

FITR – Forschungsinstitut für Tief- und
Rohrleitungsbau gemeinnützige GmbH



Statusbericht

Forschungsprojekt:

Nachhaltige Kanalsanierung Stadt Rietberg

Gefördert durch das Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein
Westfalen

Projekt-Nr.: A-02/07-GT

Arbeitstitel:

Dauerhaft flexibler Reparaturstutzen für Einläufe der Grundstücksentwässerung

Kurztitel: Flexofit

Weimar, 30.11.2008

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Hartmut Solas
 Dipl.-Ing. Jürgen Krausewald

Auftraggeber: Stadt Rietberg

Inhaltsverzeichnis

1	Dauerhaft flexibler Reparaturstutzen für Einläufe der Grundstücksentwässerung - Flexofit.....	5
1.1	Einführung	5
1.1.1	Stand der Abwasserentsorgung in Deutschland	5
1.1.2	Rechtliche Situation in NRW	5
1.1.3	Problemsituation bei Grundleitungen und Anschlusskanälen	6
1.2	Stand der Technik.....	7
1.3	IKT – Warentest – Reparaturverfahren für Hausanschlussstutzen	9
1.4	Projektteam	9
1.5	Lösungsansätze.....	9
1.6	Anforderungen an die Lösungskonzeption	10
1.6.1	Besonderheiten der Kanalisation in Rietberg.....	10
1.6.2	Anwendungsgebiete des dauerhaft flexiblen Reparaturstutzens	11
1.6.3	Randbedingungen bei der technischen Umsetzung	11
1.6.4	Auswahl eines geeigneten Hutprofil-Sanierungsverfahrens mit dazugehöriger Applikationstechnik	11
1.7	Lösungskonzeptionen.....	11
1.8	Untersuchungen zur Umsetzbarkeit der Lösungskonzeptionen.....	12
1.8.1	Zielstellung	12
1.8.2	Versuchsprogramm	12
1.8.3	Versuchsaufbau.....	12
1.8.4	Durchführung von Handlingversuchen.....	13
1.8.4.1	Versuch V1 – Standardsanierung	13
1.8.4.2	Versuch V2 - Trockenversuch.....	14
1.8.4.3	Versuch V3 - Trockenversuch.....	15
1.8.4.4	Versuch V4	16
1.8.4.5	Versuch V5	17
1.8.4.6	Versuch V6	19
1.8.4.7	Versuch V7	20
1.8.5	Zusammenfassung der Ergebnisse der Handlingversuche V1 – V7.....	21
1.8.6	Versuch zur Bestimmung der Dichtheit des Gummimaterials - Versuch V8	22
1.8.7	Durchführung von Belastungsuntersuchungen	23
1.8.7.1	Durchführung von Scherlastversuchen und Dichtheitsprüfungen	23
1.8.7.2	Scherlastversuche	23

1.8.7.3	Dichtheitsprüfungen.....	26
1.8.7.4	Belastungen durch Hochdruckspülungen mit anschließender Inspektion und Dichtheitsprüfung.....	27
1.8.7.5	Einbau und Auslesen der Transponder	29
1.8.7.6	Zusammenfassung der Ergebnisse der Belastungsuntersuchungen.....	29
1.9	Weiterführende Untersuchungen	30
1.9.1	Versuchszielstellung	30
1.9.2	Versuchsprogramm	30
1.9.3	Versuchsaufbau.....	31
1.9.4	Versuchsdurchführung.....	31
1.9.4.1	Versuch V9 – Trockenversuch.....	31
1.9.4.2	Versuch V10 - Trockenversuch.....	32
1.9.4.3	Versuch V11 – Trockenversuch.....	33
1.9.4.4	Versuch V12 - Trockenversuch.....	33
1.9.4.5	Versuch V13 - Trockenversuch.....	35
1.9.4.6	Versuch V14	35
1.9.4.7	Versuch V15 - Trockenversuch.....	37
1.9.4.8	Versuch V16	38
1.9.4.9	Versuch V17	39
1.9.4.10	Vergleichende Untersuchung des Sanierungserfolges bei V14 und V17	41
1.9.4.11	Zusammenfassung weiterführenden Versuche V9 – V17.....	46
1.9.5	Abschließende Handlingversuche	47
1.9.5.1	Versuch V18	47
1.9.5.2	Versuch V19	49
1.9.5.3	Versuche V20 und V21	52
1.10	Festlegung der Vorzugsvariante für die Belastungsversuche.....	54
1.11	Belastungsuntersuchungen im IKT	55
1.11.1	Zielstellung	55
1.11.2	Versuchsreihe I.....	55
1.11.2.1	Einbauversuche.....	55
1.11.2.1.1	Versuchsaufbau und Sanierungsablauf.....	55
1.11.2.2	Ergebnisse der Einbauversuche einschl. Druckprüfung	56
1.11.2.3	Simulation dynamischer Belastungen und anschließende Dichtheitsprüfung.....	62
1.11.2.3.1	Belastungsparameter.....	62

1.11.2.3.2	Versuchsaufbau.....	64
1.11.2.3.3	Dichtheitsprüfung nach Belastung:	65
1.11.2.4	Simulation betrieblicher Belastungen und anschließende Dichtheitsprüfung.....	66
1.11.3	Versuchsreihe II – Dichtwirkung bei Versagen der Harzmatrix des BRAWOLINER®-Hutprofils.....	68
1.11.3.1	Zielstellung	68
1.11.3.2	Versuchsaufbau und Durchführung	68
1.11.3.3	Ergebnisse.....	68
1.11.4	Versuchsreihe III - Materialeigenschaften des Verbundes.....	69
1.11.5	Bewertung der Ergebnisse	75
1.12	Einordnung der Projektergebnisse im Vergleich zum IKT Warentest „Reparaturverfahren für Anschlussstutzen“	76
1.12.1	Randbedingungen	76
1.12.2	Ergebnisse.....	79
1.13	Praxistest des dauerelastischen Gummihutprofils in Rietberg.....	79
1.13.1	Flexofit-Gummihutprofil und Pyrolus-Setzverfahren	79
1.13.2	Flexofit-Gummihutprofil und HM-Kanaltechnik.....	81
2	Teiluntersuchung: Interaktion Kanal und Fahrbahn	83
3	Literaturverzeichnis.....	83
4	Anhang	85

1 Dauerhaft flexibler Reparaturstutzen für Einläufe der Grundstücksentwässerung - Flexofit

1.1 Einführung

1.1.1 Stand der Abwasserentsorgung in Deutschland

Die Länge der öffentlichen Kanalisation in Deutschland beträgt nach der DWA-Umfrage 2004 [1] 486.159 km. 20 % davon sind kurz- bzw. mittelfristig sanierungsbedürftig, weitere 21,5 % bedürfen langfristig einer Sanierung. Allein für die kurz- bis mittelfristig zu behebbenden Schäden werden rund 50 – 55 Milliarden Euro veranschlagt.

75 % der an der obigen Umfrage beteiligten Betreiber und Kommunen schätzen aus Mangel an tatsächlichen Bestandsdaten die Länge des privaten Entwässerungsnetzes zudem auf ungefähr das Doppelte der öffentlichen Kanalisation, auf ca. 1 Mio. km. Über den Zustand dieser Netze gibt es relativ wenige Kenntnisse, zumal im Ergebnis der Befragung bei der Erstabnahme auch heute noch nur 86 von 187 Hausanschlussleitungen inspiziert und auf Dichtheit überprüft werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass 60 – 70 % der Grundleitungen und Anschlusskanäle sanierungsbedürftig sind [2]. Für die Instandhaltung werden nach Einschätzung von [1] ebenfalls Beträge in zweistelliger Milliardenhöhe notwendig. Andere Quellen [3] gehen sogar von einem Schadenspotenzial von 90 % unter Prüfbedingungen nach DIN 1986-30 [4] mit voraussichtlichen Investitionen von 100 – 200 Mrd. Euro aus.

Bei diesen enormen Aufwendungen hat sowohl für die öffentliche Hand aber auch für den privaten Grundstückseigentümer die Qualität und Dauerhaftigkeit einer Sanierungsmaßnahme verständlicherweise eine große Bedeutung.

1.1.2 Rechtliche Situation in NRW

Bisher regelte die Landesbauordnung NRW (BauO NRW) im § 45, Absatz 1 im Bezug auf Abwasseranlagen, sie „...so anzuordnen, herzustellen und instand zu halten, dass sie betriebssicher sind und Gefahren oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen können.“ Absatz 4 gab vor, dass nach der Errichtung von Abwasserleitungen diese von Sachkundigen auf Dichtheit zu prüfen sind. Nach Absatz 5 musste bei bestehenden Abwasserleitungen eine Dichtheitsprüfung bis spätestens 31.12.2015 durchgeführt werden. Ausnahmen betrafen Abwasserleitungen in Wasserschutzgebieten.

Durch die Übernahme der Regelungen des bisherigen § 45 in das novellierte Landeswassergesetzes (LWG NRW) werden Dichtheitsprüfungen von Grundstücksentwässerungsleitungen auf allen Grundstücken bis zum 31.12.2015 obligatorisch. Die Pflichten bei der Selbstüberwachung von Abwasseranlagen durch die Betreiber regelt der § 61 und die der Abwasseranlagen in privatem Besitz der neue § 61a.

Durch das LWG, Stand 11.12.2007, wird nunmehr die Durchführung einer Dichtheitsprüfung fristgemäß vorgegeben. Undichte Leitungen sind nach der neuen Rechtslage ein Sanierungsfall und „...ungünstigstenfalls sogar eine Gewässerstraftat (§ 324 StGB)...“[5].

50 % der nordrhein-westfälischen Kommunen regeln in diesen Satzungen, dass die Anschlussleitungen vom öffentlichen Kanal bis zur Grundstücksgrenze in die private Zuständigkeit des Grundstückseigentümers fällt [6]. „Die Verantwortung – ausschließ-

lich der Anschlussstelle an den öffentlichen Kanal – liegt vollständig in privater Hand“ [7]. Bei der anderen Hälfte ist dieser Teil der Anschlussleitungen öffentlich.

Während obige Regelungen für die privaten Grundstückseigentümer neu geregelt wurden, galt für die öffentliche Kanalisation bereits das Landeswassergesetz (LWG NRW) und die am 01.01.1996 in Kraft getretene „Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitungen von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem – Selbstüberwachungsverordnung – SüwV Kan“ [8]. Danach sind die Betreiber einer anzeige- und genehmigungspflichtigen Abwasseranlage verpflichtet, deren Zustand, Unterhaltung und Betrieb selbst zu überwachen und hierüber Aufzeichnungen zu führen. Durch den Runderlass vom 03.01.1995 „Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen“ [9] werden zusätzlich betriebliche Maßnahmen vorgegeben, durch die der Betreiber die Funktionsfähigkeit der Abwasseranlage sicherzustellen hat. [10]

1.1.3 Problemsituation bei Grundleitungen und Anschlusskanälen

Beschränkt man die Problemsituation allein auf die Grundleitungen und Anschlusskanäle der privaten Grundstücksentwässerung, ergibt sich sowohl aus dem geschätzten Sanierungsbedarf als auch aus den gesetzlichen Vorgaben in NRW ein dringender Handlungsbedarf, der je nach Vorgaben der kommunalen Entwässerungssatzungen zu einer hohen finanziellen Belastung allein der privaten Grundstückseigentümer oder einer gemeinsamen Belastung von Betreibern und Grundstückseigentümern führt.

Deutlich wird der dringende Handlungsbedarf durch die Umfrageergebnisse des DWA aus 2004 nach denen Einläufe, die in der Regel in den Zuständigkeitsbereich der Betreiber fallen, die größte Schadenshäufigkeit (Abb. 1, Schadhafter Anschluss 20%) in der Kanalisation aufweisen.

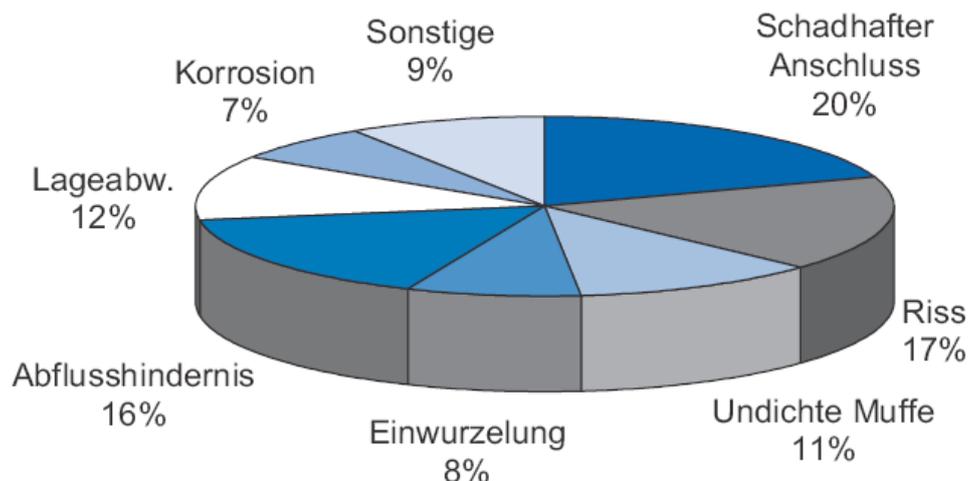


Abb. 1: Schadenverteilung an Kanälen [1]

Der heutige Stand der Technik (vergleiche Abschnitt 1.2) hat ein hohes technisches Niveau erreicht. Moderne Sanierungs- und Renovierungsverfahren sind in der Lage Schäden lokal oder abschnittsweise für Grundleitungen und Anschlusskanäle zu beheben und die Dichtheit für das Gesamtsystem Grundstücksentwässerung wieder zu gewährleisten, insofern Revisionschächte oder zumindest Revisionsöffnungen vorhanden sind.

Bei der Sanierung dieser Schäden werden heute vorrangig Injektionsverfahren und Hutprofilverfahren eingesetzt. Bei beiden Verfahren entstehen infolge der Sanierungsarbeiten starre Verbindungen zwischen Hausanschlussstutzen und Abwasserkanal. Da nach einer Sanierungsmaßnahme oder einer lokalen Reparatur an den Einläufen Relativbewegungen zwischen öffentlichen Abwasserkanal und privater und/oder kommunaler Grundstücksentwässerung aufgrund von Setzungen und dynamischer Verkehrslasten nicht ausgeschlossen werden können, ist eine starre Verbindung denkbar ungeeignet, den wirkenden Kräften zu widerstehen. Als Folge treten nach kürzester Zeit erneut Undichtigkeiten durch Rissbildung an den Übergangsbereichen auf.

Diesem, aus technischer und wirtschaftlicher Sicht, vorhandenen Nachteil heutiger Verfahren, versucht das Vorhaben durch die Entwicklung eines flexiblen Reparaturstutzens, der Relativbewegungen zwischen Einlauf und Kanal zulässt, ohne undicht zu werden, zukünftig abzustellen. Dieser soll bei der Komplettsanierung eines öffentlichen Abwasserkanals eingesetzt werden können, aber auch nur bei einer einzelnen Reparatur des Einlaufs.

Weitere Probleme bei den Zuläufen in die öffentliche Kanalisation stellen s. g. Fremdeinleiter dar. Diese „illegalen“ Zuläufe belasten die Kanalisation und die Klärbetriebe ohne das dafür Abwassergebühren entrichtet werden. Durch die Integration eines Transponders in oder an den zu entwickelnden Reparaturstutzen werden zugelassene Einläufe zukünftig mit einer Identifikationsnummer, ID, ausgestattet und können somit leicht, als solche erkannt werden.

1.2 Stand der Technik

Es ist Stand der Technik bei der Reparatur von Einläufen der Grundstücksentwässerung in einem nicht begehbaren Kanal fahrgewagenbasierte Systeme einzusetzen. Diese verfügen neben der(n) Kamera(s) mit Beleuchtung über eine Spezialvorrichtung, die es erlaubt, unsachgemäß eingebundene oder schadhafte Zuläufe der Grundstücksentwässerungsleitungen in den Kanal zu reparieren. Das Spektrum der Anbieter und der verwendeten Technik einschließlich des Linermaterials ist umfangreich. Deshalb wird sich hier beispielhaft für andere auf die Hutprofil-Technik Insituform® HPT der Fa. Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH [11] und die KA-TE Schalungsmanschette der Fa. KA-TE System AG, Schweiz [12] beschränkt.

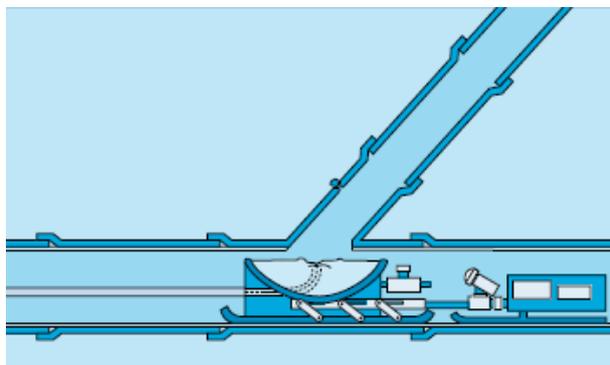


Abb. 2: Positionierung des Hutprofilpackers [11]

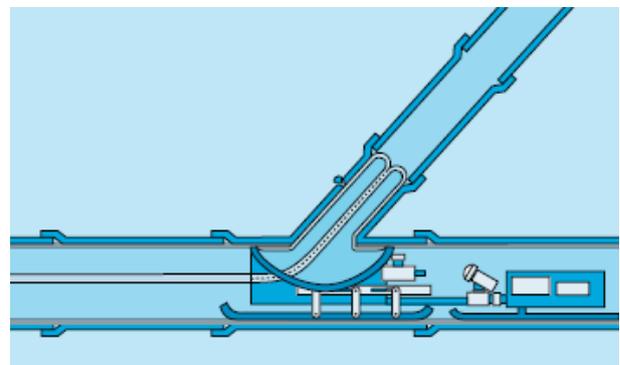


Abb. 3: Einstülpen des Hutprofils in den zu reparierenden Zulauf [11]

Die vorzustellenden Verfahren sind im Zusammenhang mit der Sanierung des gesamten Hauptkanals einsetzbar, aber auch nur als Reparatur einzelner Zuläufe. Bei der Sanierung des Kanals werden vor dem Einzug eines Schlauchliners die Zuläufe eingemessen und nach dem Einziehen mit einem Fräsroboter wieder freigelegt.

Durch diesen erfolgt auch die mechanische Vorbereitung der Zuläufe für die Reparatur.

Bei der Hutprofil-Technik werden im Anschluss vorgefertigte Hutprofile aus korrosionsbeständigen synthetischen Fasern, die in ihrer Länge mindestens bis zur ersten Muffe des Anschlusskanals reichen, in den Zulauf platziert. Das Hutprofil wird auf der Baustelle an die örtlichen Bedingungen (Winkel und Tiefe der Einbindung) konfektioniert und unter Vakuum mit Epoxidharz imprägniert. Danach wird das Profil auf dem Einbaumodul des Hutprofilpackers vormontiert. Dabei werden die Enden in einen nach innen gestülpten Kalibrierschlauch gesteckt. Nach der Positionierung des Packers im Kanal vor dem Einlauf (Abb. 2) wird das Hutprofil über den Kalibrierschlauch mit Druckluft in den Anschlusskanal gestülpt (Abb. 3). Die Druckluft wird durch warmes Wasser ersetzt, das im Kalibrierschlauch zirkuliert und das Hutprofil unter dem Anpressdruck des Stützschauches in kürzester Zeit aushärtet (Abb. 4).

