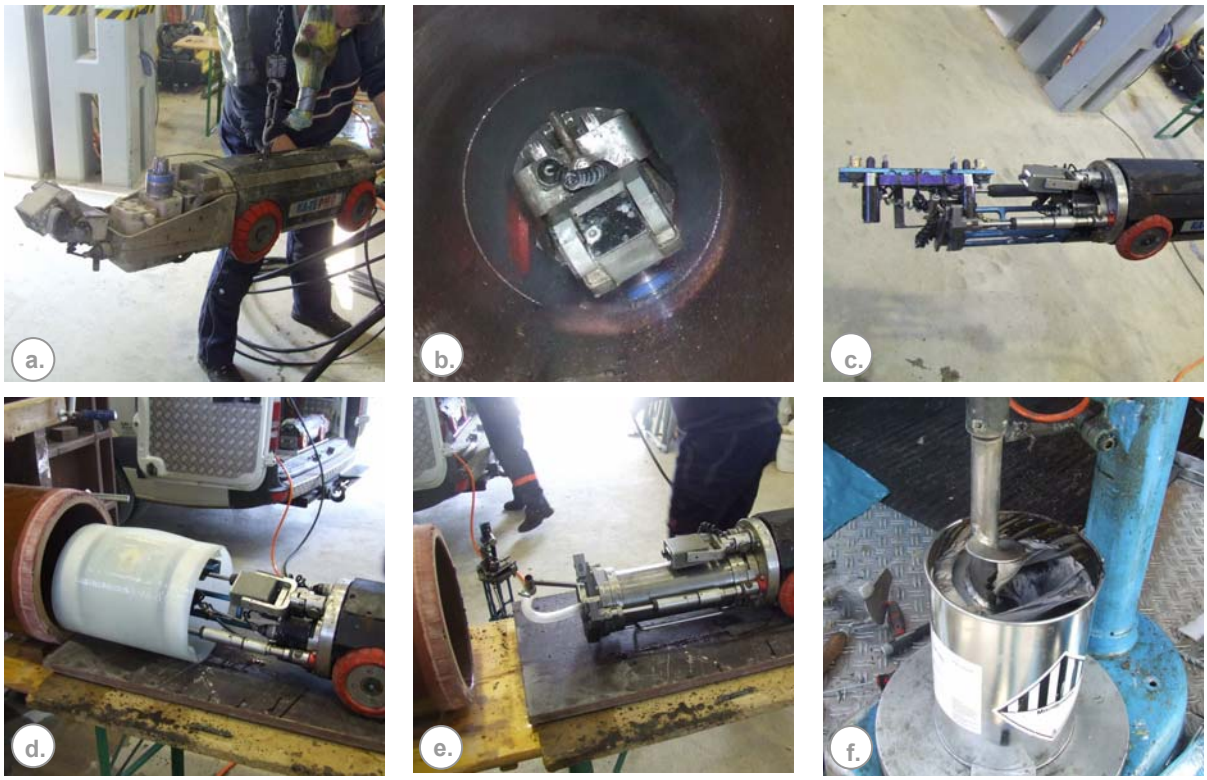


Abb. 43: a. Fräsroboter mit Nutenfräskopf; b. Fräsroboter im Rohr; c. Roboter mit Schalungssetzgerät; d. Roboter mit Schalungsmanschette beim Einfahren in die Versuchsstrecke; e. Roboter mit Verpressschuh; f. Anmischen des Sanierungsharzes

Bei den Sanierungen für die Außenwasserdruckversuche fanden entsprechend zunächst Fräsarbeiten an den Schadstellen statt. Die Muffen wurden umlaufend mit einem Nutenfräser (Ø 3 cm; Abb. 43 a) ca. 3 cm tief aufgefräst. Beim Versuchsaufbau mit Kies-Sand wurden zusätzlich die Oberfläche der Steinzeugrohre in den an die Muffen angrenzenden Bereichen mit einer Topfbürste (Ø 7 cm) angeraut. Im Anschluss wurden die Versuchsstrecken gespült, um die vorhandenen Fräsrückstände zu entfernen.

Aufeinanderfolgend wurden an den drei zu sanierenden Muffen Schalungsmanschetten (Abb. 43 d) gesetzt und die Schadstellen mit Harz verpresst. Die Schalungsmanschetten verblieben bis zum nächsten Arbeitstag in den Versuchsstrecken (mindestens 15,5 Stunden). Nacharbeiten wurden lediglich beim Versuchsaufbau mit Kies-Sand durchgeführt. Hier wurden die Übergänge von Sanierungsharz zum Altrohr mit einer Topfbürste geglättet. In Tab. 29 sind die verbrauchten Harzmengen je Reparaturstelle zusammengefasst.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Tab. 29. Verpresste Harzmengen beim KA-TE PMO-Verfahren

Reparaturstelle	Harzverbrauch beim Versuchsaufbau mit Kies-Sand (CONCRESIVE® 1801/1850)	Harzverbrauch beim Versuchsaufbau mit bindigem Boden (Konudur Robopox 10)
Muffe 1	Gesamtmenge: 2,75 kg	Gesamtmenge: 2,0 l
Muffe 2	Gesamtmenge: 2,75 kg	Gesamtmenge: 2,0 l
Muffe 3	Gesamtmenge: 5,5 kg	Gesamtmenge: 2,0 l

Dichtheit der Reparaturstellen und optischer Eindruck

Die Reparaturstellen beider Versuchsaufbauten mit Bodenüberdeckung zeigten sowohl nach der Fertigstellung als auch 24 h später unter Beibehaltung des Wasserpegels (Rohrscheitelhöhe bzw. 0,5 m über Rohrscheitel, vgl. Tab. 27) keine Undichtigkeiten. Auch nach Anheben des Pegels auf ca. 1,50 m über der Rohrsohle waren über die gesamte Versuchsdauer (72 h bzw. 1.000 h, vgl. Tab. 27) keine Undichtigkeiten zu verzeichnen.

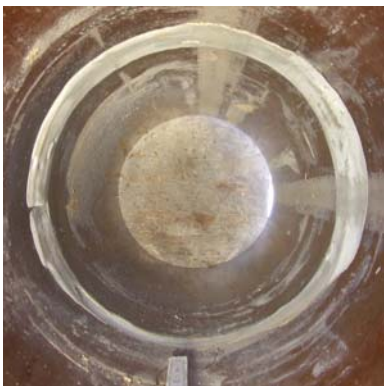
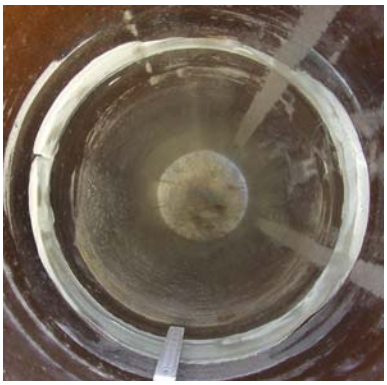
Die Reparaturen wiesen keinerlei optische Auffälligkeiten auf. Bei der Ausgrabung der Testrecken zeigte sich, dass sowohl beim Versuchsaufbau mit Kies-/Sand als auch mit bindigem Boden keine Injektionskörper an der Außenseite der Rohre entstanden waren. In Tab. 30 sind die Innen- und Außenansichten der Reparaturstellen abgebildet.