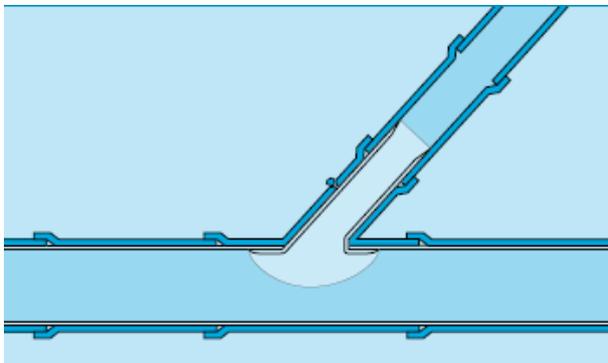


Abb. 4: Fertiggestellter Zulauf [11]



Abb. 5: KA-TE Schalungsmanschette mit eingestülptem Ballon [12]

„Die KA-TE Schalungsmanschette ist ein neues, patentiertes Verfahren zur wirtschaftlichen und technisch perfekten Hausanschlussanierung. Die Schalungsmanschette besteht aus einer flexiblen Kunststoffplatte mit einer dem Durchmesser des zu sanierenden Einlaufs entsprechenden Öffnung. Über eine Mechanik wird die Schalung an die Rohrwand ausgefahren, ähnlich einer von innen nach außen wirkenden Schlauchbrücke. Durch die Öffnung wird ein Ballon gesetzt, der die Formschalung für das fehlende Einlaufrohr bildet und mit der Schalungsmanschette dicht abschließt. Durch zwei Einspritzlöcher wird der ringförmige Hohlraum mit Epoxidkleber gefüllt, anschließend werden die Schieber über den Einspritzlöchern verschlossen (Abb. 5). Nach dem Aushärten werden die Manschette und der Ballon entfernt. Zurück bleibt der fertig sanierte Einlauf, der nicht mehr weiter nachbearbeitet werden muss.“ [12]

Nach einem ähnlichen Prinzip arbeitet die Stutzsanierungsanlage EL 300/600 von Hächler Umwelttechnik. Als wesentlicher Unterschied zur Schalungsmanschette von KA-TE wird ein eigens entwickelter und vom DIBT zugelassener faserverstärkter Trockenmörtel ERGELIT Kanaltec CF verwendet.

Allen Systemen zur Reparatur von Einlaufstutzen ist zu eigen, dass die verwendeten Materialien zwischen Grundstücksentwässerungsleitungen und dem Kanal eine starre Verbindung herstellen, die bei Relativbewegungen infolge von Setzungen und dynamischen Belastungen innerhalb kürzester Zeit erneut zu Undichtigkeiten führen.

1.3 IKT – Warentest – Reparaturverfahren für Hausanschlussstutzen

Das IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH führte im Auftrag von 26 Kanalnetzbetreibern, u. a. der Stadt Rietberg, vergleichende Warentests [13] mit dem Ziel durch, das Investitionsrisiko für die Auftraggeber beim Einsatz von Reparaturverfahren für Hausanschlussstutzen zu senken. Insgesamt wurden 7 Injektionsverfahren und 6 Hutprofilverfahren neutral und unabhängig getestet. Im Ergebnis konnte nur ein Verfahren mit „gut“ bewertet werden. Alle weiteren Verfahren erreichten das Prüfurteil „ausreichend“ oder „mangelhaft“. Die Schlussfolgerungen für die Netzbetreiber wurden vom IKT wie folgt zusammengefasst:

Die Reparatur auch extremer Schäden (sehr spitzer Anschlusswinkel, Grundwasser usw.) ist in geschlossener Bauweise grundsätzlich möglich. Eine Dichtheit des Anschlussstutzens wird durch die Reparatur allerdings nur selten erreicht.

Eine optische Beurteilung reparierter Anschlussstutzen lässt keine zuverlässigen Aussagen zur Dichtheit zu. Um Kenntnis über die Dichtheit zu erlangen, sind Dichtheitsprüfungen unumgänglich.

Die Funktionsfähigkeit des Anschlussstutzens kann mit den meisten Reparaturverfahren signifikant verbessert werden (z. B. Abwasserableitung verbessert, keine Verstopfungsgefahr).

1.4 Projektteam

Das Projekt wird als Kooperationsprojekt zwischen dem FITR-Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau gemeinnützige GmbH und dem IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH durchgeführt.

Förderung

- Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucher, NRW

Auftraggeber

- Stadt Rietberg

Projektkoordination

- FITR-Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau gemeinnützige GmbH als Rechtsnachfolger des Forschungsinstituts für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e. V. – Projektkoordinator

Hochschulen und Forschungseinrichtungen

- Hochschule Ostwestfalen-Lippe
- IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH

Unternehmen

- Dr. Papadakis GmbH
- ConVia Ingenieurgemeinschaft, Sachverständige für Verkehrswegebau
- Theodor Cordes GmbH & Co. KG

1.5 Lösungsansätze

Aufbauend auf den technischen Lösungen zur Reparatur von Einläufen der Grundstücksentwässerung in die öffentliche Kanalisation, wie sie als fahrgewagenbasierte Systeme unter Pkt. 1.2 beschrieben wurden, soll im Projekt Flexofit eine Verfahrens- und Produktentwicklung initiiert werden, in deren Ergebnis ein im Übergangsbereich

zwischen Einlauf und Kanal dauerhaft flexibler Reparaturstutzen mithilfe einer heute üblichen Vorrichtung mittels Inversionsverfahren platziert wird.

Der neuartige Reparaturstutzen soll deshalb nach den Lösungsansätzen zum einen, wie bei heutigen Systemen, aus einem mit Harz getränkten Vlies aus Synthefasern (Nadelfilz) und/oder Glasfasergewebe (z. B. korrosionsbeständiges E-CR-Glas) bestehen, der in den Einlauf inversiert wird und nach Aushärtung ein Kurzrohr ausbildet. Die Aushärtung des Harzes wird durch überwiegend thermische Initiatoren wie z. B. Härtung mit Dampf oder warmen Wasser durchgeführt. Aber auch eine Lichthärtung über Fotoinitiatoren ist möglich.

Zum anderen soll der Übergangsbereich zwischen Einlauf und Kanal entweder durch ein Zwischenstück in Form eines umlaufenden Rings aus dauerhaft elastischem Material (z. B. EPDM) bestehen, welches mit einem Hutprofil aus dem gleichen mit Harz getränkten Material, wie das oben beschriebene Kurzrohr verbunden wird oder das untere gesamte Hutprofil aus Elastomer bestehen, das bei der Reparatur des Einlaufs vor Ort vulkanisiert wird.

Diese Lösung soll sowohl für die Reparatur von einzelnen oder mehreren Hausanschlüssen angewendet werden, als auch nach der haltungsweisen Sanierung mit einem Schlauchliner.

Eine weitere Zielstellung des Projektes besteht darin, in den Reparaturstutzen passive Datenspeichern s. g. Transponder basierend auf der RFID-Technologie zu integrieren, die es durch eine Identifikation (ID) ermöglichen, bei späteren Inspektionen ordnungsgemäße Einläufe und die Zuordnung zum Eigentümer zu erkennen und so Fremdeinleiter nachzuweisen.

So sollen Transponder in die Gummidichtung der Einläufe nicht nur im Falle der Neuverlegung integriert werden, sondern auch im Sanierungsfall. Dadurch wird sukzessive ein komplettes Identifikationssystem der Einläufe von Hausanschlussleitungen geschaffen.

Folgende Lösungsansätze sollen im Projekt verwirklicht werden:

- Entwicklung eines dauerhaft flexiblen Reparaturstutzens mit integriertem Transponder für den nicht mit einem Schlauchliner zuvor sanierten Hauptkanal
- Entwicklung eines dauerhaft flexiblen Reparaturstutzens mit integriertem Transponder für den mit einem Schlauchliner zuvor sanierten Hauptkanal
- Anpassung der heutigen Installationstechnik an den neuartigen Reparaturstutzen insbesondere zur Vulkanisierung des Elastomerteils des Reparaturstutzens

1.6 Anforderungen an die Lösungskonzeption

1.6.1 Besonderheiten der Kanalisation in Rietberg

- niedrig überdecktes Regenwassersystem
- Tiefenlage max. 1,50 m
- Straßenaufbau entspricht nach Umwidmung nicht den Anforderungen des Straßenverkehrs
- Mängel bei der Einhaltung der vorgegebenen Schichthöhen der Straßensicherung
- hoher Grundwasserstand

1.6.2 Anwendungsgebiete des dauerhaft flexiblen Reparaturstutzens

- Sanierung von Hausanschlüssen am Altrohr, ohne Sanierung der Hauptleitung
- Sanierung von Hausanschlüssen in Verbindung mit der Inlinersanierung des Hauptrohres

1.6.3 Randbedingungen bei der technischen Umsetzung

- Entwicklung eines Reparaturstutzens mit den gewünschten Eigenschaften
- Übernahme eines eingeführten Hutprofil-Sanierungsverfahrens
- Nutzung der dafür vorhandenen Setztechnik
- Keine Entwicklung spezieller Setztechnik
- Nur minimale Anpassungen möglich

1.6.4 Auswahl eines geeigneten Hutprofil-Sanierungsverfahrens mit dazugehöriger Applikationstechnik

Bei der Auswahl der am Markt eingeführten Hutprofil-Sanierungsverfahren für Hausanschlussstutzen wurden die im IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Anschlussstutzen“ [13] untersuchten und bewerteten Verfahren hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit im Projekt Flexofit unter Berücksichtigung der in Abschn. 1.6.1 beschriebenen Besonderheiten der Kanalisation in Rietberg untersucht.

Wichtigstes Auswahlkriterium für ein Verfahren war eine möglichst große Inversionslänge des Liners in den Hausanschluss. Als Mindestanforderung galt dabei die sichere Einbeziehung der ersten Muffenverbindung nach dem Anschluss an den Hauptsammler in die Sanierung. Dabei konnte eindeutig der BRWOLINER® von Karl Otto Braun GmbH & Co. KG und die von PKT – Pader Kanal Technik – Rohr frei GmbH entwickelte Pyrolus-Setztechnik mit einer Inversionslänge von 60 cm überzeugen.

Die weiteren im IKT-Warentest untersuchten Verfahren erreichten lediglich eine Inversionslänge von max. 40 cm.

1.7 Lösungskonzeptionen

Während der Erarbeitung der Projektkonzeption wurden durch das Projektteam zunächst folgende praxisrelevante Lösungsansätze erarbeitet, die als oberste Priorität die Verwendung des BRAWOLINER®-Hutprofils und eines zusätzlich eingebrachten dauerelastischen Teil vorsahen:

Lösungskonzeption 1: Integration in die Harzmatrix

Einbau des zusätzlichen Gummihutprofils zusammen mit dem BRAWOLINER®-Hutprofil unter Verwendung der Pyrolus-Setztechnik

Lösungskonzeption 2: Einbau ohne Integration in die Harzmatrix

Einbau von Gummihutprofil und BRAWOLINER®-Hutprofil getrennt voneinander in zwei Arbeitsschritten

Der Unterschied der beiden Lösungskonzeptionen besteht im Wesentlichen in der unterschiedlichen Applikation des zusätzlichen Gummihutprofils. Die Lösungskonzeption 1 geht dabei von einem Arbeitsschritt beim Setzvorgang aus, die Lösungskonzeption von zwei Schritten.

Beide Lösungskonzeptionen führen im Ergebnis der Sanierung zu einem starren System. Die Innovation bei beiden Ansätzen besteht darin, dass bei den in Rietberg typischen Belastungen ein Versagen der Harzmatrix durch das zusätzliche Gummihutprofil keine Undichtigkeit des sanierten Einlaufes wie bisher zur Folge hat. Der zusätzlich integrierte Gummiteil gewährleistet die Dichtheit des Gesamtsystems.

1.8 Untersuchungen zur Umsetzbarkeit der Lösungskonzeptionen

1.8.1 Zielstellung

Entsprechend der Projektzielstellung soll mit den Untersuchungen der Nachweis erbracht werden, dass die Lösungskonzeption1 in der Praxis umgesetzt werden kann. Insbesondere sind die technologischen Abläufe bei der gemeinsamen Inversion von BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil Flexofit auf ihre grundsätzliche Eignung zu untersuchen (Handlingversuche) und die Qualität des Sanierungsergebnisses zu bewerten. Im Weiteren sollen die Systemeigenschaften des Verbundes von BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil Flexofit untersucht werden. Dazu wird auf die sanierten Einläufen eine statische Beanspruchung aufgebracht und die Dichtheit vor Versuchsbeginn und danach bestimmt. Im Anschluss soll die Belastbarkeit der beanspruchten Einläufe durch Hochdruckspülungen ermittelt werden.

1.8.2 Versuchsprogramm

1. Ausführung einer Einlauf-Sanierung mit dem BRAWOLINER®-Hutprofil und dem Pyrolus-Setzverfahren der Fa. PKT ohne Systemänderung als Standardfall.
2. Ausführung von Einlauf-Sanierungen unter Verwendung jeweils eines zusätzlichen Gummihutprofils, welches zusammen mit dem BRAWOLINER®-Hutprofil mit dem Pyrolus-Setzverfahren invertiert wird.
3. Ausführung von Einlauf-Sanierungen mit händischer Einbringung des Gummihutprofils und anschließender Inversion des BRAWOLINER®-Hutprofils im Pyrolus-Setzverfahren.
4. Durchführung von Dichtheitsprüfungen an den unterschiedlich sanierten Einläufen vor Aufbringung einer statischen Belastung.
5. Statische Belastung auf die sanierten Einläufe entsprechend der Annahmen und Berechnungen von Prof. Köhler, Hochschule Ostwestfalen-Lippe (worst case, der für Rietberg erwartet werden kann).
6. Durchführung von Dichtheitsprüfungen an den mit den unterschiedlichen Verfahren sanierten Einläufen nach der statischen Belastung.
7. Durchführung von Spülversuchen

1.8.3 Versuchsaufbau

Auf dem Gelände des IKT in Gelsenkirchen wurde ein Versuchsstand errichtet (Abb. 6 und Abb. 7). Dieser setzte sich aus zwei Betonrohren DN 300 mit einem Gelenkstück an den Enden zusammen. In die Betonrohre wurden im Abstand von ca. 500 mm Bohrungen mit einem Durchmesser von 150 mm eingebracht. Die Simulation von abgesicherten Einläufen als einem typischen Schadensfall im Einlaufbereich erfolgte, indem jeweils ein Plexiglasrohr mit einer Länge von ca. 1000 mm vor das Betonrohr positioniert wurde, dass keine direkte Berührung mit dem Betonrohr stattfand.

PKT stellt für die Versuchsdurchführung das einzige verfügbare Fahrzeug für das Pyrolus-Setzverfahren zur Verfügung (Abb. 8).



Abb. 6: Versuchsstrecke



Abb. 7: Blick auf den Versuchsstand mit den vorgelegten Plexiglasrohren



Abb. 8: Fahrzeug von PKT während der Versuchsdurchführung

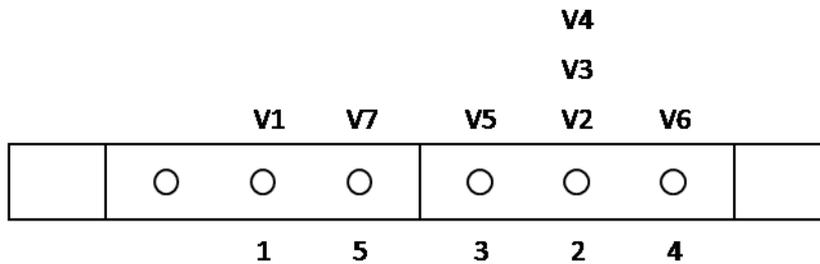


Abb. 9: Zuordnung der im Folgenden erläuterten Versuche V1-V7 zur Lage an den Rohren der Versuchstrasse

1.8.4 Durchführung von Handlingversuchen

1.8.4.1 Versuch V1 – Standardsanierung

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Lösungskonzeption 1:

Hutprofil: BRAWOLINER®

Harz: BRAWO M1

Setztechnik: Pyrolus



Abb. 10: Mit dem BRAWOLINER®-Hutprofil sanierter HA unmittelbar nach dem Inversieren



Abb. 11: Mit dem BRAWOLINER®-Hutprofil sanierter HA nach Aushärtzeit des Harzes

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Der Versuch V1 wurde als Standardsanierungsfall ausgeführt.
- Er stellt den Stand der Technik des Pyrolus-Setzverfahren mit den BRAWOLINER®-Hutprofil dar und diente zum Vergleich und zur Bewertung der später bei allen Versuchen erreichten Ergebnisse.

Ergebnis:

- Die Sanierung wurde erfolgreich durchgeführt!

1.8.4.2 Versuch V2 - Trockenversuch

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Lösungskonzeption 1:

Hutprofil:	BRAWOLINER®
Gummihutprofil:	Hutzylinderhöhe: ca. 40 cm Breite der Hutkrempe: ca. 5 cm Materialstärke: 1,4 mm Abwinklung Krempe-Hut: 90°
Harz:	Trockenversuch ohne Harz
Setztechnik:	Pyrolus Blaseninnendruck: max. 0,8 bar



Abb. 12: Gummihutprofil seitenerkehrt in das BRAWOLINER®-Hutprofil eingeschoben und zusammen in das Setzgerät gezogen

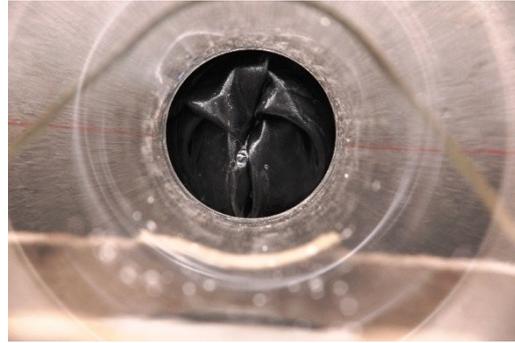


Abb. 13: Trotz Druckerhöhung auf max. 0,8 bar ließen sich BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil nicht in den simulierten Einlauf invertieren

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Der ca. 40 cm lange zylindrische Teil des Gummihutprofils ließ sich seitenerkehrt in das BRAWOLINER®-Hutprofil einstecken und beide zusammen in das Setzgerät einziehen.
- Ein Invertieren in den Einlauf war nicht möglich.
- Ursache: Es wurde vermutet, dass das trockene Gummimaterial während der Inversion gegeneinander reibt. Die Reibkräfte sind für den Druckbalg des Setzgerätes zu groß.
- Auch eine nachträgliche Behandlung des sichtbaren Teils des Hutprofils mit Gleitmittel reichte nicht aus, um die Reibkräfte ausreichend zu verringern.

Ergebnis:

- Der Trockenversuch V2 wurde ohne Erfolg abgebrochen!