Die Reparaturarbeiten an den freiliegenden Teststrecken wurden bereits bei der ersten Muffe abgebrochen, da die Schadstelle nicht abgedichtet werden konnte. Es trat Wasser durch die Verpressöffnung der Schalungsmanschette ein. Offensichtlich durchdrang das stark drückende Wasser das Sanierungsharz und trat an der „Schwachstelle“ (Öffnung in der Schalungsmanschette“) aus, bevor das Harz aushärten konnte. Nach Angaben des Anbieters ist ein Verpressen von Schäden in der Praxis bei stark drückendem Wasser grundsätzlich möglich, wenn hier im Vergleich zum Versuchsaufbau ein größerer Verpressraum zur Verfügung stünde. Beim Versuchsaufbau wird der Verpressraum durch die umliegende Gummimanschette eingeschränkt.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Tab. 30: Innenansichten der mit dem KA-TE PMO-Verfahren erstellte Reparaturen

Muffe 1	Muffe 2	Muffe 3
Versuchsaufbau mit Kies-Sand-Überdeckung		
		
Versuchsaufbau mit bindigem Boden		

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Tab. 31: Außenansichten der mit dem KA-TE PMO-Verfahren erstellte Reparaturen

Muffe 1	Muffe 2	Muffe 3
Versuchsaufbau mit Kies-Sand-Überdeckung		
Keine Harzaustritte an der Rohraußenseite		
Versuchsaubau mit bindigem Boden		
Keine Harzaustritte an der Rohraußenseite		

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

3.2.3 3P-Plus-Kurzliner

Die 3P-Plus-Kurzliner werden aus einem ECR-Glasfasergewebe (Flächengewicht ca. 1.050 g/m²) und einem Silikatharz mit der Bezeichnung „3P-Harz“ hergestellt. Die Komponente B des 3P-Harzes ist sowohl in „Winter-“ als auch in „Sommerqualität“ erhältlich. Angaben zu den Verarbeitungs- und Aushärtezeiten sowie zum Mischungsverhältnis der beiden Sanierungsharze können Tab. 32 entnommen werden.

Tab. 32: Mischverhältnis, Mischzeit und Aushärtezeit der Harze für den 3P-Plus-Kurzliner (lt. Datenblätter zum 3P-Harz)

Harz	Mischverhältnis A : B_w[1] : B_S[2] (Volumen)	Mischzeit	Verarbeitungszeit	Aushärtezeit
3P-Harz (Winterqualität)	1 : 2 : 0	2 - 3 min	17 min. bei + 22 °C	ca. 2 h bei 20 °C
3P-Harz (Sommerqualität)	1 : 1 : 1	2 - 3 min	25 min. bei + 22 °C	ca. 2 h bei 20 °C

[1] B_w = Komponente B - Winter
[2] B_S = Komponente B - Sommer

Das Kurzlinersystem wurde im Rahmen der Außenwasserdruckversuche sowohl an den Teststrecken mit **Kies-Sand-Überdeckung** als auch an den **freiliegenden Teststrecken** eingesetzt. Beim Versuchsaufbau mit Kies-Sand-Überdeckung kamen sowohl das Sommerharz als auch das Winterharz zum Einsatz, wohingegen die Kurzliner in den freiliegenden Teststrecken ausschließlich mit dem Winterharz hergestellt wurden. Die Einbauarbeiten wurden von der Fa. Remscheider Kanalsanierung Althaus e.K. vorgenommen.

Einbaubeschreibung

Vor dem Einbau eines 3P-Plus-Kurzliners ist in der Regel eine sorgfältige Untergrundvorbereitung an der zu sanierenden Schadstelle notwendig. In Steinzeugrohren wird die Glasur mit einem Fräsroboter entfernt, Ablagerungen und Fräsrückstände werden mittels Hochdruckreinigung entfernt.

Das 3P-Harz wird in der erforderlichen Menge angemischt und das vorkonfektionierte ECR-Glasfasergewebe lagenweise imprägniert. Anschließend wird das harzgetränkte Glasfasergewebe entsprechend der geplanten Einbaulänge zusammengefaltet und um den mit Trennfolie umhüllten Versetzpacker gewickelt. Der so präparierte Packer wird mit Hilfe von Seilwinden oder Schiebestangen zur Schadstelle transportiert. Unter Druckbeaufschlagung und daraus resultierender Aufweitung des Versetzpackers wird das Laminat an die Rohrinnenwand gepresst und härtet unter dem Anpressdruck des Packers aus. Die Aushärtezeit hängt im Wesentlichen von der Temperatur im Kanal ab. Nach vollständiger Aushärtung wird der Versetzpacker aus der Kanalhaltung entfernt. In Abb. 44 sind Auszüge aus dem Herstellungsprozess eines 3P-Plus-Kurzliners im Rahmen der Reparaturen unter Außenwasserdruck zu sehen.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Abb. 44: Herstellung eines 3P-Plus-Kurzliners – Auftragen des Harzgemisches auf das Glasfasergewebe (links); Aufwickeln des harzgetränkten Glasfasergewebes auf den Versetzpacker (mittig); Einbringen des Versetzpackers in die Versuchsstrecke (rechts)

Die Untergrundvorbereitung für die Reparaturen in den erdüberdeckten Teststrecken bestand aus Fräsarbeiten mit einer anschließenden Hochdruckspülung. Mit einem Pilzfräskopf (Ø 12 cm, s. Abb. 45) wurde bei sämtlichen Muffen die Glasur auf einer Breite von ca. 30 cm vor und hinter der Muffe vollflächig abgetragen (vgl. Abb. 45). Die Untergrundvorbereitung an den freiliegenden Teststrecken verlief analog, jedoch wurde hier die Glasur nur auf einer Breite von ca. 20 cm vor und hinter dem umlaufenden Spalt entfernt. Der Packerdruck betrug beim Einbau aller 3P-Plus-Kurzliner ca. 1,6 bis 1,7 bar, die Aushärtezeiten lagen bei rund 3 Stunden.

Abb. 45: Fräsroboter beim Einbau der 3P-Plus-Kurzliner im mittelformatigen Versuchsstand; Pilzkopffräser (links); Roboter bei den Fräsarbeiten im Rohr (mittig); vollständig vorgefräste Reparaturstelle mit einströmendem Wasser (rechts)

Für die Reparaturen wurden dreilagige 3P-Plus-Kurzliner (im Bereich des Schadens vierlagig) mit Einbaulängen zwischen 75 und 80 cm an den erdüberdeckten Teststrecken und jeweils ca. 60 cm an den freiliegenden Teststrecken eingesetzt. Tab. 33 gibt einen Überblick über die eingesetzten Materialmengen.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Tab. 33: Eingesetzte Materialmengen für die 3P-Plus-Kurzliner

Reparaturstelle	Abmessungen des Trägermaterials	Harzverbrauch*
Versuchsaufbau mit Kies-Sand-Überdeckung		
Muffe 1 DN 300	2,05 m x 1,10 m gefaltet auf 0,75 m x 1,10 m (Kurzliner im Bereich der Muffe vierlagig)	Gesamtmenge: 5,25 l (3P-Harz in Winterqualität)
Muffe 2 DN 300	2,05 m x 1,10 m gefaltet auf 0,75 m x 1,10 m (Kurzliner im Bereich der Muffe vierlagig)	Gesamtmenge: 5,25 l (3P-Harz in Sommerqualität)
Muffe 3 DN 300	2,05 m x 1,10 m gefaltet auf 0,80 m x 1,10 m (Kurzliner im Bereich der Muffe vierlagig)	Gesamtmenge: 5,25 l (3P-Harz in Sommerqualität)
Versuchsaufbau mit freiliegenden Teststrecken		
umlaufender Spalt DN 200	1,50 m x 0,65 m und 0,30 m x 0,65 m gefaltet auf ca. 0,45 m x 0,65 m (Kurzliner am Spalt vierlagig)	Gesamtmenge: 2,1 l (3P-Harz in Winterqualität)
umlaufender Spalt DN 300	1,50 m x 0,96 m und 0,30 m x 0,96 m gefaltet auf ca. 0,45 m x 0,96 m (Kurzliner am Spalt vierlagig)	Gesamtmenge: 3,6 l (3P-Harz in Winterqualität)
umlaufender Spalt DN 500	1,50 m x 1,60 m und 0,30 m x 1,60 m gefaltet auf ca. 0,45 m x 1,60 m (Kurzliner am Spalt vierlagig)	Gesamtmenge: 5,1 l (3P-Harz in Winterqualität)

* Mischverhältnis A : B_w : B_s mit A = Komponente A, B_w = Komponente B – Winter, B_S = Komponente B – Sommer:
Winterqualität 1 : 2 : 0,
Sommerqualität 1 : 1 : 1