1.8.4.3 Versuch V3 - Trockenversuch

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Lösungskonzeption 1:

Hutprofil:	BRAWOLINER®
Gummihutprofil:	Hutzylinderhöhe: ca. 20 cm Breite der Hutkrempe: ca. 5 cm Materialstärke: 1,4 mm Abwinklung Krempe-Hut: 90°
Gleitmittel:	Innenseite des Gummihutprofils nach dem Einstecken in das BRAWOLINER®-Hutprofil komplett mit Gleitmittel behandelt
Harz:	Trockenversuch ohne Harz
Setztechnik:	Pyrolus Blaseninnendruck: max. 0,8 bar



Abb. 14: Von Innen mit Gleitmittel behandeltes Gummihutprofil zusammen mit dem BRAWOLINER®-Hutprofil im Setzgerät



Abb. 15: Erfolgreiches Invertieren von BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil als Folge der vorgenommenen Änderungen



Abb. 16: Gummihutprofil nach dem Inversionsvorgang einschließlich Faltenbildung



Abb. 17: Gummihutprofil nach dem Inversionsversuch

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Die Verkürzung des Hutzylinders auf ca. 20 cm sowie Behandlung der vor der Inversion innen liegenden Seite des Gummihutprofils mit Gleitmittel führten zur kompletten Inversion von BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil in den simulierten Einlauf (Abb. 14 bis Abb. 17).
- Als Folge des Inversionsvorganges legte sich das Gummihutprofil nicht glatt sondern in Falten an die Wandung des Plexiglasrohres an (Abb. 16).
- Vermutete Ursache: Der Durchmesser des Hutzylinders war zu groß für die Rohrwandung des Plexiglasrohres. Dadurch kam es zum Verdrehen des Hutzylinders beim Einziehen in das Setzgerät und folglich zur Faltenbildung.

Ergebnis:

- Der Trockenversuch V3 wurde als erfolgreich bewertet abgeschlossen!

1.8.4.4 Versuch V4

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Lösungskonzeption 1:

Hutprofil: BRAWOLINER®
Gummihutprofil: Hutzyylinderhöhe: ca. 20 cm
Breite der Hutkrempe: ca. 4,5 cm
Materialstärke: 1,4 mm
Abwinklung Krempe-Hut: 90°

Gleitmittel: Innenseite des Gummihutprofils nach dem Einstecken in den BRAWOLINER® komplett mit Harz behandelt

Harz: BRAWO M2

Setztechnik: Pyrolus

Blaseninnendruck: max. 0,8 bar



Abb. 18: Gummihutprofil in den zuvor mit Harz getränktem BRAWOLINER®-Hutprofil gesteckt und zusammen in das Setzgerät gezogen



Abb. 19: Gummihutprofil und BRAWOLINER®-Hutprofil unmittelbar nach dem Inversionsvorgang, Ausbildung von Längsfalten



Abb. 20: Gummihutprofil und BRAWOLINER®-Hutprofil nach der Aushärtung

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Bei analoger Versuchsdurchführung wie bei V3 und unter Verwendung von Harz wurde der erste praxisnahe Test durchgeführt.
- Wie bei V3 kam es am Gummihutprofil nach dem Inversieren zu einer Faltenbildung (Abb. 19).
- Ursachen wie bei V3

Ergebnis:

- Der Versuch V4 wurde als erfolgreich bewertet abgeschlossen!

1.8.4.5 Versuch V5

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Lösungskonzeption 1:

Hutprofil: BRAWOLINER®

Gummihutprofil: Hutzyylinderhöhe: ca. 20 cm
Breite der Hutkrempe: ca. 6,5 cm

- Materialstärke: 1,4 mm
Abwinklung Krempe-Hut: 90°
Zusätzliches Quellband am Ende des Gummihtes (Abb. 21) und an der Hutkrempe (Abb. 22) verklebt
- Gleitmittel: Innenseite des Gummihutprofils nach dem Einstecken in den BRAWOLINER® komplett mit Gleitmittel behandelt
- Harz: BRAWO M2
- Setztechnik: Pyrolus
Blaseninnendruck: max. 0,5 – 0,58 bar
- Transponder: Einbau in 12 Uhr aus Sicht des HA (Abb. 23 und Abb. 24)



Abb. 21: Quellband am Hutzyylinder vor dem Inversionsvorgang



Abb. 22: Quellband an der Hutkrempe vor dem Inversionsvorgang



Abb. 23: Transponder zur Speicherung z. B. von betreiberspezifischer Daten über den HA



Abb. 24: Transponder zwischen BRAWOLINER®-Hutprofil und Krempe des Gummihutprofils eingelegt, am Harz selbsthaftend, Lage später am HA 12-Uhr



Abb. 25: Ergebnis des Inversionsvorganges, Bildung von Querfalten durch das Quellband am Ende des Hutzyinders



Abb. 26: Sanierungsergebnis nach der Aushärtzeit

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Der Gummihutzylinder ließ sich zusammen mit dem BRAWOLINER®-Hutprofil in den simulierten Einlauf invertieren.
- Wie bei V4 wurde eine Faltenbildung beobachtet (Abb. 25). Die Falten waren nicht wie bei V4 in Längsrichtung ausgebildet, sondern verliefen radial. Es wird vermutet, dass durch das aufgeklebte Quellband am Ende des Hutzylinders beim Inversieren eine zusätzliche Behinderung auftrat, sodass das Hutprofil sich in HA-Richtung nicht vollständig ausbreiten konnte.
- Die Hutkrempe war mit 6,5 cm etwas zu breit für die Hutkrempe des BRAWOLINER®-Hutprofils. Dies wurde bei der anschließenden Begutachtung des Sanierungsergebnisses im Hauptsammler mit der Kamera festgestellt. Für die nächsten Versuche wurde die Breite der Hutkrempe auf 5 cm festgelegt.

Ergebnis:

- Versuch V5 wurde als erfolgreich bewertet abgeschlossen!

1.8.4.6 Versuch V6

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Lösungskonzeption 2:

Hutprofil: BRAWOLINER®

Gummihutprofil: Hutzylinderhöhe: ca. 40 -43 cm mit Perforationen am Hutende, von Hand gesetzt (Abb. 27)

Breite der Hutkrempe: ca. 5 cm

Materialstärke: 1,4mm

Abwinklung Krempe-Hut: 90°

Gleitmittel: kein Gleitmittel

Harz: BRAWO M1

Setztechnik: Pyrolus nur für BRAWOLINER®

Blaseninnendruck: max. 0,5 bar



Abb. 27: Gummihutprofil mit Perforationen am Ende des Hutzylinders mit Hand eingebracht, keine Faltenbildung



Abb. 28: Gummihutprofil im simulierten Einlauf vor dem Einbringen des BRAWOLINER®-Hutprofils mit dem Pyrolus-Verfahren



Abb. 29: Invertieren des BRAWOLINER®-Hutprofils



Abb. 30: Gummihutprofil und BRAWOLINER®-Hutprofil während der Aushärtung



Abb. 31: Ansicht des Sanierungsergebnisses

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Das Gummihutprofil wurde von Hand in den simulierten HA eingebracht.
- Dadurch kam es zu einem optimalen Anliegen des Hutzyinders an das Plexiglasrohr.
- Durch den getrennten Setzvorgang von Gummihutprofil und BRAWOLINER® konnten Falten am Gummihutprofil vermieden werden.
- Die Perforationen sollten für eine bessere Fixierung des Gummiprofils an der HA-Leitung Sorge tragen und die Gefahr einer Hinterläufigkeit verringern.

Ergebnis:

- Versuch V5 wurde als erfolgreich bewertet abgeschlossen!

1.8.4.7 Versuch V7

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Lösungskonzeption 1:

Hutprofil:	BRAWOLINER®
Gummihutprofil:	Hutzyylinderhöhe: ca. 43 cm Breite der Hutkrempe: ca. 5 cm Materialstärke: 1,4mm Abwinklung Krempe-Hut: 90°
Gleitmittel:	außen und innen mit Gleitmittel behandelt
Harz:	BRAWO 2

Setztechnik: Pyrolus
Blaseninnendruck: max. 0,62 – 0,63 bar
Transponder: Einbau in 12 Uhr aus Sicht des HA



Abb. 32: Gummihutprofil unmittelbar nach dem Inversionsvorgang



Abb. 33: Faltenbildung am Hutzyylinder des invertierten Gummiprofils



Abb. 34: Detailansicht der Faltenbildung



Abb. 35: Gummihutprofil und BRAWOLINER® nach Abschluss der Sanierung

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil ließen sich zunächst nur mit Schwierigkeiten in das Setzgerät einziehen.
- Beim ersten Einziehversuch in das Setzgerät war der Abstand zwischen beiden Kremen in Einbaurichtung zu groß und ließ sich nicht verringern.
- Bei einem erneuten Versuch kamen beide Kremen annähernd aufeinander zu liegen.
- Der Inversionsvorgang in den simulierten Einlauf der Grundstücksentwässerung selbst ließ sich bei einer leichten Druckerhöhung von 0,5 auf 0,63 bar ausführen.
- Auch bei diesem Versuch wurden Falten festgestellt, die auf eine Behinderung der Ausbreitung des Gummihutzylinders durch das BRAWOLINER®-Hutprofil während der Inversion hindeuten.

Ergebnis:

- Der Versuch V7 wurde als erfolgreich bewertet abgeschlossen!

1.8.5 Zusammenfassung der Ergebnisse der Handlingversuche V1 – V7

Die Ergebnisse der Handlingversuche lassen folgende Aussagen zur Umsetzbarkeit der Lösungskonzeptionen zu:

- Die Lösungskonzeption 1 lässt sich umsetzen, wobei die Schwierigkeiten bei der Inversion beider Hutprofile unter Maßgabe unveränderter Setztechnik Einschränkungen im Sanierungsergebnis nach sich ziehen.
- Die Lösungskonzeption 2 wurde nur im Versuch 6 untersucht, führt aber zu einem qualitativ besseren Sanierungsergebnis. Auch hier müsste eine Anpassung der Setztechnik erfolgen.
- Für die weiterführenden Untersuchungen können im Bezug auf die verwendeten Materialien und die Setztechnik folgende Aussagen gemacht werden:
 - BRAWOLINER®-Hutprofil: Die Breite der Krempe im Hauptrohr sollte mindestens 5 cm Überdeckung zur Gummihutkrempe aufweisen.
 - Gummihutprofil: Die Breite der Krempe sollte bei 5 – 6 cm liegen
Die Hutlänge von 40 cm ist optimal.
 - Perforationen, wie in V6 untersucht, sind realisierbar, erzielen aber nicht im ausreichenden Maße den erwünschten Effekt der Vermeidung von Hinterläufigkeiten.
 - Als eine bessere und einfachere Lösung zur Vermeidung von Hinterläufigkeiten wird für die weiterführenden Versuche die Behandlung des Gummihutprofils von allen Seiten mit Harz empfohlen.
 - Die Behandlung des Gummihutprofils mit einem Gleitmittel ist Voraussetzung für eine erfolgreiche Inversion. Dafür kann auch das BRAWO-Harz eingesetzt werden.

1.8.6 Versuch zur Bestimmung der Dichtheit des Gummimaterials - Versuch V8

Im Rahmen der Handlingversuche wurde der Versuch V8 als einfacher Schnelltest zur Einschätzung der Klebewirkung des BRAWO Harzes mit dem BRAWOLINER® Hutprofilmaterial und dem EPDM-Material des Gummihutprofils durchgeführt. Mit dem Versuch sollten im Weiteren Aussagen zur Dichtheit des Gummimaterials, sowie des Verbundes nach Belastung erlangt werden. Das Ziel bestand darin, schon im Vorfeld abzuklären, ob es zwischen BRAWOLINER®-Hutprofil und dem Gummihutprofil Flexofit Probleme mit Hinterläufigkeiten geben könnte.



Abb. 36: Zugversuch zur Untersuchung des Haftverbundes von Gummimaterial und harzgetränktem BRAWOLINER®-Material



Abb. 37: Probe und Wasserglas nach Beendigung der APS-Dichtheitsprüfung an der Materialprobe mit Rhodamin

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Für den Versuch wurde ein Gummistück aus dem Hutprofil auf ein Reststück des geharzten BRAWOLINER®-Hutprofils fest angedrückt und im Anschluss unter den gleichen Temperaturbedingungen wie bei den Versuchen zuvor ausgehärtet.
- Es zeigte sich, dass die simulierten Bedingungen, wie sie bei einer Sanierung mit dem Gummihutprofil und dem BRAWOLINER®-Hutprofil zu erwarten sind, ausreichen, um beide Systeme offensichtlich fest miteinander zu verkleben.
- Ein Abziehen des Gummis vom BRAWOLINER®-Hutprofil war händisch nicht möglich.
- Ob damit grundsätzlich eine Hinterläufigkeit ausgeschlossen werden kann, lässt sich im Ergebnis dieses Schnelltests nicht mit Sicherheit sagen. Die offensichtlich gute Verklebung erschwert diesen Vorgang auf jeden Fall.
- Aussagen zur Dauerhaftigkeit der Verbindung können nicht gemacht werden.
- Die ausgehärtete Verbindung wurde im Anschluss mehrmals hin und her geknickt, sodass sich ein Riss im BRAWOLINER®-Material ausbildete.
- Diese Materialprobe mit Riss im BRAWOLINER®-Material wurde im Anschluss der APS-Dichtheitsprüfung unterzogen, mit der üblicherweise Liner zur Innen-sanierung von Rohrleitungen untersucht werden.

Ergebnis:

- Es trat keine Verfärbung des Wassers auf. Das Gummimaterial war somit in der Lage nach Versagen des BRAWOLINER®-Materials durch die aufgebrachten Knickbelastung die Dichtheit des Verbundes zu gewährleisten.

1.8.7 Durchführung von Belastungsuntersuchungen

Im Anschluss an die Handlingversuche wurden durch das IKT Belastungsversuche an den während der Handlingversuche ausgeführten Sanierungen mit Flexofit und dem BRAWOLINER® vorgenommen. Die Inhalte der Abschnitte 1.8.7.1 bis 1.8.7.6 sind dem Bericht des IKT „Voruntersuchungen „Rietberger-Stutzen“ [14] entnommen.

1.8.7.1 Durchführung von Scherlastversuchen und Dichtheitsprüfungen

Zielsetzung der Scherlastversuche war es, das Verhalten der unterschiedlich ausgeführten Versuche bei einwirkenden statischen Lasten aufzunehmen. Insbesondere die zusätzliche Dichtwirkung des Gummihutprofils sollte im Vergleich zur herkömmlichen BRAWOLINER®-Hutprofil-sanierung untersucht werden.

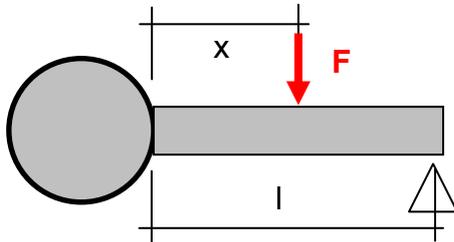
Wenn bei realitätsnahen Lasten keine Beschädigungen auftreten, sollte ein Bruch des BRAWOLINER®-Hutprofil-Harzmatrix durch Laststeigerungen oder z. B. durch Ansägen herbeigeführt werden, um so die Dichtwirkung des Gummihutprofils nachzuweisen.

Mit Dichtheitsprüfungen vor und nach den Lastversuchen sollten die Sanierungsergebnisse hinsichtlich der Dichtheit überprüft und die Auswirkung der Lastwirkungen auf die Dichtheit aufgenommen werden.

1.8.7.2 Scherlastversuche

Vereinfachten Modellrechnungen der Hochschule Ostwestfalen-Lippe, vormals FH Lippe-Höxter zu Folge, erzeugt eine ruhende Radlast von 5 t in einer Tiefe von ca. 60 cm unterhalb Fahrbahnoberkante abhängig von der Parameterwahl eine Last von

ca. 217 kg bis 489 kg. Bei der Berechnung wurden senkrecht unter einem Rad auftretende Lasten unter Vernachlässigung der seitlich entstehenden Flächenpressungen ermittelt.



$x = 20$ und 40 cm

$l = 30$ und 50 cm

$F = 217$ kg und 489 kg

Abb. 38: Parameterwahl zur Berechnung möglicher Scherlasten an Stutzen in Rietberg

Im Rahmen der Vorversuche am IKT wurden aus diesen Angaben überschlägig Scherlasten im Bereich der Stutzen ermittelt. Dazu wurden folgende Parameter festgelegt bzw. variiert (siehe Abb. 38):

- Der Stutzen ist im Bereich des Anschlusses 30 cm bzw. 50 cm unterspült, sodass die Rohrbettung gestört ist (Balken auf zwei Stützen, Stützweite = 30 cm bzw. 50 cm).
- Die Last gereift in einem Abstand von 20 cm bzw. 40 cm vom Stutzen an (Variation des Standorts des LKW-Rades).

Wie den folgenden Tabellen entnommen werden kann, ergeben sich bei der Variation der Parameter Scherlasten am Stutzen zwischen 43 kg und 293 kg.

Tabelle 1: Anhaltswerte für mögliche Scherlasten an Stutzen in Rietberg (hier: unterspülter Bereich = 30 cm)

	F = 217 kg (bei min. Flächeppression)	F = 489 kg (bei max. Flächeppression)
x = 20 cm (Abstand der Last vom Stutzen)	72 kg	163 kg

Tabelle 2: Tabelle 3: Anhaltswerte für mögliche Scherlasten an Stutzen in Rietberg (hier: unterspülter Bereich = 50 cm)

	F = 217 kg (bei min. Flächeppression)	F = 489 kg (bei max. Flächeppression)
x = 40 cm (Abstand der Last vom Stutzen)	43 kg	98 kg
x = 20 cm (Abstand der Last vom Stutzen)	130 kg	293 kg

Für die **Scherlastversuche** an den Hutprofilen wurden die Plexiglasrohre in einem Abstand vom Stutzen von ca. 75 cm aufgelagert. Rund 30 cm vom Stutzen entfernt wurde ein Druckzylinder auf dem Plexiglasrohr installiert, mit dem Auflasten auf das Rohr erzeugt wurden. Die aufgebrachten Lasten wurden mithilfe einer Druckmessdose bestimmt.

Mit diesem Versuchsaufbau konnten Lasten von ca. 6500 N bis 7000 N auf das Rohr erzeugt werden. Daraus ergeben sich Scherlasten im Bereich der Hutprofile von

3900 N bis 4200 N (398 kg bis 428 kg). Die Scherlasten an den Stutzen lagen somit über den Werten aus der Modellrechnung für mögliche Belastungen der Stutzen in Rietberg.



Abb. 39: Versuchsaufbau für die Scherlastversuche

Alle fünf Hutprofile zeigten bei den Scherlasten um 400 kg keine Veränderungen oder optische Schäden (auch entstanden keine Geräusche, die auf ein Reißen der Fasern hindeuten).

Beim Stutzen V1 (BRAWOLINER®-Hutprofil ohne Gummihutprofil) löste sich lediglich an der Kante des Plexiglasrohres der Verbund zwischen Plexiglas und BRAWOLINER®-Hutprofil (s. Abb. 40).



Abb. 40: Profil V1 nach Scherlastversuch (Lösen des Verbunds zw. Plexiglas und BRAWOLINER®-Hutprofil)

Auf Laststeigerungen bzw. ein Vergrößern der Stützweite zur Brucherzeugung an den Stutzen wurde verzichtet. Während der Versuche entstanden Durchbiegungen der Plexiglasrohre, sodass ein Versagen der Rohre zu befürchten war. Ebenfalls wurde von einem Ansägen der Liner abgesehen. Zum einen konnte nicht ausgeschlossen werden, neben dem Liner auch das Gummiprofil zu beschädigen, zum anderen waren die 0,5 m bis 1 m innerhalb des Betonrohres liegenden Profile nur mit Fräsroboter erreichbar.

Um dennoch einen Bruch bzw. Schäden an den sanierten Stutzen zu erzeugen, wurden die Auflager der Plexiglasrohre entfernt und die Lasten erneut aufgebracht. So wurden über das Plexiglasrohr **Abwinklungen** erzeugt. Der Drehpunkt befand sich im Übergangsbereich Außenwandung Betonrohr und Kante Plexiglasrohr. Die eingeleiteten statischen Kräfte dehnten oben das BRAWOLINER®-Hutprofil (V1) oder gemeinsam den Verbund von BRAWOLINER®-Hutprofil mit Gummihutprofil (V4 – V7).