Dichtheit der Reparaturstellen und optischer Eindruck

Die Kurzliner wiesen unmittelbar nach dem Einbau keine optischen Auffälligkeiten auf. Über die Versuchsdauer bildeten sich in den freiliegenden Teststrecken auf der Oberfläche der Kurzliner im Bereich der mit Außenwasserdruck belasteten umlaufenden Spalts „mehlartige“ Ausblühungen (Abb. 46). Hierbei handelte es sich nach Angaben des Harzentwicklers um Soda-Ausblühungen, die durch Kontakt des Harzes mit Wasser entstünden und unbedenklich seien. Einflüsse der Soda-Ausblühungen auf die Dichtwirkung der Kurzliner wurden im Rahmen der Versuche nicht festgestellt.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Abb. 46: Kurzliner unmittelbar nach Einbau ohne Auffälligkeiten (links) und am Versuchsende mit Soda-Ausblühungen im Bereich des umlaufenden Spalts (rechts)

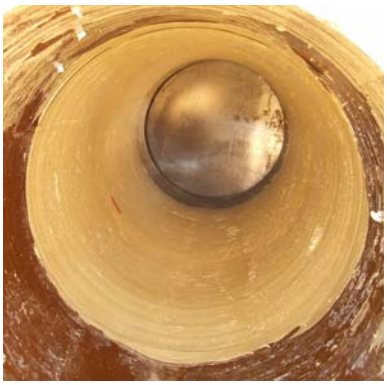
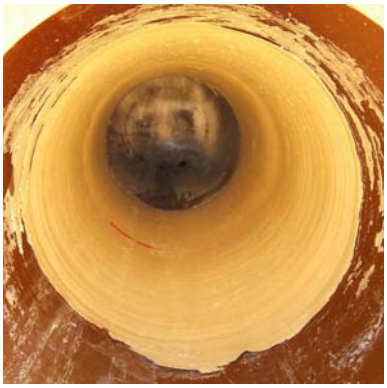
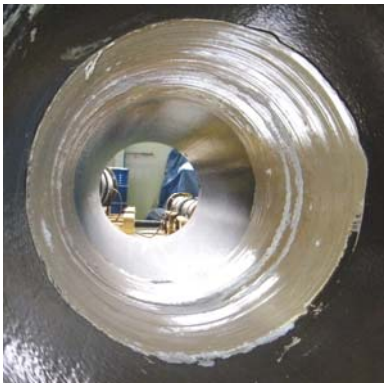
Unmittelbar nach dem Einbau waren alle Kurzliner zunächst dicht. Bei dem Kurzzeitversuch im mittelformatigen Versuchsstand mit Kies-Sand-überdeckten Rohren blieben die Reparaturstellen während der gesamten restlichen Versuchsdauer auch nach Anheben des Wasserpegels auf 1,50 m über der Rohrsohle ebenfalls dicht. Beim Langzeitversuch an den freiliegenden Teststrecken mit einer Wassersäule von 5 m hingegen zeigten sich nach ca. zwei Wochen im Rohr DN 200 Undichtigkeiten am Kurzliner. Hier bildete sich eine Wasseransammlung in der Rohrsohle auf Höhe des umlaufenden Spalts (vgl. Abb. 47). Wiederum 10 Tage später war dort kein weiterer Wassereintritt mehr zu verzeichnen und die Reparaturstelle blieb über die restliche Versuchsdauer dicht. Nach Angaben des Harzherstellers können bei Kontakt des Kurzliners mit Wasser oder bei einer Luftfeuchtigkeit in der Kanalatmosphäre um 100 % Quellvorgänge in der Harzmatrix auftreten, die zu einem Abdichten kleiner Fehlstellen im Kurzliner führen können. Der Vorgang ist nach Angaben des Anbieters reversibel, sodass der Kurzliner bei dauerhaft geringerer Luftfeuchtigkeit das aufgenommene Wasser wieder abgäbe und sich feine Kapillaren wieder öffnen können. Der Vorgang ist nach Angaben des Herstellers wiederholt möglich.

In Tab. 34 sind Innenansichten der eingebauten Kurzliner abgebildet.

Abb. 47: Kurzliner mit Wasseransammlung (freiliegende Teststrecke DN 200)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Tab. 34: Innenansicht der 3P-Plus-Kurzliner

Versuchsaufbau mit Kies-Sand-Überdeckung		
Muffe 1	**Muffe 2**	**Muffe 3**
		
Versuchsaufbau mit freiliegenden Teststrecken		
DN 200	**DN 300**	**DN 500**
		

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

3.2.4 KM-Kurzliner

Die KM-Kurzliner werden aus einem ECR-Kombi-Glasfasergewebe und einem Epoxidharz hergestellt. Für die KM-Kurzliner, die in die mit **Kies-Sand** überdeckten Teststrecken eingebaut wurden, lag die Gewebestärke des ECR-Kombi-Glasfasergewebes bei 900 g/m², für die Einbauten in die **freiliegenden** Versuchsstrecken hingegen bei 1.050 g/m². Das so genannte Winterharz besteht aus den Komponenten „ARALDITE GY 240 BD“ (Komponente A) und „ARADUR 16 BD“ (Komponente B). Durch die Verwendung von „ARALDITE GY 250 BD“ (Komponente A) kann das Epoxidharz als so genanntes Sommerharz hergestellt werden. Dem Harzgemisch werden außerdem zwei Zusatzstoffe beigemengt (0,5 Gewichts-% Luftverdränger „BYK“ und 3,0 Gewichts-% Haftvermittler „Silan“). Im Rahmen der Einbauarbeiten im IKT wurde ausschließlich das Winterharz verwendet. In Tab. 35 sind nähere Angaben zum Mischverhältnis sowie der Verarbeitungs- und Aushärtezeit des Sanierungsharzes zusammengestellt. Die KM-Kurzliner wurden von der KMG Pipe Technologies GmbH eingebaut.

Tab. 35: Mischverhältnis, Mischzeit und Aushärtezeit der Harze (Angaben des Herstellers)

Harz	Mischverhältnis A:B (Masse)[1]	Mischzeit	Verarbeitungszeit	Aushärtezeit
Komponente A: ARALDITE GY 240 BD Komponente B: ARADUR 16 BD (Winterharz)	40:100	min. 2 min	30 min	2,5 h bei ca. 20°C Harztemperatur und Temperatur der Rohrwandung von ca. 10 °C

[1] Zugabe folgender Additive: 0,5 % Luftverdränger (Byk) und 3,0 % Haftvermittler (Silan)

Einbaubeschreibung

Als vorbereitende Maßnahmen für den Einbau eines KM-Kurzliners wird der Kanalabschnitt mit der zu sanierenden Schadstelle üblicherweise einer HD-Reinigung unterzogen, teils finden Fräsarbeiten statt.

Nachdem die Harzkomponenten zu einem schlierenfreien Gemisch verarbeitet wurden, werden die Gewebelagen nacheinander mit dem Harzgemisch getränkt und mehrlagig zusammengelegt. Daraufhin wird das harzgetränkte Gewebe mit einer Folie abgedeckt und das Harz zusätzlich mit Laminierrollen in das Trägermaterial eingearbeitet (vgl. Abb. 48).

Abschließend wird das Laminat um einen mit Schutzfolie ummantelten Versetzpacker gewickelt, dieser in die Kanalhaltung eingebracht und mit Hilfe von Seilwinden oder Schiebestangen zur Schadstelle transportiert. Dort erfolgt unter einem verfahrens- und schadensabhängigen Luftüberdruck die Aufweitung des Versetzpackers und damit eine Anpressung des harzgetränkten Glasfasergewebes an die Rohrinnenwand. Der Versetzpacker verbleibt bis zur vollständigen Aushärtung expandiert an der Schadstelle. In Abb. 48 ist die Herstellung eines KM-Kurzliners auszugsweise dargestellt.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Abb. 48: Herstellung der KM-Kurzliner, Auftragen des Harzes auf das Glasfasergewebe (links); Einarbeiten des Harzes in das Glasfasergewebe (mittig); Aufwickeln des Laminates auf den Versetzpacker (rechts)

Im Rahmen der Untersuchungen unter Außenwasserdruck wurde die erdüberdeckte Versuchsstrecke mit einem Hochdruckreiniger gespült. Fräsarbeiten an den drei undichten Muffen im erdüberdeckten Versuchsaufbau sowie an den freiliegenden Teststrecken fanden **nicht** statt. Da die freiliegenden Testrecken unverschmutzt waren, wurde dort keine HD-Reinigung durchgeführt.

Die KM-Kurzliner in der erdüberdeckten Teststrecke wurden mit einem Packerdruck von ca. 2 bar ausgehärtet, wohingegen in den freiliegenden Teststrecken Packerdrücke von ca. 2 bar (DN 200), 1,8 bar (DN 300) und 1 bar (DN 500) gewählt wurden. Die Versetzpacker wurden in allen Fällen am nächsten Arbeitstag wieder aus den Teststrecken entfernt (Aushärtung mindestens 18 Stunden). In Tab. 36 ist ein Überblick zu den eingesetzten Materialmengen je Kurzliner dargestellt.

Tab. 36: Eingesetzte Materialmengen beim KM-Kurzliner

Reparaturstelle	Abmessungen des Trägermaterials	Harzverbrauch*, **
Versuchsaufbau mit Kies-Sand-Überdeckung		
Muffe 1 DN 300	1,30 m x 1,10 m gefaltet auf 0,50 m x 1,10 m (Kurzliner im Bereich der Muffe dreilagig)	Gesamtmenge: 5,4 kg (Winterharz)
Muffe 2 DN 300	1,30 m x 1,10 m gefaltet auf 0,50 m x 1,10 m (Kurzliner im Bereich der Muffe dreilagig)	Gesamtmenge: 5,4 kg (Winterharz)
Muffe 3 DN 300	1,30 m x 1,10 m gefaltet auf 0,50 m x 1,10 m (Kurzliner im Bereich der Muffe dreilagig)	Gesamtmenge: 5,4 kg (Winterharz)
Versuchsaufbau mit freiliegenden Teststrecken		
umlaufender Spalt DN 200	Einbaulänge ca. 0,80 m (Kurzliner im Bereich des Spalts dreilagig)	Gesamtmenge: 2,5 kg (Winterharz)
umlaufender Spalt DN 300	Einbaulänge ca. 1,10 m (Kurzliner im Bereich des Spalts dreilagig)	Gesamtmenge: 2,8 kg (Winterharz)
umlaufender Spalt DN 500	Einbaulänge ca. 1,70 m (Kurzliner im Bereich des Spalts dreilagig)	Gesamtmenge: 4,8 kg (Winterharz)

* Mischverhältnis A : B mit A = ARALDITE GY 240 BD, B = ARADUR 16 BD (Sommerharz mit Komponente A ARALDITE 250 BD): 40 : 100

** Zugabe von Additiven: 0,5 Gewichts-% Luftverdränger und 3,0 Gewichts-% Haftvermittler

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

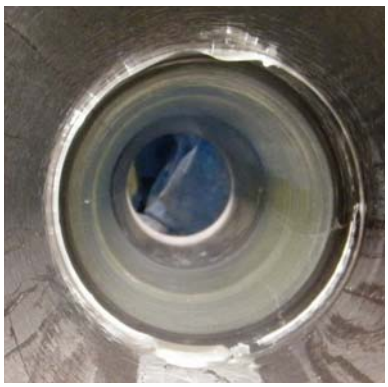
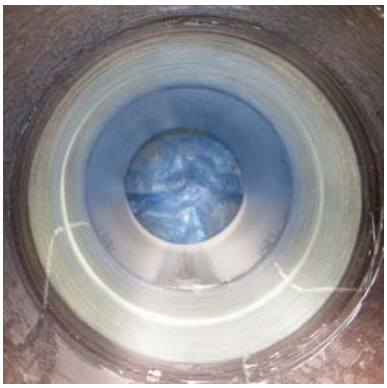
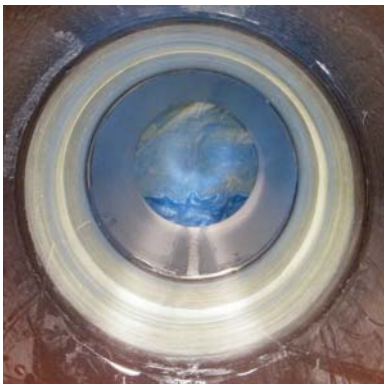
Druckfassung 16.09.2011

Dichtheit der Reparaturstellen und optischer Eindruck

Die Reparaturen in den erdüberdeckten Rohren waren über die gesamte Versuchsdauer auch nach Anheben des Grundwasserstandes auf 1,50 m über der Rohrsohle dicht. Auch in den freiliegenden Teststrecken der Nennweiten DN 200 und DN 300 waren die Kurzliner über den gesamten Versuchzeitraum von 1.000 Stunden mit Wasserstand auf 5 m über der Rohrsohle dicht. In der Teststrecke DN 500 zeigten sich bereits zu Beginn des Langzeitversuches unmittelbar nach dem Einbau des Kurzliners Undichtigkeiten im Bereich des Spalts. Da beim Kurzlinereinbau die Verschiebesicherung der Rohre noch nicht aktiviert worden war, kam es zu einer Längsverschiebung der Rohre, sodass sich der zu sanierende Rohrspalt vergrößerte. Da somit für den KM-Kurzliner die Versuchsrandbedingungen bei der Teststrecke DN 500 abwichen, wird das Ergebnis aus der Wertung genommen.

Die Kurzliner wiesen sowohl in den freiliegenden Teststrecken als auch im mittelformatigen Versuchsstand keinerlei optische Auffälligkeiten auf. In Tab. 37 sind Innenansichten der Kurzliner dargestellt.

Tab. 37: Innenansicht der KM-Kurzliner – beispielhaft für die freiliegenden Teststrecken

Versuchsaufbau mit freiliegenden Teststrecken		
DN 200	**DN 300**	**DN 500**
		

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

3.2.5 Quick-Lock mit einseitiger Aufbördelung

Die „Quick-Lock“ Manschetten mit einseitiger Aufbördelung wurden im Rahmen der Außenwasserdruckversuche von der Röers GmbH eingebaut. Die Quick-Lock Manschetten bestehen aus einer V4A Edelstahlmanschette (Materialgüte 1.4401), die vor der Montage im Kanal mit einer EPDM-Gummidichtung ummantelt wird. Die Abdichtung wird durch zwei umlaufende Dichtnoppenpaare an den Enden der EPDM-Gummidichtung erzielt (Abb. 49, links). Zur Reparatur der undichten Muffen im Versuchsaufbau mit **Kies-Sand-Überdeckung** kam je Reparaturstelle eine Manschette (Baulänge 40 cm) zum Einsatz.

Einbaubeschreibung

Vor dem Einbau einer Quick-Lock Manschette ist üblicherweise eine sorgfältige Reinigung der Rohroberfläche im Schadensbereich erforderlich. Die EPDM-Gummidichtung wird über die Edelstahlmanschette gezogen und an zwei Punkten mit Sekundenkleber fixiert. So präpariert wird die Quick-Lock Manschette am Haltungsanfang positioniert, dort von einem Versetzpacker aufgenommen und unter Kamerabeobachtung zur Schadstelle transportiert (vgl. Abb. 49). An der Schadstelle wird der Versetzpacker mit Luftdruck beaufschlagt und die Manschette aufgeweitet.

Abb. 49: Stahlmanschette mit EPDM-Gummidichtung (links), Einschieben einer Quick-Lock Manschette in die Teststrecke (mittig), Setzgerät im Rohr (rechts)

Beim Einbau der Quick-Lock Manschetten in die mit Kies-Sand überdeckte Teststrecke wurde auf Untergrundvorbereitungen gänzlich verzichtet, da die Leitungen nicht verschmutzt waren. Die Manschetten wurden unter einem Packerdruck von ca. 3 bar entsprechend dem zuvor beschriebenen Vorgehen jeweils mittig auf die undichten Muffen gesetzt. Auf diese Weise waren die drei Manschetten innerhalb von nur 45 Minuten gesetzt.