Die Plexiglasrohre wurden mehrfach mit rund 2000 N bis 4000 N belastet. Die Lasten wurden dabei jeweils bis zu einem deutlich hörbaren „Knacken“ des BRAWOLINER®-Hutprofils im Anschlussbereich gesteigert, dann wurde das Rohr entlastet und wiederum bis zu einem deutlichen Knacken belastet. Dieser Vorgang wurde je Stutzen drei bis fünf mal wiederholt, bis eine deutliche Abwinklung des Rohres erzeugt wurde. Anschließend hatten die Stutzen im Anschlussbereich ihre Steifigkeit verloren, sodass die Plexiglasrohre nach unten geneigt waren und sich leicht von Hand bewegen ließen. Aufgrund der Beobachtungen konnte angenommen werden, dass die Stutzen im Bereich der Anschlüsse in ihrer Struktur verändert und beschädigt worden waren und somit auch die Dichtwirkung beeinträchtigt war. Einer der Stutzen zeigte bei der Inneninspektion einen deutlichen Riss im BRAWOLINER®-Hutprofilmaterial. Allerdings kann nicht mit 100%iger Sicherheit von einer Undichtigkeit aller sanierten Stutzen ausgegangen werden.

Als Orientierung hinsichtlich des Geräusches eines Bruches des BRAWOLINER®-Hutprofils und der Abwinklungsstärke diene das BRAWOLINER®-Hutprofil ohne Gummihutprofil (V1), bei dem der Bruch des Materials deutlich sichtbar war (s. Abb. 41). Das Plexiglasrohr dieses Profils wurde dazu um 11 cm Richtung Boden bewegt. Die Rohrenden der weiteren vier Stutzen wurden zwischen 13 cm und 16 cm abgesenkt (s. auch Abb. 41).

Während der Abwinklungsversuche wurde eine Dehnung der Gummihutprofile im Anschlussbereich beobachtet, Schäden wie z. B. Einrisse waren nicht sichtbar.



Abb. 41: Abwinklung der Rohre (li) und beschädigtes BRAWOLINER®-Hutprofil nach Abwinklung (mi, re)

1.8.7.3 Dichtheitsprüfungen

Die Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen vor und nach Belastung der sanierten Stutzen können Tabelle 4 entnommen werden. Für die Dichtheitsprüfung wurde die gesamte Strecke mit Absperrblasen abgedichtet, drucklos mit Wasser befüllt und nach einer Sättigungszeit von 60 min unter 0,5 bar Druck für 30 min geprüft (5 m Wassersäule).

Am Stutzen, der lediglich mit dem BRAWOLINER®-Hutprofil ohne Gummihutprofil saniert wurde (V1), zeigten sich bei der Dichtheitsprüfung vor der Belastung bereits bei der Befüllung Wasseraustritte (Abb. 42). Die weiteren vier Stutzen mit Gummiprofilen waren sowohl vor als auch nach der Belastung dicht.

Tabelle 3: Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen an den Hutprofilen

	vor Belastung	nach Belastung
V1 BRAWOLINER® ohne Gummiprofil	undicht (bei Befüllung)	keine weitere Prüfung
V4 BRAWOLINER® mit Gummihutprofil 20 cm	dicht	dicht
V5 BRAWOLINER® mit Gummihutprofil 20 cm und Quellband	dicht	dicht
V6 BRAWOLINER® mit Gummihutprofil 40 cm manuell eingebracht	dicht	dicht
V7 BRAWOLINER® mit Gummihutprofil 43 cm	dicht	dicht



Abb. 42: Undichtigkeit am Stutzen ohne Gummiprofil (li) sowie dichte Stutzen mit Gummiprofil (re, gefärbte Stellen unterhalb der Stutzen = Harz)

1.8.7.4 Belastungen durch Hochdruckspülungen mit anschließender Inspektion und Dichtheitsprüfung

In Anlehnung an das Hamburger Spülmodell wurden die Profile mit Hochdruckspülungen belastet. Die Spülung wurde dabei im Bereich des Hauptkanals (Betonrohre s. Abb. 43) angesetzt. Die Spülparameter können der Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4: Spülparameter im Rahmen der Versuche

Spülparameter	Zahlenwert
Düsendruck	80 bar
Düsenwinkel	30°
Anzahl Düseneinsätze	8
Durchmesser d. Einsätze	2,4 mm
Spülwassermenge	ca. 250 l/min
Anzahl Spülvorgänge	15
Vorlaufgeschwindigkeit	1,0 m/s
Rückzugsgeschwindigkeit	0,1 m/s
Kalksteinsplitt 2/5 mm	5 l/Spüldurchgang

Auswirkungen der HD-Reinigung waren an den sanierten Einläufen V5 (Gummiprofil mit 20 cm Hutlänge und Quellband) und V6 (Gummiprofil mit 40 cm Hutlänge,

manuell eingebracht) ersichtlich. Bei beiden Hutprofilen war die Krempe im Bereich der Sole der Betonrohre von der Rohrwand abgelöst worden (s. Abb. 44 und Abb. 44).



Abb. 43: Im Sohlbereich gelöste Hutkrempe des Stutzens V5



Abb. 44: Im Sohlbereich gelöste Hutkrempe des Stutzens V6

Die **Dichtheitsprüfung** an den sanierten Einläufen V4 bis V7 nach der HD-Reinigung zeigte bei V5 und V6 (Ablösung der Krempe im Solbereich von der Betonrohrwand) Undichtigkeiten. An beide Einläufe waren bereits während der Befüllung der Leitung Wasseraustritte sichtbar (Abb. 45).

Da das Wasser zwischen Betonrohre und BRAWOLINER®-Hutprofil austrat, waren die Undichtigkeiten offensichtlich auf Hinterläufigkeiten des BRAWOLINER®-Hutprofils zurückzuführen. Das Verbundmaterial aus BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil zeigte augenscheinlich keine Undichtigkeiten.

Die Stutzen V4 und V7 waren während des gesamten Prüfzeitraums von 30 min bei 0,5 bar dicht.



Abb. 45: Wasseraustritte an den Stutzen V5 (li.) und V6 (re.) bei 0,5 bar Wasserdruck

1.8.7.5 Einbau und Auslesen der Transponder

Die Transponder wurden bei den Versuchen V5 (Gummihutprofil mit 20 cm Hutlänge und Quellband) und V7 (Gummihutprofil mit ca. 43 cm Hutlänge) eingesetzt. Bevor das Pyrolus-Setzgerät mit BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil in die Betonrohre eingefahren wurde, erfolgte die Fixierung des Transponders zwischen BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil (Abb. 46). Der Inversionsvorgang wurde dadurch nicht beeinträchtigt.

Sowohl vor als auch nach den Reinigungsversuchen waren beide Transponder auslesbar.



Abb. 46: Fixierung eines Transponders zwischen BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil

1.8.7.6 Zusammenfassung der Ergebnisse der Belastungsuntersuchungen

- Die Vorversuche zeigten, dass sowohl das der Vorgang des Einziehen eines BRAWOLINER®-Hutprofils mit einem zusätzlichen Gummihutprofil in das Pyrolus-Setzgerät möglich war, als auch die anschließende Inversion in die simulierten Einläufe in einem Arbeitsschritt. Die Länge des Gummiprofil-Hutes von ca. 40 cm stellt für die Pyrolus-Setztechnik einen Maximalwert dar.
- Bei den Versuchen bestanden durch die Plexiglasrohre ideale Voraussetzungen für Beobachtung der Setzprozesse und durch das Freiliegen der Einlaufsimulationen gegenüber der Praxis vereinfachte Bedingungen. Bei den Versuchen konnte das Pyrolus-Setzgerät über Sichtkontrolle in den Einläufen positioniert werden.
- Der Einbau eines Transponders ist prinzipiell möglich. Es empfiehlt sich, diesen zwischen BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummi zu platzieren, um Beschädigungen vorzubeugen.

- Die statischen Scherlasten bis rund 400 kg am Anschlussbereich verursachten sowohl beim BRAWOLINER®-Hutprofil als auch an den kombinierten Systemen mit Gummihutprofil optisch keine Schäden. Allerdings können die in der Praxis auftretenden dynamischen Lasten größere Auswirkungen auf die Profile haben.
- Nur durch extreme Abwinklungen konnten die während der Versuche V1 und V4-V7 sanierten Einläufe soweit beschädigt werden, dass das Material im Anschlussbereich seine Steifigkeit verlor und sich die Rohre leicht von Hand bewegen ließen. Beim BRAWOLINER®-Hutprofil ohne Gummihutprofil (V1) entstand ein Riss im Übergangsbereich zwischen Krempe und Hut. Bei den Varianten mit Gummihutprofil können ebenfalls Schäden des BRAWOLINER®-Hutprofils in diesem Bereich angenommen werden. Optische Schäden an den Gummiprofilen wurden nicht festgestellt.
- Die Dichtheitsprüfungen vor der Belastung zeigten nur Undichtigkeiten am BRAWOLINER®-Hutprofil ohne zusätzliches Gummihutprofil (V1). Bei den sanierten Einläufen mit Gummihutprofil wurden sowohl vor als auch nach den Abwinklungsversuchen keine Wasseraustritte festgestellt.
- Durch die HD-Spülversuche lösten sich an zwei der fünf BRAWOLINER®-Hutprofilkrempen (zuvor stark durch die Abwinklungsversuche beansprucht) im Solbereich Teile von der Rohrwandung ab, sodass Undichtigkeiten durch Hinterläufigkeiten der Krempen entstanden.
- Zusammenfassend kann der Einsatz der zusätzlichen Gummihutprofile als erfolgreich bewertet werden. Zum einen übernahm das Gummihutprofil während der Sanierungen eine Art „Schalungsfunktion“. Während beim Einlauf, der lediglich mit dem BRAWOLINER®-Hutprofil saniert wurde, Harz austropfte und sich später Undichtigkeiten zeigten, entstanden an den Einläufen mit Gummihutprofilen nur minimale Harzverluste ohne Auswirkung auf die Dichtheit. Zum anderen kann bei Einläufen mit Gummihutprofil eine höhere Belastbarkeit in Verbindung bei gleichzeitiger Verstärkung der Abdichtwirkung angenommen werden. Bei den Abwinklungsversuchen riss das BRAWOLINER®-Hutprofil (V1) im Anschlussbereich ab. Bei den kombinierten Profilen blieb die Verbindung dicht, auch bei Anriss des BRAWOLINER®-Hutprofilmaterials.

1.9 Weiterführende Untersuchungen

1.9.1 Versuchszielstellung

- Fortsetzung der Eignungsversuche von Gummihutprofilen bei der gleichzeitigen Verwendung mit dem BRAWOLINER®-Hutprofil und dem Pyrolus-Setzverfahren bei Einläufen mit 45°- und 90°-Abwinklungen und unmittelbar anschließenden Bögen als Extrembelastung für die Handhabung und die Qualität des Sanierungsergebnisses.

1.9.2 Versuchsprogramm

- Neben der Untersuchung unterschiedlicher Abwinklungen und Bögen wurden Probanden des Gummihutprofils mit unterschiedlicher Materialstärke:
 - Gummihutprofil 1: Krempe/Hut 45°, Materialdicke: 1,4 mm
 - Gummihutprofil 2: Krempe/Hut 90°, Materialdicke: 1,4 mm
 - Gummihutprofil 3: Krempe/Hut 45°, Materialdicke: 0,8 mm
 - Gummihutprofil 4: Krempe/Hut 90°, Materialdicke: 0,8 mm

1.9.3 Versuchsaufbau

- Die weiterführenden Versuche wurden bei PKT - Pader Kanal Technik - Rohr frei GmbH & Co. KG in Paderborn Sennelager durchgeführt.
- Es wurde die Pyrolus-Setztechnik genutzt.
- In einer Halle wurde durch PKT ein Versuchsstand (Abb. 47) errichtet, der aus Steinzeugrohren DN 300 mit 45°- (Abb. 48) und 90°-Abwinklung (Abb. 49). An diese Abzweige waren Bögen mit unterschiedlichen Radien angeordnet.



Abb. 47: Versuchsstrecke



Abb. 48: 45° Abzweig mit anschließend verlegten 45°- und 90°-Bogen



Abb. 49: 90° Abzweig mit anschließend verlegten 30°- und 15°-Bogen



Abb. 50: Gummihutprofil am Ende des Einziehvorgangs bei V9

1.9.4 Versuchsdurchführung

1.9.4.1 Versuch V9 – Trockenversuch

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Hutprofil: BRAWOLINER®

Gummihutprofil: **Gummihutprofil 1**

Abwinklung des Hutzylinders 45°

Länge des Hutzylinders: kurze Seite ca. 38 cm

lange Seite ca. 52 cm

Breite der Hutkrempe: ca. 5 cm

Materialstärke: 1,4 mm

Gleitmittel: außen und innen mit Gleitmittel behandelt

Harz: kein Harz

Setztechnik: Pyrolus-Verfahren

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Durch die vorgefertigte Abwinklung hat der Hut an seiner längsten Stelle 52 mm und an der kurzen Seite 38 mm Abstand zur Krempe.
- In Verbindung mit der Materialstärke von 1,4 mm kann das Gummihutprofil zusammen mit dem BRAWOLINER®-Hutprofil nicht ausreichend in das Setzgerät eingezogen werden.
- Abb. 50 zeigt, wie die lange Seite weit vor dem BRAWOLINER®-Hutprofil zum Aufliegen kommt.
- In dieser Lage ist ein ordentliches Andrücken an die Innenseite des Hauptrohres nicht möglich.

Ergebnis:

- Der Versuch V9 wird abgebrochen.

1.9.4.2 Versuch V10 - Trockenversuch

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Hutprofil: BRAWOLINER®

Gummihutprofil: **Gummihutprofil 2**

Abwinklung des Hutzyinders 90°

Länge des Hutzyinders ca. 40 cm

Breite der Hutkrempe: ca. 5 cm

Materialstärke: 1,4 mm

Gleitmittel: außen und innen mit Gleitmittel behandelt

Harz: kein Harz

Setztechnik: Pyrolus-Verfahren

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Da die Probleme bei V9 auf die vorgefertigte Abwinklung des Gummihutprofils zurückgeführt wurde, sollte im V10 der bisher erreicht Status der Versuche im IKT wiederholt werden.
- Auch hier treten zuerst Schwierigkeiten beim Einziehen des Hutprofils in das Setzgerät auf.
- Das gleiche Gummihutprofil, welches erfolgreich bei den Versuchen im IKT eingezogen werden konnte, ließ sich erneut nicht ausreichend in das Setzgerät einziehen.
- Im Gespräch mit dem Bedienpersonal stellte sich heraus, dass der Setzbalg durch ein anderes Fabrikat ersetzt wurde. Die Materialstärke des Balges ist geringfügig kleiner. Es wird vermutet, dass darin eine Ursache für das ungenügende Einziehen bei Versuch V9 zu suchen ist.
- Nach zwei weiteren Versuchen ist das Gummihutprofil dennoch ausreichend in das Setzgerät eingezogen.
-

Ergebnis:

- Der Trockenversuch wurde erfolgreich abgeschlossen.

1.9.4.3 Versuch V11 – Trockenversuch

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Hutprofil:	BRAWOLINER®
Gummihutprofil:	Gummihutprofil 2 Abwinklung des Hutzylinders 90° Länge des Hutzylinders ca. 40 cm Breite der Hutkrempe: ca. 5 -6 cm Materialstärke: 1,4 mm
Gleitmittel:	außen und innen mit Gleitmittel behandelt
Harz:	kein Harz
Setztechnik:	Pyrolus-Verfahren
Inversion:	in 45°-Abzweig

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Die Entfaltung von BRAWOLINER®-Hutprofil zusammen mit dem Gummihutprofil wird trotz Verwendung von Melkfett als Gleitmittel stark behindert.
- Es kommt zu keiner vollständigen Inversion.
- Da das Pyrolus-Setzgerät für den 90°- und 45°-Abzweig mit den gleichen technischen Randbedingungen arbeitet, wird bei der Inversion in einen 45°-Abzweig das Gesamtsystem zuerst gerade gegen die abgewinkelte Seite des Abzweigs gedrückt. Beim weiteren Invertieren breitet sich das Gesamtsystem in den Abzweig aus und passt sich dem Winkel an. Am Übergang aus dem Hauptrohr in den Abzweig wird eine starke Faltung erzeugt, die durch das Gummihutprofil noch verstärkt wird.

Ergebnis:

- Da die Faltung des Gummihutprofil beim Einschieben in das BRAWOLINER®-Hutprofil nicht optimal war, wird der Versuch abgebrochen und mit optimierter Faltung als V12 wiederholt.

1.9.4.4 Versuch V12 - Trockenversuch

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Hutprofil:	BRAWOLINER®
Gummihutprofil:	Gummihutprofil 2 Abwinklung des Hutzylinders 90° Länge des Hutzylinders ca. 40 cm Breite der Hutkrempe: ca. 5 -6 cm Materialstärke: 1,4 mm
Gleitmittel:	außen und innen mit Gleitmittel behandelt

Harz: kein Harz
Setztechnik: Pyrolus-Verfahren
Inversion: 45°-Abzweig



Abb. 51: Gummihutprofil 2 nach optimierter Faltung beim Einziehen in das Setzgerät erfolgreich in den 45°-Abzweig inversiert



Abb. 52: Unbehandelte Krempe des Gummihutprofil 2 im Trockenversuch zu groß, deshalb Faltung beim Andrücken an den Abzweig



Abb. 53: Blick auf die zum Hauptrohr DN 300 ausgeformten Phasen des HA-Anschlusses DN 150

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Durch bessere Faltung von Gummihutprofil und BRAWOLINER®-Hutprofil kann der Trockenversuch mit dem vollständigen Inversieren erfolgreich abgeschlossen werden.
- Als wichtiges Ergebnis für die weiteren Versuche wird deutlich, dass bei 45°-Abzweigen die sich als Schnittmenge ausbildende Öffnung am Hauptrohr eine Ellipse von ca. 250 mm Länge ist, die 150 mm der HA-Leitung Rohrdurchmesser gegenübersteht.
- Daraus ergeben sich auch ohne Gummihutprofil erhebliche Probleme bei der sicheren Verklebung des mit Harz getränkten BRAWOLINER®-Hutprofil am Hauptrohr.
- Negativ kommt hinzu, dass der Übergangsbereich von Hauptrohr zum HA mit einer Phase ausgeführt wird (Abb. 53).

Ergebnis:

- Da die Krempe des Gummihutprofils abgeleitet aus den 90°-Versuchen im IKT 60 mm betrug und diese sichere Breite auch über den elliptischen Bereich von 250 mm am Hauptrohr anliegen sollte, ist die vorhandene Überdeckung der Hut-

krempe des BRAWOLINERS nicht gegeben. Eine sichere Verklebung kann nicht erreicht werden.

1.9.4.5 Versuch V13 - Trockenversuch

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Hutprofil:	BRAWOLINER®
Gummihutprofil:	Gummihutprofil 3 Abwinklung des Hutzyinders 45° Länge des Hutzyinders ca. 40 cm Breite der Hutkrempe: ca. 5 -6 cm Materialstärke: 0,8 mm
Gleitmittel:	außen und innen mit Gleitmittel behandelt
Harz:	kein Harz
Setztechnik:	Pyrolus-Verfahren
Inversion:	45°-Abzweig



Abb. 54: Krempe des Gummihutprofils mit 60 mm zu groß, Krempe vom BRAWOLINER fast vollständig überdeckt

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Gegenüber dem Versuch V9 mit dem 1,4 mm starkem Gummihutprofil 1, lässt sich das Gummihutprofil 3 mit einer Materialstärke von 0,8 mm fast problemlos in das Setzgerät einziehen.
- Die Krempe des Gummihutprofils von ca. 60 mm ist zu groß für Krempe des BRAWOLINER®-Hutprofils (Abb. 54).
- Dadurch keine Überdeckung und damit keine optimale Verklebung am Rohr möglich.

Ergebnis:

- Der Inversionsvorgang wird erfolgreich abgeschlossen.

1.9.4.6 Versuch V14

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Hutprofil:	BRAWOLINER®
Gummihutprofil:	Gummihutprofil 3

Abwinklung des Hutzylinders 45°
Länge des Hutzylinders ca. 40 cm
Breite der Hutkrempe: ca. 5 -6 cm
Materialstärke: 0,8 mm

Gleitmittel: außen und innen mit Gleitmittel behandelt
Harz: BRAWO 1
Setztechnik: Pyrolus-Verfahren
Inversion: 45°-Abzweig

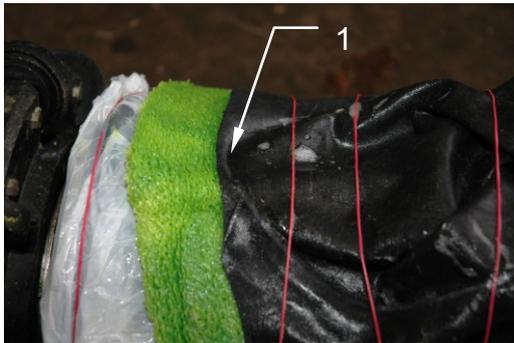


Abb. 55: Bis in den Übergangsbereich zurück geschnittene Krempe des Gummihutprofils (1) an der langen Seite des Gummihuts



Abb. 56: Vorhandene Überdeckung des BRAWOLINER®-Hutprofils nach der Anpassung der Hutkrempe des Gummihutprofils

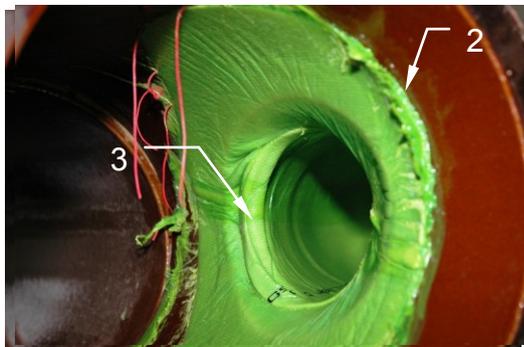


Abb. 57: Sanierungsergebnis mit Blick auf den zum Hauptrohr innen liegenden Winkel des Abzweigs mit einer Faltenbildung in diesem Bereich (3), unvollständige Verklebung des BRAWOLINER®-Hutprofils am Hauptrohr (2)

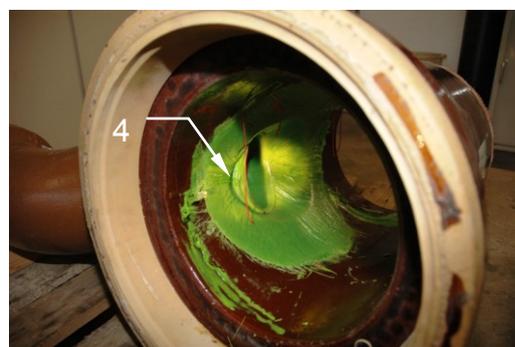


Abb. 58: Sanierungsergebnis mit Blick auf den außen liegenden Winkel des Abzweigs mit der Faltenbildung aus Abb. 57 und dem sich ausgebildeten Hinterschnitt (4)



Abb. 59: Sanierungsergebnis am Ende des 45°-Bogens, Faltenbildung an der bogeninneren Seite

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Die Krempe des Gummihutprofils wurde an einer Seite bis in den Übergangsbereich zurückgeschnitten (Abb. 55, 1). Erst dadurch wurde gewährleistet, dass die Krempe des BRAWOLINER®-Hutprofils am Hauptrohr verklebt werden konnte.
- Die Überdeckung an dieser Seite bleibt aber weiterhin gering, so dass die Länge des Setzbalges nicht ausreichte, um die Krempe des BRAWOLINER®-Hutprofils vollständig an das Hauptrohr anzudrücken. Das Ergebnis ist die abstehende Kante in Abb. 57, 2.
- Der Versuch wurde aus Sicht der Invertierbarkeit als erfolgreich bewertet.
- Direkt am Übergang von Hauptrohr und Abzweigrohr kam es zur Ausbildung einer großen Falte, Abb. 57, 3 mit Hinterschnitt Abb. 58, 4.
- Die Falte stellte allerdings kein Abflusshinderniss dar und könnte deshalb vernachlässigt werden.
- Im nach dem Abzweig angeordneten 45°-Bogen kam es im bogeninneren Bereich zur Ausbildung von Falten (Abb. 59).

Ergebnis:

- Der Versuch V14 wurde als erfolgreich bewertet.

1.9.4.7 Versuch V15 - Trockenversuch

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Hutprofil:	BRAWOLINER®
Gummihutprofil:	Gummihutprofil 2
	Abwinklung des Hutzylinders 90°
	Länge des Hutzylinders ca. 40 cm
	Breite der Hutkrempe: ca. 5 -6 cm
	Materialstärke: 1,4 mm
Gleitmittel:	außen und innen mit Gleitmittel behandelt
Harz:	kein Harz
Setztechnik:	Pyrolus-Verfahren

Inversion: 90°-Abzweig

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Der Inversionsvorgang wurde ohne wesentliche Probleme durchgeführt.

Ergebnis:

- Trockenversuch wurde erfolgreich abgeschlossen.

1.9.4.8 Versuch V16

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Hutprofil: BRAWOLINER®

Gummihutprofil: **Gummihutprofil 2**

Abwinklung des Hutzylinders 90°

Länge des Hutzylinders ca. 40 cm

Breite der Hutkrempe: ca. 5 -6 cm

Materialstärke: 1,4 mm

Gleitmittel: außen und innen mit Gleitmittel behandelt

Harz: BRAWO 1

Setztechnik: Pyrolus-Verfahren

Inversion: 90°-Abzweig



Abb. 60: Versuchsanordnung mit 90°-Abzweig und unmittelbar anschließendem 90°-Bogen



Abb. 61: Beim 90°-Gummihutprofil ist die Überdeckung des BRAWOLINER®-Hutprofils nach dem Einziehen in das Setzgerät größer, allerdings immer noch nicht optimal



Abb. 62: Blick auf das Sanierungsergebnis am Hauptrohr des 90°-Abzweigs



Abb. 63: Blick auf das Sanierungsergebnis am Ende des 90°-Bogens mit einer deutlich einragenden Falte (5), die gleichzeitig das Ende des Gummihutprofils darstellt

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Ähnlich wie beim 45°-Abzweig wird das BRAWOLINER®-Hutprofil mit 90°-Gummihutprofil in den 90°-Abzweig invertiert. Diese treffen beim Invertieren zuerst auf die bogenäußere Wandung des 90°-Bogens.
- Durch den Inversionsvorgang bewegt sich der vordere Teil des Verbundsystems weiter an diesen Bogen entlang und wird dabei gleichzeitig abgebogen.
- Durch den im Versuch simulierten Extremfall eines sich unmittelbar an eine 90°-Abzweig anschließenden 90°-Bogen, traten Schwierigkeiten während des Inversionsvorgangs im Zusammenhang mit dem Abknicken des 90° Gesamtsystems auf.
- Nachdem der größte Teil des Bogens überwunden war, erfolgte der abschließende Inversionsvorgang unkritisch.
- Ergebnis:
- Das Sanierungsergebnis wurde am Hauptrohr positiv bewertet, obwohl eine Wulst auftrat.
- Das Ergebnis der Sanierung im anschließenden 90°-Bogen war im bogeninneren Bereich nicht befriedigend.
- Im gesamten bogeninneren Bereich wurden kleinere Faltungen festgestellt. besonderes kritisch ist eine Falte zu sehen (Abb. 63, 5), die am Bogenende auftrat.
- Diese Falte bildete sich in dieser Form aus, da das Gummihutprofil hier endete und der Balg des Setzgerätes nicht in der Lage war, das Gummihutprofil mit dem BRAWOLINER®-Hutprofil an den Bogen anzudrücken, so dass das BRAWOLINER®-Hutprofil sogar hinter das Gummihutprofil gelangen konnte.
- Durch ein kürzeres Gummihutprofil könnte bei 90°-Abzweigen und anschließendem 90°-Bogen diese Problematik zukünftig behoben werden.

1.9.4.9 Versuch V17

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Hutprofil: BRAWOLINER®

Gummihutprofil: **Gummihutprofil 4**

Abwinklung des Hutzyinders 90°

Länge des Hutzylinders ca. 40 cm

Breite der Hutkrempe: ca. 5 -6 cm

Materialstärke: 0,8 mm

Gleitmittel: außen und innen mit Gleitmittel behandelt

Harz: BRAWO 1

Setztechnik: Pyrolus-Verfahren

Inversion: 45°-Abzweig



Abb. 64: Überdeckung von BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil, Gummihutprofil 0,8 mm stark und 90° zur Krempe ausgerichtet



Abb. 65: Sanierungsergebnis mit Blick auf den zum Hauptrohr innen liegenden Winkel des 45°-Abzweig, Ausbildung einer Falte (6) wie bei Versuch V14, geringe Verklebung am Hauptrohr (7), dafür Verklebung an der Phase



Abb. 66: Blick auf den zum Hauptrohr innen liegenden Winkel des 45°-Abzweig mit deutlich ausgebildeter Faltung wie bei V14, Rückseite der Faltung ausgefüllt, kein Hinterschnitt

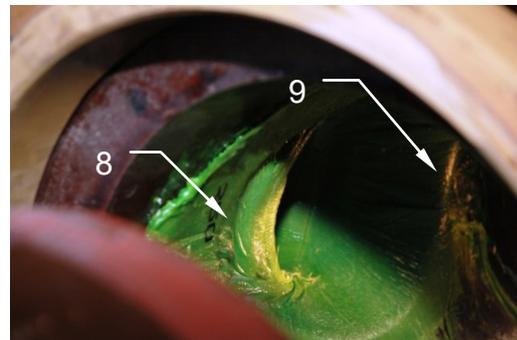


Abb. 67: Blick auf den innen liegenden Winkel des Abzweigs mit der Faltenbildung wie in Abb. 66 nur von der Gegenseite, kein Hinterschnitt (8), geringe Verklebung des BRAWOLINER®-Hutprofils am Hauptrohr, dafür in der Phase (9)



Abb. 68: Blick auf den unmittelbar an den 45°-Abzweig angeordneten 45°-Bogen, geringfügige Faltenbildung an der bogeninnenliegenden Seite



Abb. 69: Gesamtübersicht von Abb. 68

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Das Gummihutprofil 4 ließ sich erfolgreich mit dem BRAWOLINER®-Hutprofil zusammen in den 45°-Abzweig mit anschließendem 45°-Bogen invertieren.
- Während des Inversionsvorganges konnte beobachtet werden, dass die Kreppe des Gummihutprofils die Ellipse im in Fahrtrichtung hinteren Bereich nicht abdeckte, so dass das dahinter liegende BRAWOLINER®-Hutprofil sichtbar war.
- Durch den Inversionsvorgang wurden 90°-Gummihutprofil und 90°-BRAWOLINER®-Hutprofil in dem 45°-Abzweig abgewinkelt. Die nicht an der Ellipse anliegende Kreppe lag im spitzen Winkel des Abzweigs, über den dieser Abwinkelvorgang erfolgte. Die Kreppe wurde in Richtung des Ellipsenanfangs gedrückt und gleichzeitig, da der Balg des Setzgerätes ein weiteres Abwinkeln nicht zulässt, unter den BRAWOLINER®-Hutprofil gefaltet. Als Folge kam es zu einer Anhäufung von Gummimaterial in diesem Bereich, welche, so die Vermutung, den Hinterschnitt (Abb. 66 und Abb. 67) der Faltung verhinderte.
- Die Inversion in den anschließenden 45°-Bogen erfolgte sehr schnell. Wie sich später herausstellte war durch die hohen Belastungen beim Einziehen, der Probanden in das Setzgerät das Rückzugsband abgerissen.

Ergebnis:

- Die Ergebnisse des Versuchs werden positiv bewertet.

1.9.4.10 Vergleichende Untersuchung des Sanierungserfolges bei V14 und V17

Bei den weiterführenden Untersuchungen erwiesen sich die Gummihutprofile 3 und 4 mit einer Materialstärke von 0,8 mm für die Realisierung des Inversionsvorganges mit der Pyrolus-Setztechnik besser geeignet als die Probanden mit 1,4 mm.

Inwieweit eine Anpassung der Abwinklung des Gummihutprofils an den 45°-Abzweig das Sanierungsergebnis positiv beeinflusst und insbesondere die Ausbildung von Falten minimiert, sollte durch den direkten Vergleich der Versuche V14 und V17 nach dem Schnitt durch den Abzweig beurteilt werden.

Vergleich der Schnitte

**V14: 45°-Abzweig, Gummihutprofil 45°,
Materialstärke 0,8 mm**



Abb. 70: V14, Sanierungsergebnis im Hauptrohr mit Blick auf den 45°-Abzweig



Abb. 72: V14, Schnitt 1



Abb. 74: V14, Schnitt 2

**V17: 45°-Abzweig, Gummihutprofil 90°,
Materialstärke 0,8 mm**



Abb. 71: V17, Sanierungsergebnis im Hauptrohr mit Blick auf den 45°-Abzweig



Abb. 73: V17, Schnitt 1



Abb. 75: V17, Schnitt 2

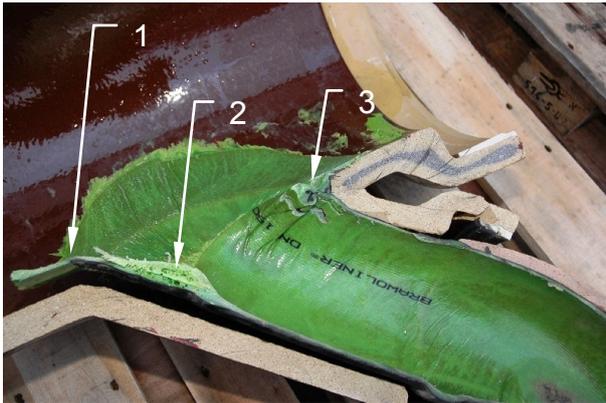


Abb. 76: V14, Schnitt 2, 1-Ende der Gummihutkrempe, 2-Harzansammlung hinter der BRAWOLINER®-Hutprofilnaht, 3-Hinterschnitt,



Abb. 77: V17, Schnitt 2, 4-Ende der Gummihutkrempe

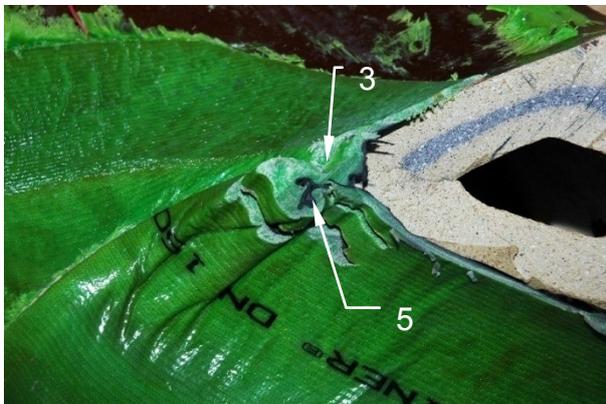


Abb. 78: V14, Schnitt 2, 3-Hinterschnitt, Faltung von BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil, Krempe des Gummihutprofil liegt noch vor der Ellipse am Hauptrohr an, Faltung im Vergleich zu Abb. 79 geringer als bei V17

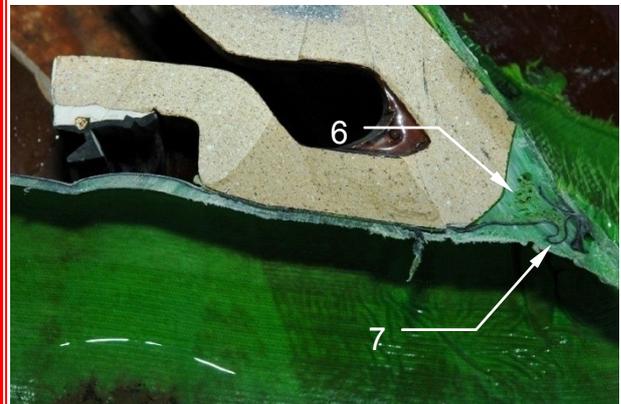


Abb. 79: V17, Schnitt 2, 6-Harzansammlung in 9-Uhr, 7-Faltung des Gummihutprofils

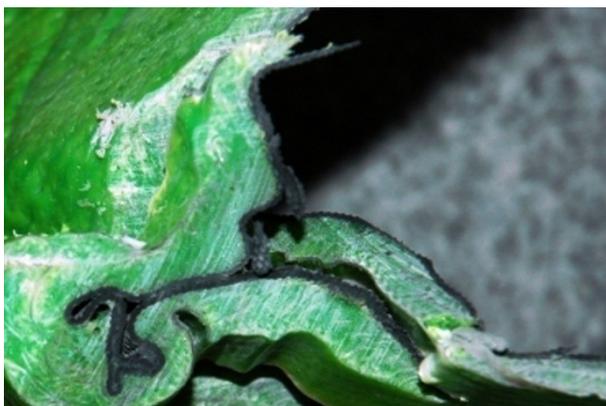


Abb. 80: V14, Schnitt 2, Faltung Gummihutprofil Detail



Abb. 81: V17, Schnitt 2, Faltung Gummihutprofil Detail



Abb. 82: V14, Schnitt 2, Verlauf der Faltung, 8-Überlappung durch Vulkanisierung



Abb. 83: V17, Schnitt 2, Verlauf der Faltung, 9-Überlappung durch Vulkanisierung



Abb. 84: V14, Schnitt 2, abgelöstes Gummihutprofil und BRAWOLINER®-Hutprofil im 45°-Abzweig, Ablösung vom Steinzeugrohr erfolgte ohne großen Kraftaufwand



Abb. 85: V17, Schnitt 2, abgelöstes Gummihutprofil und BRAWOLINER®-Hutprofil im 45°-Abzweig, Ablösung vom Steinzeugrohr erfolgte ohne großen Kraftaufwand



Abb. 86: V14, Schnitt 2, Blick auf das Gummihutprofil



Abb. 87: V17, Schnitt 2, Blick auf das Gummihutprofil

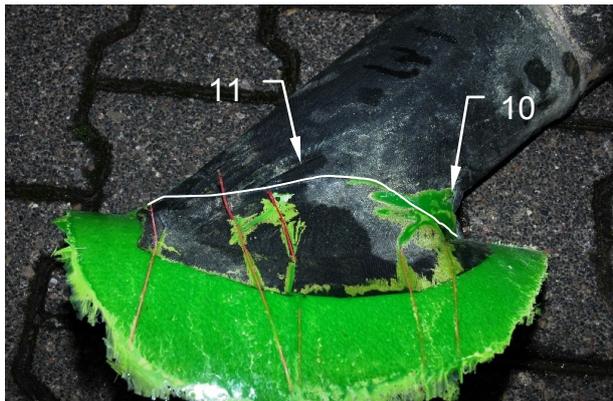


Abb. 88: V14, Schnitt 2, Verlauf der Verbindungsstelle von Krempe und Hut, 10-ohne Faltenbildung im spitzen Winkel, 11-Längsfalte



Abb. 89: V14, Schnitt 2, Verlauf der Verbindungsstelle von Krempe und Hut, 12-Faltenbildung im spitzen Winkel hervorgerufen durch Abwinklung des 90°-Gummihutprofils auf 45°, 13-extreme Faltung unmittelbar im spitzen Winkel



Abb. 90: V14, Schnitt 2, 14-Ausbeulung in der Rohrverbindung, 15-Faltung im bogeninneren Bereich



Abb. 91: Blick auf die Ausformung der Phasen am Übergang vom Abzweigrohr in das Hauptrohr

Die vergleichende Untersuchung der Schnitte lässt folgende Schlussfolgerungen für die weiteren Versuche und die Produktentwicklung zu:

- Die Materialstärke des Gummihutprofils von 0,8 mm für den in den HA inversierten Teil sollte beibehalten werden. Dadurch ist gewährleistet, dass die Faltenbildung in den bogeninneren Bereichen minimal bleibt.
- Die Elastizität des Gummihutprofils während des Setzvorganges ist ausreichend, so dass im Bereich der Rohrverbindungen großflächige Anpassungen an die Geometrie durch Aufweitung möglich sind (Abb. 90, 14).
- Im spitzen Winkel des Abzweiges entstehen Falten. Die Faltenbildung ist bei V14 geringer als bei V17 (vergleiche Abb. 78 und Abb. 79, Abb. 80 und Abb. 81 sowie Abb. 82 und Abb. 83). Erklärung: Bei V17 findet in diesem Bereich die größte Abwinklung des Gummihutprofils statt. Da die Gummihutkrempe zu kurz ist und nicht durch das Setzgerät an das Hauptrohr gedrückt wird, kann sich die Krempe und der Hut extrem falten (Abb. 81 und Abb. 83).
- Die Faltung des Gummihutprofils wird auch durch die Abwinklung des BRAWOLINER®-Hutprofils und durch die Naht sowie die Überlappung von Krempe und Hut verursacht.