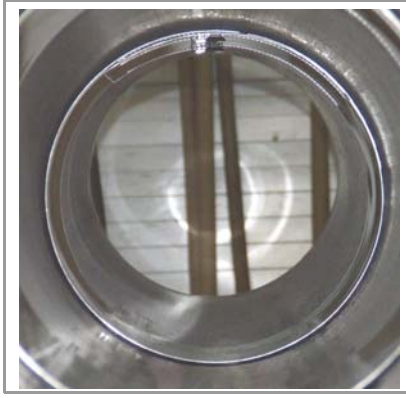
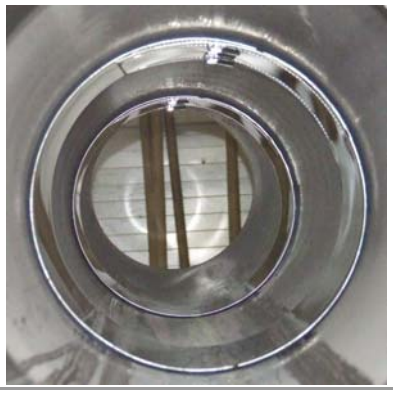
Dichtheit der Reparaturstellen und optischer Eindruck

Die Reparaturstellen waren alle sowohl bei einem Wasserpegel auf Scheitelhöhe als auch nach Anheben des Wasserpegels auf ca. 1,50 m über der Rohhrsohle dicht. Optische Auffälligkeiten waren nicht vorhanden. In Tab. 38 sind Innenansichten der eingebauten Quick-Lock Manschetten zu sehen.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Tab. 38: Innenansichten der eingebauten Quick-Lock Manschetten

Muffe 1	Muffe 2	Muffe 3
Versuchsaufbau mit Kies-Sand-Überdeckung		
		

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Unter den Versuchsrandbedingungen zeigten die Verfahren überwiegend ein gutes Verhalten. Bei den Sanierungen unter Grundwasserzutritt und Außenwasserdruck konnten sowohl an den erdüberdeckten Teststrecken mit Wasserdrücken von 0,15 bar als auch an den freiliegenden Teststrecken mit Wasserdrücken von 0,5 bar überwiegend positive Sanierungsergebnisse erzielt werden. In der überwiegenden Zahl der Fälle konnten die Schadstellen abgedichtet werden und auch optisch zeigten die Sanierungsergebnisse keine Auffälligkeiten, die zu funktionellen Störungen durch Abflusshindernisse führen können.

Bei den Außenwasserdruckversuchen im mittelformatigen Versuchsstand mit **Sand-/Kies-Überdeckung**, bei denen jeweils drei undichte Muffen unter Wasserzutritt (Wasserstand auf Rohrscheitelhöhe) zu sanieren waren und der Wasserstand 24 Stunden nach der Sanierung für 72 h auf 1,50 m über Rohrsohle angehoben wurde, waren nach Abschluss der Sanierungsarbeiten zunächst alle Reparaturstellen dicht (vgl. Tab. 39.). In die Versuche einbezogen waren ein Injektionsverfahren, ein Spachtel-/ Verpressverfahren, zwei Kurzliner und eine Innenmanschette (vgl. Tab. 39). Beim erhöhten Wasserstand von 1,50 m über der Rohrsohle drang lediglich bei der Janßen Riss- und Scherbensanierung an zwei von drei sanierten Muffen minimal Wasser ein.

Der Ablauf der Sanierungsvorgänge war bei der Janßen Riss- und Scherbensanierung, dem 3P-Plus-Kurzliner und dem KM-Kurzliner sowie bei der Quick-Lock Manschette vergleichbar zu den Sanierungen bei den Versuchaufbauten ohne zufließendes Grundwasser im IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ [1]. Lediglich beim KA-TE PMO – Verfahren wurde eine abweichende Vorgehensweise gewählt: Während die undichten Muffen beim Versuchsaufbau *ohne* zufließendes Grundwasser mit Hilfe des Roboters verspachtelt wurden (Roboter mit Spachtelaufsatz), wurden die Muffen bei zufließendem Wasser mit einer Schalungsmanschette versehen und verpresst (der selbe Roboter mit Schalungssetzgerät und Verpresseinheit). Das Verspachteln der Muffen wurde vom Verfahrensanbieter als ungeeignet angesehen, da ein Ausspülen des Harzes befürchtet wurde. Besondere Schwierigkeiten bei den Sanierungsarbeiten traten bei keinem der Anbieter auf.

An den Reparaturstellen, die mit der Janßen Riss- und Scherbensanierung erstellt wurden, zeigten sich beim Ausbau der Versuchsstrecke an der Rohraußenseite große Injektionskörper aus Sanierungsharz und Sand-Kies (vgl. Tab. 26). An den Reparaturen mit dem KA-TE PMO-Verfahren hingegen waren an den Außenseiten der Muffen keinerlei Harzaustritte sichtbar.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Tab. 39: Ergebnisse zum Versuchsaufbau mit Kies-/Sand-überdeckten Steinzeugrohren und Kurzzeit-Wasserdruck (72 h) von 1,50 m über Rohrsohle

Reparaturverfahren	Reparaturstelle	Prüfergebnis	
		Wasserdruck auf Scheitelhöhe[1]	Wasserdruck 1,50 m über Rohrsohle[2]
KA-TE PMO – Verfahren, KA-TE PMO AG (Spachtel-/ Verpressverfahren)	Muffe 1	dicht	dicht
	Muffe 2	dicht	dicht
	Muffe 3	dicht	dicht
Janßen Riss- und Scherbensanierung, Umwelttechnik Franz Janßen GmbH (Injektionsverfahren)	Muffe 1	dicht	dicht
	Muffe 2	dicht	undicht[3]
	Muffe 3	dicht	undicht[3]
3P-Plus-Kurzliner, sikotec GmbH / JT-elektronik GmbH (Kurzliner)	Muffe 1	dicht	dicht
	Muffe 2	dicht	dicht
	Muffe 3	dicht	dicht
KM - Kurzliner, KMG Pipe Technologies GmbH (Kurzliner)	Muffe 1	dicht	dicht
	Muffe 2	dicht	dicht
	Muffe 3	dicht	dicht
Quick-Lock, UHRIG Kanaltechnik GmbH (Innenmanschette)	Muffe 1	dicht	dicht
	Muffe 2	dicht	dicht
	Muffe 3	dicht	dicht

[1] Druckstufe wurde im Anschluss an die Reparaturarbeiten für 24 Stunden aufrechtgehalten
[2] Druckstufe wurde für weitere 72 Stunden aufrechtgehalten
[3] Tropfenbildung an der Reparaturstelle erkennbar

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Beim Versuchsaufbau mit **bindigem Boden**, mit dem exemplarisch der Einfluss der Durchlässigkeit des umgebenden Bodens auf das Sanierungsergebnis der Injektions- bzw. Spachtel-/Verpressverfahren untersucht werden sollte, konnte letztendlich nur das KA-TE PMO-Verfahren eingesetzt werden. Bei diesem Verfahren wird nicht gezielt Harz in das umliegende Erdreich injiziert. Beim Verspachteln von Rissen und Muffen entstehen im Regelfall keine Harzkörper an der Rohraußenseite. Werden Schäden mit Hilfe einer Schalungsmanschette verpresst, wie beispielsweise Ausbrüche, gelangt z.T. Harz in aufgelockerte Bodenräume bzw. Hohlräume (vgl. [1]). Das im Vergleich zur Janßen Riss- und Scherbensanierung zähflüssigere Harz dringt dabei i.d.R. nicht in die Porenräume des Bodens ein, sondern füllt nur Hohlräume aus oder verdrängt das aufgelockerte Erdreich, sodass Harzkörper ohne Bodeneinschlüsse entstehen (vgl. Abb. 50).