- Die Gummihutkrempe sollte an die Geometrie der Ellipse angepasst werden, so dass eine größere Überdeckung hin zum Hauptrohr realisiert werden kann.
- Die Gummihutkrempe sollte noch über den Phasenbereich (Abb. 91) am Hauptrohr anliegen.
- Die Stärke der Krempe des Gummihutprofils sollte ggf. auf 1,4 mm oder stärker erhöht werden.
- Alternativ kann die Krempe durch eine aufgeklebte bzw. vulkanisierte Versteifung stabilisiert werden, um in Verbindung mit einer optimalen Anpassung an die Ellipse zukünftig die Faltenbildung am Übergang von Hauptrohr zum Abzweig zu minimieren.
- Die Krempe des BRAWOLINER®-Hutprofils muss entsprechend vergrößert werden, um ausreichend Klebefläche zu haben.
- Auf ein 45°-Gummihutprofil kann verzichtet werden.
- Das leichte Ablösen von BRAWOLINER®-Hutprofil mit Gummiprofil von der Steinzeugoberfläche kann zu Hinterläufigkeiten führen. Gefährdet ist insbesondere die „Rest“-Klebefläche des BRAWOLINER®-Hutprofil in der HA-Leitung hinter dem Gummihutprofil, da mit Frästechnik keine Anrauung erfolgen kann.
- Zu Verhinderung von Hinterläufigkeiten sollte auch zur HA-Leitung hin einer Verklebung des Gummihutprofils in Betracht gezogen werden.

1.9.4.11 Zusammenfassung weiterführenden Versuche V9 – V17

1. Die vergleichenden Versuche mit unterschiedlichen Materialstärken haben die Vorteile eines dünneren Gummimaterials deutlich hervorgehoben. Unter Voraussetzung vergleichbar positiver Ergebnisse bei den stat. Belastungsversuchen im IKT, wie bei dem 1,4 mm starken Material, sollte das zukünftig eingesetzte Material des Gummihutprofils ca. 0,8 mm stark sein.
2. Da mit dem Pyrolus-Verfahren eine Anpassung des Inversionsvorganges an den Winkel des Abzweigs technisch nicht realisiert werden kann, haben die Versuche vorerst zu der Aussage geführt, dass die Gummihutprofile wie auch der BRAWOLINER®-Hutprofil im Winkel von 90° zur jeweiligen Krempe vorgefertigt werden können.
3. Die sich als Schmittmenge von Hauptrohr und Hausanschlussleitung ausbildende Ellipse stellt hohe Anforderungen an eine möglichst große Klebefläche des Harzes. Aus den Versuchen kann gefolgert werden:
 - Krempe von Gummiprofil und BRAWOLINER®-Hutprofil müssen eine hinreichend große Fläche zum Verkleben zulassen. Nur so können Hinterläufigkeiten verhindert werden
 - Die Krempe sollte an diese Ellipse angepasst werden, eventuell durch die Verwendung spezieller Schablonen.
 - Die Forderung nach einer Gummihutkrempe von 60 mm als Ergebnis der Versuche beim IKZ muss relativiert werden. Bei Abzweigen sollte sie auf 40 mm reduziert werden.
4. Da ohne technischen Aufwand die Länge des Setzgerätes verlängert werden kann, sollte diese Option zumindest bei 45°-Abzweigen genutzt werden.
5. Es ist zu überlegen, ob ein verlängertes Setzgerät, um damit grundsätzlich eine mögliche Vergrößerung der Klebefläche zu schaffen, zukünftig für alle

Sanierungsmaßnahmen, die mit BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil ausgeführt werden, derart auszuführen ist.

1.9.5 Abschließende Handlingversuche

1.9.5.1 Versuch V18

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Hutprofil: BRAWOLINER®

Gummihutprofil: **Gummihutprofil 4**

Abwinklung des Hutzylinders 90°

Länge des Hutzylinders ca. 40 cm

Breite der Hutkrempe: angepasst an Ellipsenform

Materialstärke: Hut: 0,8 mm

Krempe: 0,8 mm

Gleitmittel: außen und innen mit Gleitmittel behandelt

Harz: BRAWO 1

Setztechnik: Pyrolus-Verfahren, verlängertes Setzgerät (50 mm nach beiden Seiten)

Inversion: 45°-Abzweig



Abb. 92: V18, BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil vor dem Zuschnitt auf dem verlängerten Setzgerät



Abb. 93: V18, BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil nach dem Zuschnitt

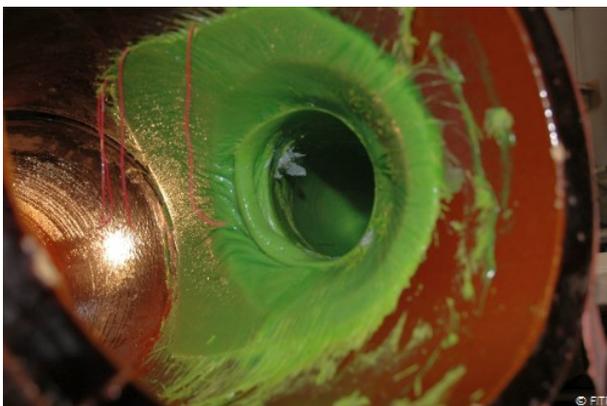


Abb. 94: V18, Sanierungsergebnis, Blickrichtung spitzer Winkel des Abzweigs



Abb. 95: 18, Sanierungsergebnis, Blickrichtung stumpfer Winkel mit angefaster Fläche



Abb. 96: V18, Faltenbildung am spitzen Winke an der Naht von Hut und Krempe des BRAWOLINER®-Hutprofils



Abb. 97: V18, Schnitt durch den 45°-Abzweig



Abb. 98: V18, Sanierungsergebnis, Überblick



Abb. 99: V18, unvollständige Auskleidung an der Bogenaußenseite

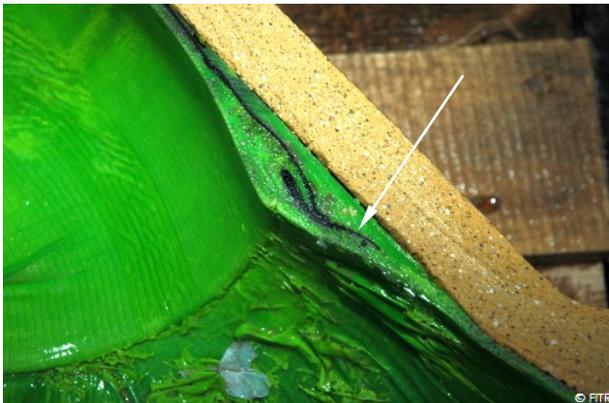


Abb. 100: V18, Stumpfer Winkel, Krempe des Gummihutprofils eingezogen

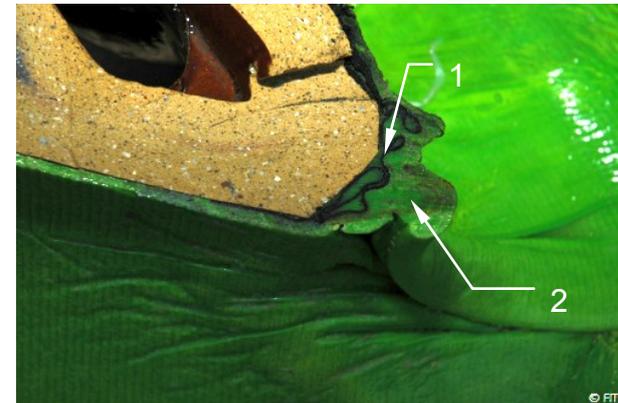


Abb. 101: V18, Faltung des Gummihutprofils im spitzen Winkel (1), Faltung des BRAWOLINER®-Hutprofils im Nahtbereich von Hut und Krempe (2)



Abb. 102: V18, Faltung des BRAWOLINER®-Hutprofils im Nahtbereich von Hut und Krempe, Blick von unten



Abb. 103: V18, Faltung von BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil, durch Faltung verursachter Hinterschnitt



Abb. 104: Falten im Bereich der Abwinklung des 90°-Gummihutprofils in den 45°-Abzweig



Abb. 105: V18, Blick auf die Krempe von BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Gegenüber den bisherigen Versuchen wurde das Setzgerät des Pyrolus-Systems nach beiden Seiten um ca. 5 cm verlängert. Dadurch wurde es möglich, die Krempe von BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil der Ellipsenform des 45°-Abzweiges größtmäßig besser anzupassen und gleichzeitig ausreichend Klebefläche für den Harz sicher zu stellen.

Ergebnis:

- Optimale Anpassung der Krempebreite des Gummihutprofils an die Form der Ellipse, maximale Krempebreite des BRAWOLINER®-Hutprofil
- Das Sanierungsergebnis wird positiv bewertet.

1.9.5.2 Versuch V19

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Hutprofil: BRAWOLINER®

Gummihutprofil: **Gummihutprofil 5**

Abwinklung des Hutzyinders 90°

Länge des Hutzyinders ca. 40 cm

Breite der Hutkrempe: angepasst an Ellipsenform

Materialstärke: Hut: 0,8 mm
Krempe: 1,4 mm

Gleitmittel: BRAWO 1

Harz: BRAWO 1

Setztechnik: Pyrolus-Verfahren, verlängertes Setzgerät (50 mm nach beiden Seiten)

Inversion: 45°-Abzweig



Abb. 106: V19, Hutkrempe aus 1,4 mm starkem Material, Harz als Gleitmittel und zur späteren Verklebung, Krempe an die Ellipsenform angepasst



Abb. 107: V19, Sanierungsergebnis, Blick auf den stumpfen Winkel mit angefaster Fläche

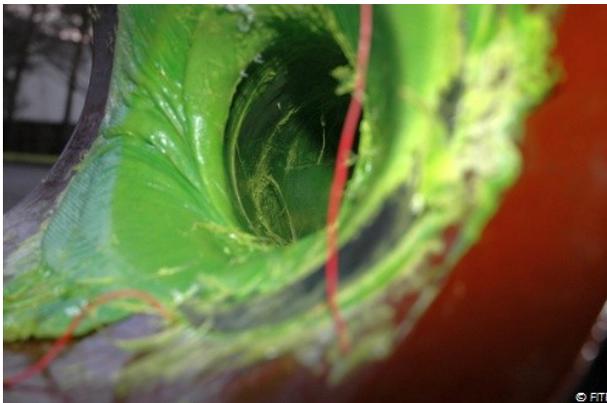


Abb. 108: V19, Sanierungsergebnis, Blick auf den spitzen Winkel



Abb. 109: V19, Schnitt durch den 45°-Abzweig, Ablösen des Gummihutprofils mit geringem Kraftaufwand möglich

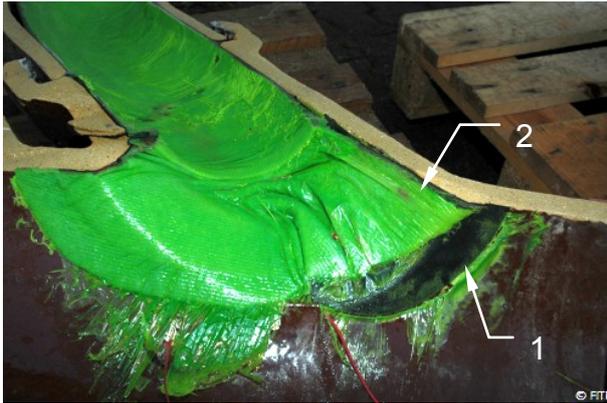


Abb. 110: V19, Sanierungsergebnis im Krepfenbereich, Gummihutprofil steht über (1), BRAWOLINER®-Hutprofil in den gefasteten Bereich des 45°-Abzweigs gewandert (2)

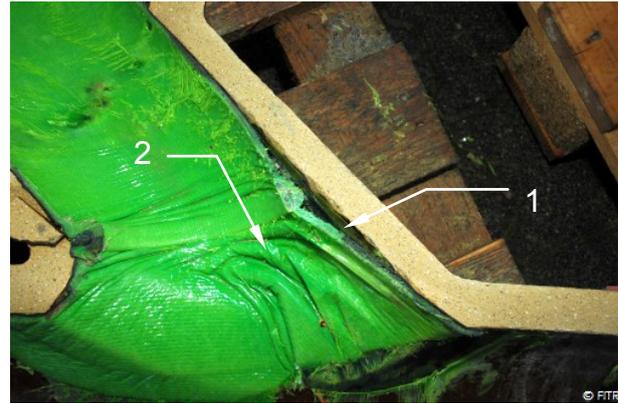


Abb. 111: V19, nicht an der Wandung des Abzweigs anliegendes Gummihutprofil (1), starke Faltenbildung am BRAWOLINER®-Hutprofil (2), BRAWOLINER®-Hutprofil in den gefasteten Bereich des Abzweigs gerutscht



Abb. 112: V19, geringfügige Faltenbildung des Gummihutprofils im spitzen Winkel, größte Falte am Übergang von Hut und Krempe des BRAWOLINER®-Hutprofils



Abb. 113: V19, nicht mit dem Gummihutprofil verklebter Bereich im Bogen

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Durch die Verlängerung des Setzgerätes wurde es möglich, die Krepfen von BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil der Ellipsenform des 45°-Abzweiges größtmäßig besser anzupassen und gleichzeitig ausreichend Klebefläche für den Harz sicher zu stellen.

Ergebnisse V18 und V19:

Die Ergebnisse der weiterführenden Versuche können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Verlängerung des Setzgerätes um je ca. 5 cm nach beiden Seiten und die sich daraus ergebende Vergrößerung der Krepfen von Gummihutprofil und BRAWOLINER®-Hutprofil hat zu einer Verbesserung des Sanierungsergebnisses bei V18 und V19 (siehe Abb. 94 - Abb. 96, Abb. 107, Abb. 80) geführt.
- Insbesondere die Faltenbildung des Gummihutprofils im spitzen Winkel des Abzweigs wurde sichtbar reduziert (Abb. 101, Abb. 102, Abb. 103, Abb. 81, Abb. 112).

- Durch die größere Krempe des Gummihutprofils verblieb bei V18 und V19 die Krempe im Bereich außen vor dem spitzen Winkel des Abzweigs. Diese Lage wird als optimal eingeschätzt.
- Bei V18 rutschte die Gummihutprofilkrempe infolge der Abwinklung aus 90° nach 45° in den Fasenbereich des stumpfen Winkels des Abzweigs. Eine Faltung wurde zusätzlich festgestellt (siehe Abb. 100). Die Vermutung liegt nahe, dass die Krempe, obwohl größer zugeschnitten, nicht ausreichend durch das Setzgerät gegen die Wandung des Hauptrohres gedrückt wurde, zumal die Krempe des mit Harz getränkten BRAWOLINER®-Hutprofils über der des Gummihutprofils lag.
- Bei V19 (Krempe 1,4 mm dick) verblieb die Gummikrempe im spitzen und im stumpfen Winkel an der Wandung des Hauptrohres vor dem Abzweig (siehe Abb. 81, Abb. 82, Abb. 112) und rutschte insbesondere im stumpfen Winkel nicht in den Fasenbereich hinein.
- Da bei Versuch V19 die Gummihutkrempe und die Krempe des BRAWOLINER®-Hutprofils annähernd gleich groß zugeschnitten wurden (vergleiche Abb. 106) (Fehler zwar erkannt, aber für die Aussagefähigkeit des Versuches 19 nicht von Bedeutung) hatte dies zu Folge, dass sich erstmalig bei den Versuchen am 45°-Abzweig die Krempe des BRAWOLINER®-Hutprofils im Bereich des stumpfen Winkels durch die Abwinklung von 90° auf 45° in den Fasenbereich gezogen wurde (Abb. 82 und Abb. 111).
- Die Verwendung der Krempendicke von 1,4 mm führte zu einer geringer ausgebildeten Faltung im spitzen Winkel (vergleiche Abb. 101 und Abb. 112).
- Bei beiden Versuchen kam es im Bogenaußenbereich des nach dem Abzweig angeordneten 45°-Bogens zu einem unvollständigen Anliegen von BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil an der Rohrwand (Abb. 99 und Abb. 113).
- Die Vorteile einer größeren Materialstärke der Gummihutkrempe wurden deutlich sichtbar.
- Die Anwendung des Harzes als Gleitmittel hat keinen Einfluss auf die Invertierbarkeit des Gummihutprofils, Vorteile sind insbesondere durch die zusätzliche Verklebung im Krempenbereich gegeben. Durch die Vergrößerung der Klebefläche als Summe Gummihutprofil und BRAWOLINER®-Hutprofil ist eine größere Sicherheit gegen Hinterläufigkeiten vorhanden.