Bei der Janßen Riss- und Scherbensanierung wird dagegen gezielt Harz in das umliegende Erdreich injiziert. Das vergleichweise flüssige Sanierungsharz dringt in die Porenräume des Bodens ein, sodass im Vergleich zum KA-TE PMO – Verfahren deutlich größere Injektionskörper mit Bodeneinschlüssen entstehen (vgl. Abb. 50). Dies ist bei einem porenarmen bindigen Boden nicht möglich, sodass das Verfahren nach Angaben des Anbieters nicht für diese Bodenart geeignet ist.

Abb. 50: Sanierungskörper aus dem IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ [1]: Beispiel für die Janßen Riss- und Scherbensanierung mit Einschluss von Bodenmaterial (links, mittig) und Beispiel für das KA-TE Verpressverfahren ohne Einschluss von Bodenmaterial (rechts)

Das Vorgehen bei den Sanierungsarbeiten mit dem KA-TE PMO – Verfahren entsprach den Ausführungen im Versuchsaufbau mit Sand-Kies-Gemisch. Ein Unterschied bestand darin, dass der Anbieter für die Sanierungen anstatt des Epoxidharzes CONCRESIVE® 1801/1850 beim Versuchsaufbau mit bindigen Boden das Epoxidharz Konudur Robopox 10 verwendete. Alle drei Muffen waren über die gesamte Prüfdauer dicht (s. Tab. 40). Auch in diesem Fall zeigten sich beim Ausbau des Versuchsstandes an den Außenseiten keine Injektionskörper.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Tab. 40: Ergebnisse zum Versuchsaufbau Versuchsaufbau an mit bindigem Boden überdeckten Steinzeugrohren und Langzeit-Wasserdruck (1.000 h) von 1,50 m über Rohrsohle

Reparaturverfahren	Reparaturstelle	Prüfergebnis	
		Wasserdruck auf Scheitelhöhe[1]	Wasserdruck 1,50 m über Rohrsohle[2]
KA-TE PMO – Verfahren, KA-TE PMO AG (Spachtel-/ Verpressverfahren)	Muffe 1	dicht	dicht
	Muffe 2	dicht	dicht
	Muffe 3	dicht	dicht

[1] Druckstufe wurde im Anschluss an die Reparaturarbeiten für 24 Stunden aufrechtgehalten
[2] Druckstufe wurde für weitere 1.000 Stunden aufrechtgehalten

Auch bei den Außenwasserdruckprüfungen an den **freiliegenden Teststrecken** für die Kurzliner, bei denen bereits während des Reparaturvorgangs beim Setzen der Packer ein Wasserdruck bis 0,5 bar auf die Kurzliner aufgebaut und für 1.000 Stunden beibehalten wurde, entstanden während der Sanierungsarbeiten keine besonderen Probleme. Die Sicht während der Fräsarbeiten war nach Auskunft eines Technikers (Einbau des 3P-Plus-Kurzliners) zwar durch das zufließende Wasser behindert, dennoch konnten die Arbeiten ohne gravierende Schwierigkeiten oder Zeitverzögerungen ausgeführt werden. Hinsichtlich der Vorarbeiten und Einbauparametern (z.B. Packerdruck, eingesetzte Materialien, Aushärtezeiten) lagen keine Abweichungen zu den Sanierungsarbeiten im IKT-Warentest ohne anstehendes Grundwasser vor.

Optisch zeigten die Kurzliner bis auf geringfügige Beulungen nach außen im Bereich der umlaufenden Spalte zu Versuchsbeginn keine Auffälligkeiten. Beulen durch den äußeren Wasserdruck von 0,5 bar entstanden an keinem der Kurzliner. In allen drei untersuchten 3P-Plus-Kurzlinern (Silikatharz) bildeten sich während der Versuchszeit im Bereich der mit Außenwasserdruck belasteten umlaufenden Spalte „mehlartige“ Ausblühungen. Hierbei handelte es sich nach Angaben des Harzentwicklers um Soda-Ausblühungen, die durch Kontakt des Harzes mit Wasser entstünden und unbedenklich seien. Einflüsse der Soda-Ausblühungen auf die Dichtwirkung der Kurzliner wurden im Rahmen der Versuche nicht festgestellt.

Während die 3P-Plus-Kurzliner in den Nennweiten DN 300 und DN 500 über die gesamte Versuchsdauer bei 0,5 bar Außenwasserdruck dicht waren, zeigten sich in der Nennweite DN 200 ca. zwei Wochen nach Prüfungsbeginn Undichtigkeiten (vgl. Tab. 41). Unmittelbar am überdeckten Spalt durchdrang Wasser das Material und führte zu einer Wasseransammlung im Kurzliner. Wiederum zehn Tage später war dort kein Wassereintritt mehr zu verzeichnen. Nach Angaben des Harzherstellers können bei Kontakt des Kurzliners mit Wasser oder bei hoher Luftfeuchtigkeit in der Kanalatmosphäre Quellvorgänge in der Harzmatrix auftreten, die zu einem Abdichten kleiner Fehlstellen im Kurzliner führen können. Der Vorgang ist nach Angaben des Anbieters reversibel, sodass bei dauerhaft geringerer Luftfeuchtigkeit im Kanal der Kurzliner das aufgenommene Wasser wieder abgäbe und sich feine Kapillaren wieder öffnen können.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Beim KM-Kurzliner waren die Kurzliner in den Nennweiten DN 200 und DN 300 über die gesamte Versuchsdauer dicht (vgl. Tab. 41). Beim Kurzliner in der Nennweite DN 500 trat unmittelbar nach der Sanierung Wasser durch das Kurzlinermaterial. Da sich allerdings der Spalt bei der Sanierung auf ca. 8 cm verbreitert hatte (Verschiebesicherung war vor dem Einbau noch nicht aktiviert worden), wird der Kurzliner aus der Wertung genommen.

Beim Einsatz des KA-TE PMO-Verfahren bestätigten sich die Bedenken des Anbieters, das Verfahren sei bei diesem Versuchsaufbau nicht einsetzbar. Nach Angaben des Anbieters konnte aufgrund des durch die Gummimanschette eingeschränkten Verpressraums nicht genügend Harz in die Schadstelle verpresst werden. Ebenfalls ist dieser Versuchsaufbau nicht für die Janßen Riss- und Scherbensanierung geeignet, da bei diesem Verfahren gezielt größere Menge Harz in das umliegende Erdreich injiziert werden.

Tab. 41: Ergebnisses zum Versuchsaufbau an freiliegenden Steinzeugrohren und Langzeit-Wasserdruck (1.000 h) von 5 m über Rohrsohle

Reparaturverfahren	Reparatur-stelle	Wasserdruck [bar]	Prüfergebnis	
			bei Sanierungs-abschluss	nach 1.000 h
3P-Plus-Kurzliner, sikotec GmbH / JT-elektronik GmbH (Kurzliner)	DN 200	0,5 bar	undicht[1]	dicht
	DN 300	0,5 bar	dicht	dicht
	DN 500	0,5 bar	dicht	dicht
KM - Kurzliner, KMG Pipe Technologies GmbH (Kurzliner)	DN 200	0,5 bar	dicht	dicht
	DN 300	0,5 bar	dicht	dicht
	DN 500	0,5 bar	– [2]	– [2]

[1] leichte Undichtigkeit im Kurzlinermaterial nach ca. 14 Tagen, die nach wiederum ca. 10 Tagen verschwand

[2] aus der Wertung genommen, da beim Kurzlinereinbau die Verschiebesicherung der Rohre noch nicht aktiviert worden war und sich der zu sanierende umlaufende Spalt vergrößerte

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

4 Fazit

Die weiterführenden Untersuchungen zum IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ umfassten zwei Bearbeitungsschwerpunkte. Zum einen wurden ausgewählte Reparaturverfahren in Teststrecken unter zufließendem Grundwasser und Außenwasserdruck eingesetzt, um erste Hinweise zu den Einsatzmöglichkeiten der Verfahren bei drückendem Grundwasser zu erlangen. Zum anderen wurden vergleichende Haftzugprüfungen an vier Kurzlinersystemen auf elf unterschiedlichen Oberflächen durchgeführt, um Hinweise zu Einflüssen und der Notwendigkeit von Untergrundvorbereitungen bei der Kurzlinersanierung zu erhalten. Wesentliche Ergebnisse werden nachfolgend in den zwei Abschnitten „Sanierungen unter zufließendem Grundwasser und Außenwasserdruck“ und „Prüfungen zur Haftzugfestigkeit“ zusammengefasst.

Sanierungen unter zufließendem Grundwasser und Außenwasserdruck

Unter den Versuchsrandbedingungen zeigten die Verfahren überwiegend ein gutes Verhalten und bestätigten, dass **Reparaturen** mit dem Ziel der Abdichtung im Rahmen von Fremdwassersanierungsmaßnahmen **grundsätzlich möglich** sind. Inwieweit jedoch bei strahlförmig einspritzendem Wasser, höheren Wasserdrücken oder größerem Volumenstrom andere Ergebnisse zu erwarten sind, ist noch zu klären.

Der Versuchsaufbau mit **Kies-/Sand überdeckten Teststrecken** lies sich ohne besondere Schwierigkeiten herstellen und auch der Wasserstand bis 1,50 m über der Rohrsohle konnte gut kontrolliert werden. Die undichten Muffen wurden durch Fehlstellen in den Gummidichtungen hergestellt, sodass Wasser in die Rohre eintrat, ein Eintrag von Bodenmaterial jedoch vermieden wurde. Die Schadstellen konnten mit den zwei Kurzlinerverfahren[1], der Innenmanschette[2] und dem Spachtel-/ Verpressverfahren[3] (Roboterverfahren) erfolgreich abgedichtet werden. Allerdings bestand beim Spachtel-/Verpressverfahren eine Einschränkung in der Einsatzmöglichkeit der Roboteraufsätze: Hier wurde darauf verzichtet, die undichten Muffen – wie sonst üblich – mit dem Spachtelaufsatz zu verspachteln (s. Abschnitte 3.2.2 und 3.3), da das Sanierungsharz vor der Erhärtung aus den Muffen ausgespült worden wäre. Stattdessen wurde der Roboter mit Schalungssetzgerät und Verpressaufsatz bestückt und die Muffen mit Schalungsmanschetten abgedichtet und verpresst. Beim eingesetzten Injektionsverfahren[4] zeigten sich leichte Schwächen, da hier an zwei von drei sanierten Muffen minimal Wasser eintrat.

Der Versuchsaufbau mit **bindigem Boden** ließ sich deutlich schwieriger umsetzen, da sich zum einen die Wasserstände nur zögerlich einstellen ließen und zum anderen Setzungen auftraten. Das Bodenmaterial ist daher nur eingeschränkt geeignet,

[1] 3P-Plus-Kurzliner (sikotec GmbH / JT-elektronik GmbH) und KM-Kurzliner (KMG Pipe Technologies GmbH)
[2] Quick-Lock (UHRIG Kanaltechnik GmbH)
[3] KA-TE PMO – Verfahren (KA-TE PMO AG)
[4] Janßen Riss- und Scherbensanierung (Umwelttechnik Franz Janßen GmbH)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

um vergleichbare Randbedingungen für wiederholbare Prüfungen herzustellen. Dieser Versuchsaubau sollte dazu dienen, die Eignung von Injektions- und Spachtel-/ Verpressverfahren bei porenarmem Boden zu untersuchen. Letztendlich konnte nur eines von zwei ausgewählten Verfahren eingesetzt werden.

Der Anbieter des Injektionsverfahrens[1] sah von einem Einsatz ab, weil es für diese Bodenart nicht geeignet sei, da hier gezielt größere Mengen Harz in die Porenräume des umliegenden Erdreichs injiziert werden müssen. Mit dem Spachtel-/Verpressverfahren[2] hingegen konnten die Muffen erfolgreich abgedichtet werden, wiederum durch Einsatz von Schalungsmanschetten und Verpressaufsatz für den Roboter.

Um das Verhalten von Sanierungsharzen auch bei höheren Drücken zu testen, wurde ein Versuchsaufbau mit **freiliegenden Teststrecken** ohne Bodenüberdeckung gewählt, bei dem Drücke bis 0,5 bar eingestellt werden konnten. Bei diesem Versuchsaufbau wurden geschnittene Rohrenden mit einem Spalt von 2 cm positioniert, mit Gummi-Außenmanschetten abgedichtet und der Wasserdruck über Ventile an den Manschetten aufgebracht. Bei diesem Versuchsaufbau trat während der Sanierung ebenfalls Wasser über den Rohrspalt ein, jedoch bildeten sich aufgrund des Versuchsaufbaus keine spritzenden Wasserstrahlen (vgl. Abschnitt 3.1.2). Sowohl für das Injektionsverfahren[1] als auch für das Spachtel-/Verpressverfahren[2] war dieser Versuchsaufbau nicht geeignet. Für das Injektionsverfahren fehlt das umliegende Erdreich zur Injektion des Sanierungsharzes und auch für das Spachtel-/ Verpressverfahren war der Ringspalt zwischen Rohr und Manschette nach Angaben der ausführenden Firma zu gering, um ausreichend Harz verpressen zu können. Problemlos eingesetzt werden konnten dagegen die Kurzliner-Verfahren[3], sodass die Schadstellen über die Versuchsdauer von 1.000 Stunden (Wasserdruck von 0,5 bar) abgedichtet werden konnten. Allerdings trat beim Kurzlinerverfahren mit Silikatharz ein ohne Weiteres nicht nachvollziehbarer Effekt auf: Einer von drei Kurzlinern dichtete den sanierten Spalt zunächst vollständig ab, nach etwa zwei Wochen trat dann Wasser durch den Kurzliner hindurch und wiederum nach zehn Tagen war der Kurzliner wieder dicht. Der Harzentwickler begründet dies mit Quell- und Schrumpfvorgängen in der Harzmatrix durch Aufnahme und Abgabe von Wasser bei unterschiedlicher Feuchtigkeit in der Umgebung des Kurzliners.

Insgesamt bestätigten die Versuche, dass Sanierungen unter Außenwasserdruck grundsätzlich möglich sind, jedoch **fallbezogene Einsatzgrenzen** für die Verfahren bestehen können, z.B. durch die Bodenart und die Höhe des Wasserdrucks. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass für die Versuche Verfahren ausgewählt wurden, die bereits im IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Hauptkanäle“ [1] gute Ergebnisse erzielt hatten, ist somit mit Unterschieden in der Einsatzfähigkeit der Reparaturverfahren zu rechnen.

[1] Janßen Riss- und Scherbensanierung (Umwelttechnik Franz Janßen GmbH)
[2] KA-TE PMO – Verfahren (KA-TE PMO AG)
[3] 3P-Plus-Kurzliner (sikotec GmbH / JT-elektronik GmbH) und KM-Kurzliner (KMG Pipe Technologies GmbH)

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

Prüfungen zur Haftzugfestigkeit

Die Ergebnisse der Haftzugfestigkeitsprüfungen bestätigten, dass die Haftwirkung eines Kurzliners zum einen vom Kurzlinersystem bzw. Harzsystem und zum anderen von der Untergrundvorbereitung abhängig sein kann. Einzelne Schlussfolgerungen werden im Folgenden zusammengefasst.