1.9.5.3 Versuche V20 und V21

Verwendete Materialien und Setztechnik:

Hutprofil: BRAWOLINER®

Gummihutprofil: **Gummihutprofil 5**

Abwinklung des Hutzyinders 90°

Länge des Hutzyinders ca. 40 cm

Breite der Hutkrempe: angepasst an Ellipsenform

Materialstärke: Hut: 0,8 mm

Krempe: 1,4 mm

Gleitmittel:	Melkfett im Gummihutbereich BRAWO 1 im Krepfenbereich des Gummihutprofils
Harz:	BRAWO 1
Setztechnik:	Pyrolus-Verfahren, verlängertes Setzgerät (50 mm nach beiden Seiten)
Inversion:	45°-Abzweig



Abb. 114: V20, mit Melkfett über den gesamten Umfang behandelter Abschnitt des BRAWOLINER®-Hutprofils vor der Tränkung mit Harz



Abb. 115: V20, Einritzen der Folie am BRAWOLINER®-Hutprofil



Abb. 116: V20, Ergebnis des Versuches nach dem Einwalken des Harzes in das BRAWOLINER®-Hutprofil



Abb. 117: V21, vor dem Einharzen in das BRAWOLINER®-Hutprofil geschnittene Löcher



Abb. 118: V21, Löcher im BRAWOLINER®-Hutprofil nach dem Einwalken des Harzes

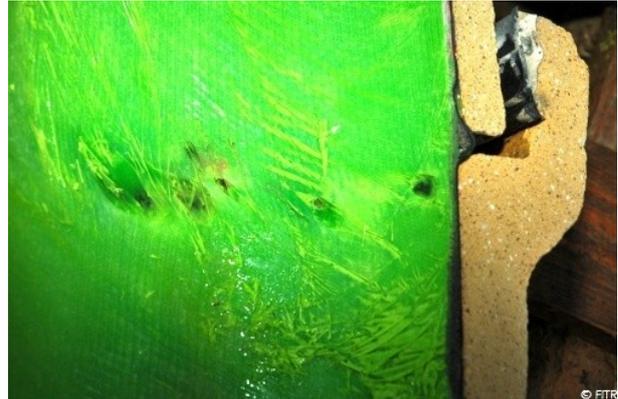


Abb. 119: V21, nach der Sanierung im Bereich von 3-9 Uhr Gummihutprofil deutlich sichtbar, dort kein Harz

Bemerkungen zur Versuchsdurchführung:

- Die Versuche V20 und V21 dienten zum Test der Möglichkeiten, bei den geplanten Belastungsuntersuchungen im IKT ein Versagen der Harzmatrix herbeizuführen ohne das Gummihutprofil zu beschädigen.

Ergebnisse V20 und V21:

- Die Lösungsvariante V20 das BRAWOLINER®-Hutprofil vor dem Einharzen in einem schmalen Bereich über den gesamten Umfang des Hutzyinders mit Melkfett zu behandeln, um so nach dem Setzvorgang einen Bereich ohne Harz zu realisieren, schlugen fehl. Das Melkfett konnte nicht verhindern, dass Harz in den behandelten Bereich gelangte.
- Die bei V20 in den Hutzyinder des BRAWOLINER®-Hutprofils geschnittenen Löcher dagegen erwiesen sich für die beabsichtigten Simulation einer defekten Harzmatrix als geeignet.
- Obwohl auch hier nach dem Setzvorgang das Harz noch nach unten laufen konnte und so die dort vorhanden Löcher mit Harz verschloss, blieben die Löcher um die 12-Uhr-Position offen.

1.10 Festlegung der Vorzugsvariante für die Belastungsversuche

Im Ergebnis der durchgeführten Handlingversuche werden für die geplanten Belastungsuntersuchungen im IKT Gummihutprofile in folgender Festlegungen getroffen:

1. Für das BRAWOLINER®-Hutprofil:

- Hutprofillänge: 600 mm
- Krempebreite: Überlappung zu Gummihutprofil min. 50 mm

2. Für das Gummihutprofil:

- Gummihutprofil: Abwinklung Hut/Krempe 90°
- Materialdicke Hut: 0,8 mm
- Materialdicke Krempe: 1,4 mm
- Hutprofillänge: 400 mm

- Krempebreite: 60 mm, angepasst an Ellipsenform
- 3. Für das zum Einsatz kommende Gleitmittel:
 - Hutbereich: Melkfett
 - Krempe: gleitmittelfrei
- 4. Für das Harzkomponente: BRAWO 1 oder BRAWO 2
- 5. Für die Setztechnik: Pyrolus-Setztechnik um jeweils 50 mm nach beiden Seiten verlängert
- 6. Für die zus. Verklebung Krempe: BRAWO 1 oder BRAWO 2 entspr. Verwendung mit dem BRAWOLINER®-Hutprofil

1.11 Belastungsuntersuchungen im IKT

1.11.1 Zielstellung

1. Nachweis der grundsätzlichen Anwendbarkeit/Einbaubarkeit des Systems BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil
2. Nachweis der Widerstandsfähigkeit gegenüber typischen Belastungen in Rietberg
3. Nachweis der Widerstandsfähigkeit gegenüber Hochdruck-Reinigung
4. Nachweis der Dichtwirkung des Gummihutprofils bei Versagen/Beschädigung des BRAWOLINER®-Hutprofils
5. Untersuchung der Materialeigenschaften des Verbundes BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil im Labor

Die Untersuchungen zum Nachweis obiger Zielstellungen wurden im IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH durchgeführt. Dazu wurde ein Versuchsstand errichtet und drei Versuchsreihen ausgeführt. Die Installation des BRAWOLINER®-Hutprofils zusammen mit dem Gummihutprofil wurde durch PKT – Pader Kanal Technik - Rohr frei GmbH & Ko. KG realisiert.

Die in den folgenden Abschnitten 1.11.2 bis 1.11.5 verwendeten Textpassagen und Bilder wurden dem Bericht „Laboruntersuchungen am Prototyp des FLEXTIGHT-Profiles“ [15] mit inhaltlichen Anpassungen entnommen und durch das FITR ergänzt.

1.11.2 Versuchsreihe I

1.11.2.1 Einbauversuche

1.11.2.1.1 Versuchsaufbau und Sanierungsablauf

Für die Einbauversuche und Belastungstest wurden sechs schadhafte Einläufe in einen Abwasserkanal nachgebildet, indem zwei Betonrohre DN 300 mit je drei Bohrungen ($\varnothing = 160$ mm) versehen wurden und vor den Bohrungen Steinzeugrohre DN 150 in einem Abstand von ca. 1 cm positioniert wurden. Somit bestand keine sachgerechte, dichte Verbindung zwischen den Beton- und Steinzeugrohren. Drei der Stutzen wurden rechtwinklig zum Hauptrohr angeordnet (Abb. 120 - Abb. 121 und Abb. 123, Stutzen Nr. 4-6), drei Stutzen in einem Winkel von 45° (Abb. 122, Stutzen Nr. 1-3).

Die sechs Einläufe wurden nacheinander unter Verwendung des BRAWOLINER®-Hutprofils in Kombination mit dem Gummihutprofil saniert. Am Einlauf 6 wurde

während der Sanierung ein Grundwasserzufluss simuliert, indem dem Anschluss Wasser zugeleitet wurde (Abb. 124).



Abb. 120: Blick auf den Versuchsstand

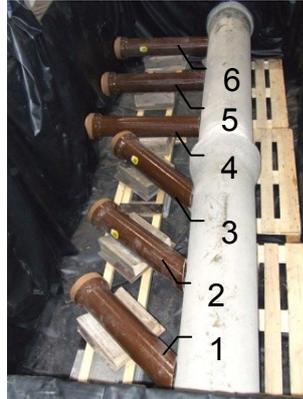


Abb. 121: Anordnung der Einläufe im Versuchsstand



Abb. 122: Simulation von 45°-Einläufen



Abb. 123: Simulation von 90°-Einläufen

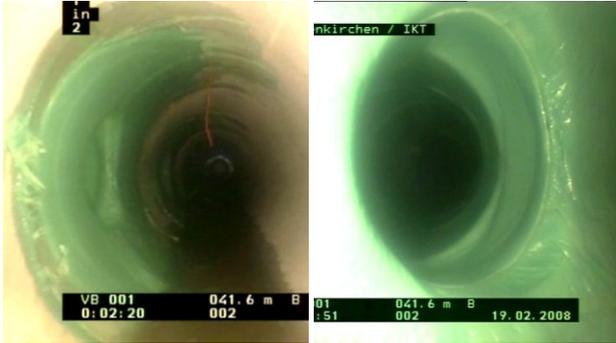


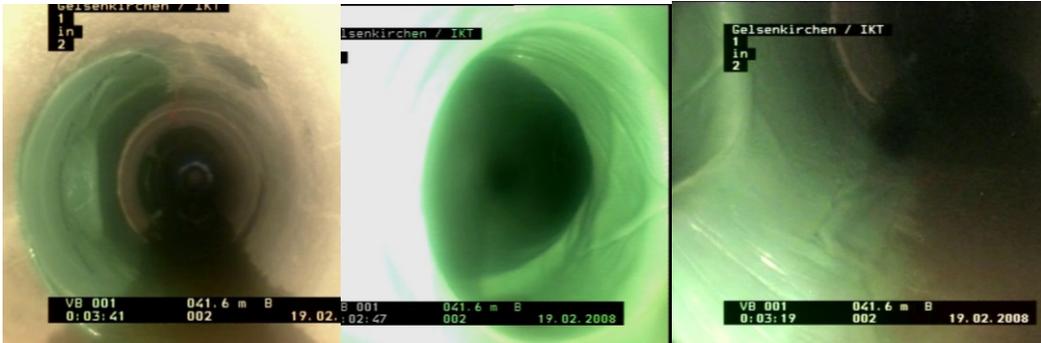
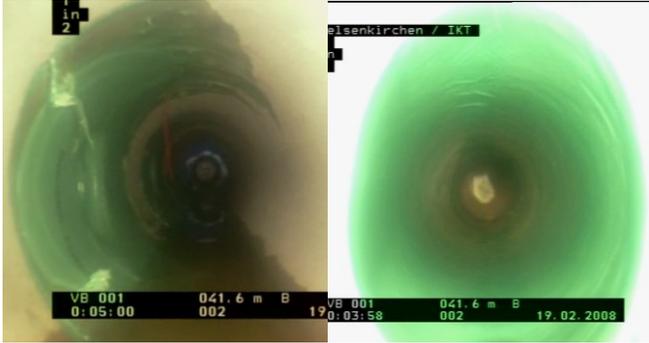
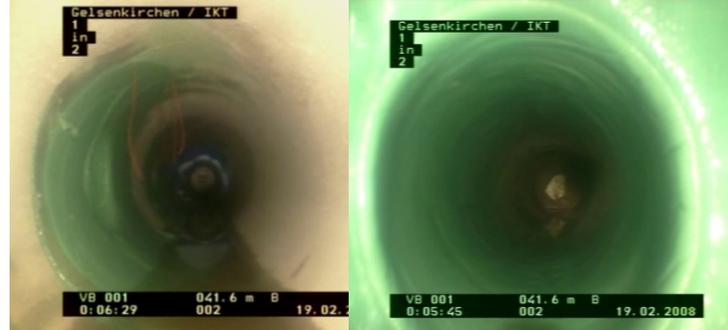
Abb. 124: Simulation von Grundwasser

1.11.2.2 Ergebnisse der Einbauversuche einschl. Druckprüfung

Sämtliche Stutzen konnten mittels der Kombination aus BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil saniert werden. Besonderheiten beim Sanierungsvorgang und optische Auffälligkeiten sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Sanierungsergebnis und Auffälligkeiten beim Sanierungsvorgang

Besonderheiten beim Sanierungsvorgang und Sanierungsergebnis (optisch)	Bildbeispiele der TV-Inspektion
<p>Stutzen Nr. 1 mit 45°-Anschluss</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sanierungsvorgang: Beim ersten Versuch ließ sich das Hutprofil weder vollständig in den Packer einziehen, noch in den Anschluss invertieren. Auch beim zweiten Versuch nach erneutem Einzug in den Packers ließ sich das Hutprofil nur mit händischer Unterstützung invertieren. • Sanierungsergebnis: Leichte Faltenbildung im Bereich des Hutzyinders (Abwinklungsbereich der Druckseite“) 	
<p>Stutzen Nr. 2 mit 45°-Anschluss</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sanierungsvorgang: Das Hutprofil ließ sich erst beim zweiten Versuch ausreichend tief in den Packer einziehen. Beim Inversionsvorgang ließ sich das Hutprofil nur sehr langsam in den Anschluss invertieren. Der Packer wurde nach Anpressen der Hutkrempe im Rohr nachjustiert. • Sanierungsergebnis: Faltenbildung im Sohlbereich der Hutkrempe (vermutlich durch Nachjustierung des Packers); Kantenbildung am Hutprofil durch den Übergang vom Beton- zum Steinzeugrohr 	

<p>Stutzen Nr. 3 mit 45°-Anschluss</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sanierungsvorgang: Der Packer wurde nach Anpressen der Hutkrempe im Rohr nachjustiert**. • Sanierungsergebnis: Faltenbildung im Sohlbereich der Hutkrempe (vermutlich durch Nachjustierung des Packers); Kantenbildung am Hutprofil durch den Übergang vom Beton- zum Steinzeugrohr 	
<p>Stutzen Nr. 4 mit 90°-Anschluss</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sanierungsvorgang: Keine Besonderheiten • Sanierungsergebnis: Minimale Faltenbildung im Anschlusskanal (Hutzylinder) 	
<p>Stutzen Nr. 5 mit 90°-Anschluss</p> <ul style="list-style-type: none"> • Simulation von <u>zufließendem Grundwasser</u> • Sanierungsvorgang: Keine Besonderheiten • Sanierungsergebnis: Minimale Faltenbildung im Anschlusskanal (Hutzylinder) 	

Stutzen Nr. 6 mit 90°-Anschluss

- Simulation von zufließendem Grundwasser
- Sanierungsvorgang:
Der Packer wurde nach Anpressen der Hutkrempe im Rohr nachjustiert.
- Sanierungsergebnis:
Faltenbildung im Sohlbereich der Hutkrempe (vermutlich durch Nachjustierung des Packers);
Minimale Faltenbildung im Anschlusskanal (Hutzylinder)



Die **Dichtheitsprüfungen** an den sanierten Einläufen erfolgten mit Wasserinnendruck in den Druckstufen 0,05 / 0,1 / 0,2 / 0,3 / 0,4 und 0,5 bar. Die höchste Druckstufe von 0,5 bar wurden über einen Zeitraum von 30 min aufrecht gehalten, die darunter liegenden Stufen über jeweils 15 min.

Bei der Prüfung trat an fünf von sechs Einläufen bereits bei der Befüllung Wasser aus. Bei Einlauf Nr. 2 trat Wasser ab einem Wasserinnendruck von 0,1 bar aus. Tabelle 6 gibt einen Überblick zur den Bereichen, in denen Wasseraustritte beobachtet wurden. Zeigten sich Wasseraustritte am Übergang vom Betonrohr zum Hutprofil (s. Abb. 125 und Abb. 126), konnte auf Hinterläufigkeiten und/oder Undichtigkeiten der Profil-Krempe geschlossen werden. Traten am Übergang des Gummihutprofils auf das Steinzeugrohr Nässungen auf, deutete dies auf Hinterläufigkeiten und/oder Undichtigkeiten des in den Anschlusskanal einragenden Hutzyllinders hin. In den Fällen, bei denen die Herkunft des Wassers nicht eindeutig zugeordnet werden konnte, ist dies in der Tabelle 5 vermerkt.



Abb. 125: Anschlusssituation

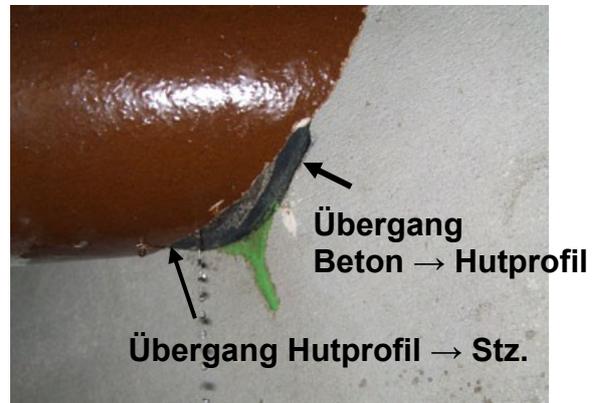


Abb. 126: Detail der Übergänge von Einlausimulation zum Betonrohr

Tabelle 6: Ergebnisse der Dichtheitsprüfung

Stutzen Nr.	Wasseraustritt	Lokalisation von Undichtigkeiten u/o Hinterläufigkeiten	
		Bereich der Hutkrempe	Bereich des Hutzyllinders
1	bei Befüllung	---	Übergang zw. Steinzeug und Hutprofil
2	ab 0,1 bar	---	Übergang zw. Steinzeug und Hutprofil
3*	bei Befüllung	Herkunft des Wassers unklar	Herkunft des Wassers unklar
4	bei Befüllung	Herkunft des Wassers unklar	Übergang zw. Steinzeug und Hutprofil
5	bei Befüllung	Herkunft des Wassers unklar	Übergang zw. Steinzeug und Hutprofil
6	bei Befüllung	Herkunft des Wassers unklar	Übergang zw. Steinzeug und Hutprofil

*Stutzen Nr. 3 mit gerissenem EPDM-Hutprofil

Als Ursache für die Undichtigkeiten wurden Hinterläufigkeiten der Hutprofile im Bereich der in die Steinzeugrohre einragenden Profil-Zylinder vermutet. Da die Herkunft des Wassers und somit die Stellen der Undichtigkeiten jedoch nicht eindeutig identifiziert werden konnten, wurden die Steinzeugrohre entfernt und die Dichtheitsprüfung an den freigelegten Hutprofilen wiederholt (Abb. 127).



Abb. 127: Freigelegte Gummihutprofile nach dem Entfernen der Steinzeugrohre während der Dichtheitsprüfung



Abb. 128: Im Ergebnis des Inversionsvorganges gerissenes Gummihutprofil am Einlauf Nr. 3

Einen Überblick zu den Ergebnissen der erneuten Dichtheitsprüfung gibt Tabelle 7. Vier der sechs Einläufe zeigten keine Wasseraustritte. Somit kann angenommen werden, dass die Undichtigkeiten bei der vorherigen Dichtheitsprüfung durch Hinterläufigkeiten zwischen den zylindrischen Teil von BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil und den Steinzeugrohren verursacht wurden.

Einlauf Nr. 3 zeigte Undichtigkeiten bereits ab einem Wasserinnendruck von 0,05 bar. Während des Sanierungsvorgangs war das Gummihutprofil eingerissen (Abb. 128). Während der Dichtheitsprüfung trat Wasser aus diesem Bereich aus. Ob die Nässungen ebenfalls durch Hinterläufigkeiten der Krempe verursacht wurden, war nicht eindeutig sichtbar.

Der Einlauf Nr. 2 zeigte ab einer Druckstufe von 0,4 bar minimale Nässungen auf der Außenseite des BRAWOLINER®-Hutprofils in einem Bereich, der nicht mit dem Gummihutprofil kombiniert war. Hier trat das Wasser aus Poren des BRAWOLINER®-Materials aus (Abb. 129).

Tabelle 7: Ergebnisse der Dichtheitsprüfung nach Sanierung an den freiliegenden Gummihutprofilen

Stutzen Nr.	Wasseraustritt	Lokalisation von Undichtigkeiten	
		Bereich der Hutkrempe	Bereich des Hutzyinders
1	---	---	---
2	ab 0,4 bar	---	<i>Nässung von Poren im Material des BRAWOLINER®-Hutprofils (Abb. 129)</i>
3*	ab 0,05 bar	<i>Undichtigkeit im Bereich des gerissenen Gummihutprofils (Abb. 129) und ggf. im Bereich der Krempe</i>	
4	---	---	---
5	---	---	---
6	---	---	---



Abb. 129: Poren im BRAWOLINER®-Hutprofil des Stutzens Nr. 2

1.11.2.3 Simulation dynamischer Belastungen und anschließende Dichtheitsprüfung

Um die Widerstandsfähigkeit von BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil gegenüber äußeren Belastungen aus Verkehrslasten bei gering überdeckten Kanälen zu testen, wurden mit Hilfe einer Lasteinleitungsstrukturen und eines Druckzylinders Lasten auf die Profile gebracht.