Glasur bei Steinzeugrohren entfernen

Die Haftzugfestigkeiten auf den glasierten Steinzeugoberflächen unterschritten in der überwiegenden Zahl der Fälle die Anforderungen des DWA-M 143-20 [6] und der DIBt-Zulassungsprüfungen [7]. Dagegen konnten auf den unglasierten gefrästen Steinzeugflächen sehr hohe Haftzugwerte erreicht werden, die meist weit über den Anforderungen lagen. Die höchsten Werte wurden dabei mit dem ALOCIT-Kurzliner (Methylmethacrylatharz) und dem K-Liner (Epoxidharz) erzielt. Vor diesem Hintergrund sollte bei Steinzeugrohren grundsätzlich die Glasur abgetragen werden. Im DWA-M 143-7 [2] wird empfohlen, die Glasur an beiden Kurzliner-Enden auf einer Breite entsprechend dem halben Rohrdurchmesser, mindestens jedoch 30 cm, anzuschleifen. Insbesondere mit Blick darauf, dass die Haftwirkung innerhalb eines Kurzliners schwanken kann, sollten die 30 Zentimeter mindestens eingehalten werden, um Umläufigkeiten eines Kurzliners zu vermeiden. Fraglich ist, ob ein „Anschleifen“ tatsächlich ausreichend ist. Da zum einen bei einigen Prüfstempeln die Glasur in Teilbereichen mit abgelöst wurde und zum anderen sehr gute Haftzugwerte bei komplett entfernter Glasur nachgewiesen wurden, empfiehlt es sich, die Glasur vollständig abzutragen.

Verfahren reagieren bei Betonrohren unterschiedlich auf Fett und Feuchtigkeit

Auf den Betonoberflächen zeigte sich ein vergleichsweise uneinheitliches Bild. Während der ALOCIT-Kurzliner (Methylmethacrylatharz) auf sämtlichen Oberflächen sehr hohe Haftzugwerte lieferte und auch der K-Liner (Epoxidharz) mit Ausnahme des Kurzliners auf sehr nasser wassergelagerter Oberfläche sehr gute Werte erzielte, führten beim Point-Liner® (Polyurethanharz) und beim 3P-Plus-Kurzliner (Silikatharz) Feuchtigkeit und Fettrückstände zu deutlichen Einbußen in der Haftzugfestigkeit. Die Mindestanforderungen des DWA-M 143-20 und der DIBt-Zulassungsprüfungen wurden in der Folge unterschritten. Für Verfahren, die empfindlich auf Feuchtigkeit- und/oder Fettrückstände reagieren, empfiehlt es sich daher, den Kanal im Vorfeld besonders gründlich zu Spülen und einen Einsatz von Fettlösern in Erwägung zu ziehen sowie ggf. sehr genässte Betonoberflächen nach der Reinigung abtrocknen zu lassen. Grundsätzlich sollte der Beton bei Werkstoffveränderungen, z.B. infolge von Korrosion, bis in den ungeschädigten Bereich abgetragen werden, um auch eine entsprechende Haftzugfestigkeit des Untergrunds zu erreichen.

Gründliche Reinigungsarbeiten erforderlich

Bei den Betonrohren zeigte sich bei zwei von vier Kurzlinerverfahren, dass leichte Fettrückstände einen Einfluss auf die Haftzugfestigkeit eines Kurzliners haben können. Auch bei den gefrästen Steinzeugrohren zeichneten sich bei zwei Verfahren leichte Tendenzen dahingehend ab. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass bei

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

den Untersuchungen lediglich leichte Fettrückstände nach erfolgter Hochdruckreinigung simuliert wurden, sind gründliche Reinigungsarbeiten vor einem Kurzlinereinbau grundsätzlich zu empfehlen, unabhängig vom Kurzlinerverfahren. Die Reinigungsarbeiten sollten unmittelbar vor dem Kurzlinereinbau erfolgen. Um eine erneute Verschmutzung der Kanalwandung sowie Wasserrückstände in der Rohrsohle zu vermeiden, sollte der Kanalabschnitt abwasserfrei gehalten und somit den Forderungen des DWA-M 143-7 nachgegangen werden.

Unterschiede in den Verfahren

Die Haftzugprüfungen bestätigten, dass Unterschiede zwischen den Kurzlinerverfahren bzw. Harzen bezüglich ihrer Haftwirkung bestehen. So ergaben sich auf den gefrästen Steinzeugrohren und den Betonrohren die besten Haftzugwerte für den A-LOCIT-Kurzliner (Methylmethacrylatharz) und den K-Liner (Epoxidharz). Inwieweit die Ergebnisse grundsätzlich mit den Eigenschaften der vier vertretenen Harzgruppen (Epoxid-, Mehtylmethacrylat-, Polyurethan- und Silikatharz) in Verbindung stehen, ist ggf. in weiterführenden Untersuchungen zu klären.

Qualitätssicherung durch den Auftraggeber

Da eine gründliche Untergrundvorbereitung wesentlich zur späteren Qualität eines Kurzliners beiträgt, diese jedoch mit erheblichen Kosten verbunden sein kann, sollte auch der Auftraggeber zur Qualitätssicherung beitragen, indem notwendige Spül- und Fräsarbeiten explizit mit ausgeschrieben sowie in die Reparaturkosten mit einkalkuliert werden. Im zweiten Schritt können im Rahmen von stichpunktartigen Baustellenüberwachungen Reparaturvorgänge kontrolliert werden. Besteht keine Möglichkeit zur Baustellenüberwachung, sollte zumindest eine Sanierungsdokumentation mit Bildern der Schadstellen vor Beginn der Arbeiten, nach Beendigung der Vorarbeiten und nach Fertigstellung der Reparatur gefordert werden.

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

5 Literaturverzeichnis

[1] Bosseler, B.; Harting, K.; Färber, D.: Endbericht zum „IKT-Warentest Reparaturverfahren für Hauptkanäle“. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW, des Umweltministeriums des Landes Baden-Württemberg und von 26 Kanalnetzbetreibern; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen, 2009

[2] DWA-Merkblatt 143-7: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 7: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Kurzliner und Innenmanschetten. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, April 2003

[3] DAfStb-Richtlinie 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. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag, Berlin, Oktober 2001

[4] DIN EN 1542: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken, Prüfverfahren – Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch. Beuth Verlag, Berlin, Juli 1999

[5] Stein, D.; Niederehe, W.: Instandhaltung von Kanalisationen. 2. Auflage, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin, 1992

[6] DWA-Merkblatt 143-20: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 20: Prüfung und Beurteilung von Sanierungsverfahren; Anforderungen, Prüfkriterien und Prüfempfehlungen – Schlauchliningverfahren und Kurzliner. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, November 2005

[7] Vorläufiges Prüfprogramm für harzgetränkte, vor Ort härtende Kurzliner zur Sanierung von erdverlegten Freispiegelabwasserkanälen und –leitungen (ergänzende Festlegungen zu den Anforderungen und Prüfungen der „Zulassungsgrundsätze für die Sanierung von erdverlegten Abwasserleitungen der Grundstücksentwässerung“). Deutsches Institut für Bautechnik Anstalt des öffentlichen Rechts (DIBt), Berlin, Entwurf Mai 2011

[8] ALOCIT Kurzliner Handbuch; ALOCIT Chemie GmbH, Konstanz, Stand Mai 2011

[9] Informationen der ALOCIT Chemie GmbH, Mai / August 2011

[10] Handbuch „Punktuelle Kanalsanierung 3P-Plus-Kurzliner“; sikotec GmbH, Lindau / Bodensee, Stand Mai 2011

[11] Informationen der Remscheider Kanalsanierung Althaus e.K., Remscheid, Mai 2011

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH

Druckfassung 16.09.2011

[12] Arbeitsanweisung für das K-Liner Verfahren; Kuchem GmbH, Neunkirchen-Seelscheid, Stand Mai 2011

[13] Informationen der Kuchem GmbH, Neunkirchen-Seelscheid, Mai 2011

[14] Point-Liner®-System Schulungsmappe PL®-Longpacker; Bodenbender GmbH PL-Systemhaus, Biedenkopf, Stand Mai 2011

[15] Informationen der Bodenbender GmbH PL®-Systemhaus, Biedenkopf, Juni 2011

[16] Verfahrenshandbuch Point-Liner; Bodenbender GmbH PL-Systemhaus, Biedenkopf, Stand Mai 2011

[17] Information der Janßen Umwelttechnik GmbH, Goch, April 2011

[18] Schneider, K.-J.: Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen. 19. Auflage, Werner Verlag; Minden, Juli 2010

[19] DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Beuth Verlag, Berlin, Oktober 1997

© 2011 Alle Rechte vorbehalten IKT gGmbH