Bereits die Vorversuche (vergleiche Abschn. 1.8.7) hatten gezeigt, dass statische Vertikallasten bei fester Auflagerung der Anschlussleitungen an den Endpunkten (Abb. 130) keine Schäden an den Profilen erzeugten. Erst durch extreme Abwinklungen der Anschlussleitungen (Abb. 131) wurden Schäden an den BRAWOLINER®-Hutprofilen herbeigeführt. Die Dichtheit der Anschlüsse war durch die zusätzlichen Gummihutprofile weiterhin gegeben.



Abb. 130: Versuchsaufbau der Vorversuche, Einleitung von Vertikalbelastung bei Auflagerung des Einlaufs

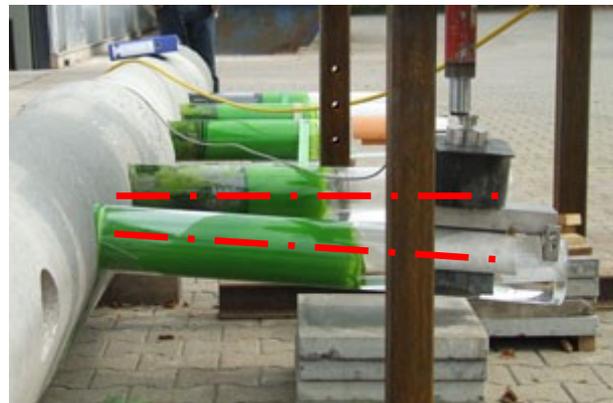


Abb. 131: Abwinklung der Einläufe bei entfernter Auflagerung

1.11.2.3.1 Belastungsparameter

Die Belastungsparameter und Anzahl der Lastwechsel wurden auf Basis von Simulationsrechnungen [16] für die „Platzstraße“ in Rietberg festgelegt. Vereinfachte Simulationsberechnungen der ConVia Ingenieurgesellschaft, Sachverständige für Verkehrswegebau ergaben für LKW-Radlasten (SWL 60) eine Vertikalbewegung des Bodens direkt über dem Rohrscheitel von 1,06 mm bis 1,16 mm. Bei den Berechnungen wurden punktuell unter einer Radlast eintretenden Vertikalbewegungen ermittelt. Belastungsszenarien mit Abwinklungen der Anschlussleitungen wurden

nicht dargestellt. Daher dienten die ermittelten Werte von 1,06 mm bis 1,16 mm nur als Anhaltswerte für die Festlegung von Parametern für die Belastungsversuche.

Grundlage für die Bestimmung der nötigen Belastungswiederholungen zur Simulierung einer mehrjährigen Liegezeit stellt, wie bei allen Versuchen, die Situation vor Ort in der Stadt Rietberg dar. Die ersten Berechnungen und Annahmen erfolgten auf Grund der in der Platzstraße vorgefundenen Situation, bei der die Kanalrohre unter einer geringen Asphaltbefestigung und zudem einer geringen Gesamtüberdeckung liegen.

Aus den Daten der Stadt Rietberg geht hervor, dass die Verkehrsbelastung in der Platzstraße durch den Schwerverkehr (SV) bei derzeit 470 Fz./24h liegt. Allerdings ist es nicht realistisch alle diese Fahrzeuge einem SLW60 gleichzusetzen, da zu diesen Fahrzeugen alle die gehören, welche ein Gesamtgewicht von mehr als 3,5 t besitzen. In den RStO sind hierzu in Abhängigkeit der jeweiligen Straßenklasse Anhaltswerte für die Berücksichtigung der unterschiedlichen Fahrzeugkollektive gegeben. Zunächst einmal beträgt die mittlere Anzahl an Achsen je Fahrzeug, die nach statistischen Erhebungen auf Landes- und Kreisstraßen fahren 3,1 Achsen/Fz. Somit ergeben sich insgesamt 1457 Achsen aus dem SV, die täglich die Platzstraße passieren. Um zusätzlich zu berücksichtigen, dass nicht alle Achsen an einem Fahrzeug das gleiche Gewicht von 10 t besitzen gibt es in den RStO zusätzlich einen Faktor qBM, der den so genannten Lastkollektivquotienten widerspiegelt. Dieser beträgt für Landes- und Kreisstraßen 0,18 bezogen auf äquivalente 10 t-Achsen. Unter Berücksichtigung dieses Quotienten ergeben sich für die Situation in der Platzstraße täglich 263 äquivalente 10 t-Achsen. Bei den im ersten Teil dargestellten Berechnungen wurde aber von der Belastung durch einen SLW60 ausgegangen. Um diesen Umstand zusätzlich berücksichtigen zu können muss hierzu noch eine weitere Anpassung vorgenommen werden. Aus Untersuchungen ist bekannt, dass die Last (Achslast/Radlast) in der 4.ten Potenz zur Schädigung beiträgt. Dieser Wert resultiert aus großmaßstäblichen Versuchen und liegt auch den RStO zugrunde. Für die Situation in der Platzstraße und den Versuchen beim IKT bedeutet dies, dass zuvor ermittelten 263 Achsen noch um den Faktor 24 abgemindert werden müssen. Für die versuche ergeben sich somit 17 Belastung einer 20 t-Achse eines SLW60 pro Tag.

DTV(SV)	470 Fz.
Achszahlfaktor	$3,2 \cdot 470 \cdot 3,1 = 1457$ Achsen/24h
Lastkollektivquotient	$0,18 \cdot 1457 \cdot 0,18 = 263$ äquivalente 10 t-Achsen
Berücksichtigung SLW60	$263 \cdot (1/16) = 17$ Überrollungen am Tag

Über einen weggesteuerten Hydraulikzylinder wurden durch zyklischen Be- und Entlastungen aus einer definierten Nulllage heraus Abwinklungen von 1,16 mm erzeugt. Mit insgesamt 186.000 Lastwechseln je Einlauf sollte eine 30-jährige Belastung durch Verkehrslasten bei geringer Überdeckung der Einläufe simuliert werden.

Für die Belastungsversuche wurde angestrebt, im Abstand von 10 cm vom Beton-Hauptkanal eine Vertikalbewegung der sanierten Anschlussleitung im Bereich der 1,16 mm zu erzeugen. Die Vertikalbewegung wurde durch Abwinklung der Anschlussleitung bzw. des Verbundes von BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil nach unten erzielt. Der Drehpunkt lag im Bereich des Anschlusses zwischen Beton-Hauptrohr und Hutprofil.

Voraussetzung für derartige Bewegungen in der Praxis ist, dass der Anschlusskanal, in den das Hutprofil einmündet, diese Bewegungen zulässt, z. B. in der ersten Muffe. In einem Abstand von beispielsweise 30 cm vom Hauptkanal (bezogen auf die Längsachse des Anschlusskanals) müssten Absenkungen von mehreren Millimetern eintreten. Abhängig von der genauen Position des sich einstellenden Drehpunkts des Hutprofils bzw. des Verbunds aus Altrohr und Hutprofil, müssten vertikale Bewegungen im Bereich von näherungsweise 3-6 mm möglich sein.

1.11.2.3.2 Versuchsaufbau

Für den Versuchsaufbau wurden je drei Hutprofile im Abstand von ca. 25 cm vom Beton-Hauptrohr gefasst, über eine Konstruktion mit dem Druckzylinder verbunden und in 186.000 Lastwechseln vertikal nach unten bewegt und in die Nulllage zurückgeführt. Die Lastwechsel wurden mit einer Frequenz von 1 Hertz aufgebracht.



Abb. 132: Sanierte Einläufe nach Entfernen der Steinzeugrohre mit installierter Lasteinleitungskonstruktion



Abb. 133: Detailansicht der Lasteinleitungskonstruktion

Über Wegaufnehmer, die in einem Abstand von ca. 10 cm vom Betonrohr auf den Rohrscheiteln der sanierten Einläufe installiert worden waren, wurde die tatsächliche Bewegung der Profile gegenüber dem Betonrohr-Hauptrohr aufgenommen. Da abhängig von der Geometrie, der Systemsteifigkeit und des Anschlusswinkels des Hutprofils unterschiedliche Drehpunkte entstehen, variierten die Bewegungen der einzelnen Stutzen im Bereich von einigen Zehntel-Millimetern. So ergaben sich im Abstand von 10 cm vom Betonrohr mittlere Wege der Stutzen von 1,18 mm bis 2,10 mm (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8: Position der Wegaufnehmer und Mittelwerte aufgebrachtener Vertikalbewegungen an den sechs sanierten Einläufen

Stutzen	Position Wegaufnehmer - Abstand vom Hauptrohr [mm]	Mittlere Vertikalbewegung des Hutprofils am Wegaufnehmer [mm]	Mittlere Vertikalbewegung des Hutprofils ¹ in 10 cm Abstand vom Hauptrohr [mm]
Nr. 1 – 45°	96	1,39	1,47
Nr. 2 – 45°	95	1,04	1,18
Nr. 3 – 45°	93	1,20	1,41
Nr. 4 – 90°	111	2,36	2,10
Nr. 5 – 90°	115	1,85 ²	1,46 ²
Nr. 6 – 90°	112	1,88	1,58

¹ rechnerischer Näherungswert unter Vernachlässigung möglicher Biegungen innerhalb des Hutzylinders

² Aufgrund von Messungenauigkeiten konnten nur die ersten 28.140 Lastwechsel einbezogen werden

Bei den im 90°-Winkel angeschlossenen Profilen zeigte die Innenansicht des Beton-Hauptrohres Bewegungen in der Hutkrempe. Jede Abwinklung des Profil-Zylinders erzeugte eine entsprechende Wölbung bzw. Dehnung in Teilbereichen der Krempe (vgl. Abb. 134). Bei den im 45°-Winkel angeschlossenen Stutzen waren dagegen keine Bewegungen sichtbar. Aufgrund der unterschiedlichen Anschlusswinkel erfahren die 90°-Stutzen eine höhere Beanspruchung im Krempenbereich.



Abb. 134: Krempenbereiche der 90°-Hutprofile mit deutlich sichtbaren Bewegungen des Materials

1.11.2.3.3 Dichtheitsprüfung nach Belastung:

Die Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen an den 45°-Einläufen waren weitestgehend mit den Ergebnissen vor Belastung der vergleichbar. Bei Nr. 1 und 2 wiederholten sich die Ergebnisse der ersten Prüfung: Beim Einlauf Nr. 1 trat auf keiner Druckstufe Wasser aus, beim Einlauf Nr. 2 blieb der Übergang vom Hutprofil auf das Betonrohr vollständig dicht und es zeigten sich wiederum Nässungen in Poren des BRAWOLINER®-Hutprofilmaterials. Am Einlauf Nr. 3 mit dem angerissenen Gummi-profi, der bereits bei der Prüfung vor Belastung ab einer Druckstufe von 0,05 bar undicht war, trat bereits bei der Befüllung Wasser aus.

Von den 90°-Einläufen, die während der 186.000 Abwinklungen deutlich sichtbar im Krempenbereich beansprucht wurden, waren zwei der Stutzen auch nach der Belastung noch dicht. Beim dritten Stutzen zeigte sich bereits bei der drucklosen

Wasserbefüllung eine Undichtigkeit im Übergangsbereich zwischen Betonrohr und Hutprofil, d. h. es kann auf Hinterläufigkeiten der Profilkrempe geschlossen werden.

Tabelle 9: Ergebnisse der Dichtheitsprüfung nach Belastung

Stutzen Nr.	Wasseraustritt	Lokalisation von Undichtigkeiten	
		Bereich der Hutkrempe	Bereich des Hutzylinders
1	---	---	---
2	ab 0,4 bar	---	<i>Nässung von Poren im Material des BRAWOLINER®-Hutprofils (Abb. 129)</i>
3*	bei Befüllung	<i>Undichtigkeit im Bereich des gerissenen Gummihutprofils (Abb. 129) und ggf. im Bereich der Krempe</i>	
4	---	---	---
5	bei Befüllung	<i>Übergang zw. Betonrohr und Hutprofil</i>	---
6	---	---	---

*Stutzen Nr. 3 mit gerissenem EPDM-Gummihutprofil

1.11.2.4 Simulation betrieblicher Belastungen und anschließende Dichtheitsprüfung

In Anlehnung an das Hamburger Spülmodell wurden die sanierten Einläufe mit Hochdruckspülungen belastet. Die Spülung wurde im Beton-Hauptkanal ausgeführt. Mit 30 Spüldurchgängen und einem Spüldruck von 120 bar wurden die Belastungsparameter gegenüber den Vorversuchen erhöht (Vorversuche: 15 Spüldurchgänge und 80 bar). Weitere Parameter können Tabelle 10 entnommen werden.

Tabelle 10: Parameter der Hochdruck-Spülungen

Spülparameter	Zahlenwert
Düsendruck	120 bar
Düsenwinkel	30°
Anzahl Düseneinsätze	8
Durchmesser d. Einsätze	2,4 mm
Spülwassermenge	ca. 320 l/min
Anzahl Spülvorgänge	30
Vorlaufgeschwindigkeit	1,0 m/s
Rückzugsgeschwindigkeit	0,1 m/s
Kalksteinsplitt 2/5 mm	5 l/Spüldurchgang

Eine Begutachtung der sanierten Einläufe nach der HD-Spülung zeigte Schäden an den Hutkrempen. Wie in Tabelle 11 dargestellt, waren die Krempe im Sohlbereich durch die Spülung vom Betonrohr abgelöst worden.

Tabelle 11: Gelöste Hutkrepfen nach Hochdruckreinigung (Spülseite)



Einlauf Nr. 1



Einlauf Nr. 2



Einlauf Nr. 3



Stutzen Nr. 4



Stutzen Nr. 5



Stutzen Nr. 6

Die Dichtheitsprüfung zeigte an allen sechs belasteten Einläufen Undichtigkeiten. Gegenüber der Prüfung vor HD-Belastungen waren zusätzlich die 90°-Einläufe Nr. 4 und 6 bereits bei der Befüllung der Leitung undicht und auch an den zwei 45°-Stutzen Nr. 1 und 2 trat ab einem Wasserinnendruck von 0,2 bar Wasser aus.

Der Unterschied zwischen den 90°-Einläufen (undicht bei Befüllung) und den 45°-Einläufen (undicht ab 0,2 bar, mit Ausnahme des Stutzen Nr. 3 mit angerissenem Gummiprofil) könnte darin begründet liegen, dass die 90°-Einläufe während der Abwinklungsversuche stärkere Belastungen im Krepfenbereich erfahren haben.

Tabelle 12: Ergebnisse der Dichtheitsprüfung nach dynamischer Belastung und Hochdruckspülung

Stutzen Nr.	Wasseraustritt	Lokalisation von Undichtigkeiten	
		Bereich der Hutkrempe	Bereich des Hutzylinders
1	ab 0,2 bar	Übergang zw. Betonrohr und Hutprofil	---
2	ab 0,2 bar		Nässung von Poren im Material des BRAWOLINER®-Hutprofils (Abb. 129)
3*	bei Befüllung	Undichtigkeit im Bereich des gerissenen Gummihutprofils (Abb. 129) und ggf. im Bereich der Krempe	
4	bei Befüllung	Übergang zw. Betonrohr und Hutprofil	---
5	bei Befüllung		---
6	bei Befüllung		---

*Stutzen Nr. 3 mit gerissenem EPDM-Gummihutprofil

1.11.3 Versuchsreihe II – Dichtwirkung bei Versagen der Harzmatrix des BRAWOLINER®-Hutprofils

1.11.3.1 Zielstellung

Ziel der zweiten Versuchsreihe war es, die Dichtwirkung des Gummihutprofils nach Versagen bzw. Beschädigung des Harzes des BRAWOLINER®-Hutprofils nachzuweisen.

1.11.3.2 Versuchsaufbau und Durchführung

Dazu wurde im IKT eine Teststrecke aus einem Beton-Hauptrohr DN 300 mit zwei 160 mm Bohrungen und davor platzierten Steinzeugrohren DN 150 errichtet. In diese wurden zwei wie bei V21 vorbereitete Gummihutprofile eingebaut. In einem Abstand von ca. 4 cm von der Naht des BRAWOLINER®-Hutprofils wurden 10 Löcher mit einem Durchmesser von ca. 1 cm geschnitten (Abb. 135 und Abb. 136).



Abb. 135: Präparieren des BRAWOLINER®-Hutprofils vor dem Einharzen



Abb. 136: Löcher im BRAWOLINER®-Hutprofil

1.11.3.3 Ergebnisse

- Die Dichtheitsprüfung nach der Sanierung deutete wiederum auf Hinterläufigkeiten des in die Einläufe invertierten Systems bestehend aus BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil hin.
- An beiden Einläufen trat bereits bei der Befüllung Wasser am Übergangsbereich zwischen Steinzeugrohr und Hutprofil aus.

- Um die Quelle der Hinterläufigkeit eindeutig feststellen zu können, wurden auch bei diesem Aufbau die umliegenden Steinzeugrohre entfernt, die Enden der Hutprofile mit PVC-Kappen abgedichtet und die Prüfung wiederholt.
- Dabei zeigte sich auf keiner Druckstufe ein Wasseraustritt. Undichtigkeiten im Material und Hinterläufigkeiten der Hutkrempe können somit ausgeschlossen werden.
- Als Ursache für die im Versuch zuvor festgestellt Undichtigkeit kommt nur die Hinterläufigkeit zwischen Steinzeugrohr und den in die Einläufe invertierten System BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil in Frage
- Die Dichtheit der Einläufe nach dem Entfernen der Steinzeugrohre trotz der vorhandenen Löcher im BRAWOLINER®-Hutprofil kann nur mit der Dichtwirkung des Gummihutprofils erklärt werden.
- Die Dichtwirkung des Gummihutprofils Gummihutprofil nach Versagen der Harzmatrix des BRAWOLINER®-Hutprofil konnte nachgewiesen werden.

1.11.4 Versuchsreihe III - Materialeigenschaften des Verbundes

In der dritten Versuchsreihe wurden exemplarisch Kennwerte von drei Materialproben des BRAWOLINER®-Gewebes mit und ohne EPDM-Gummi sowie dem üblichen Harz bestimmt. Die Proben bestanden aus folgenden Materialien:

- BRAWOLINER®-Gewebe mit Epoxidharz BRAWO
- BRAWOLINER®-Gewebe mit Epoxidharz BRAWO und 0,8 mm Gummimaterial
- BRAWOLINER®-Gewebe mit Epoxidharz BRAWO und 1,4 mm Gummimaterial

Die Herstellung der Proben erfolgte, indem zunächst rechteckige Flächen des BRAWOLINER®-Gewebes mit Harz getränkt und anschließend zwischen zwei Platten gelegt wurden. Auf die obere Platte wurden Gewichte platziert. Bei zwei der drei Materialproben wurde zusätzlich das Gummimaterial auf das mit Harz getränkte BRAWOLINER®-Gewebe gelegt.

Aus den rechteckigen Materialproben wurden Probekörper für folgende Versuche geschnitten:

Kurzzeit - E-Modul:

Der E-Modul wurde im Dreipunkt-Biegeversuch in Anlehnung an DIN EN ISO 178 [17] bzw. DIN EN 13566-4 [18] bestimmt. Geprüft wurden jeweils vier Probekörpern ca. 8 cm x 5 cm.

Kurzzeit - Biegezugfestigkeit:

Die Biegefestigkeit wurde im Dreipunkt-Biegeversuch in Anlehnung an die DIN EN ISO 178 [17] bzw. DIN EN 13566-4 [18] bestimmt. Geprüft wurden jeweils vier Probekörpern ca. 8 cm x 5 cm.

Zugfestigkeit:

Die Zugfestigkeit wurde in Anlehnung an die DIN EN ISO 527 [19] an jeweils drei Probekörpern 15 cm x 1 cm geprüft.



Abb. 137: Probe im Dreipunkt-Biegeversuch



Abb. 138: Probe im Zugversuch

Die Ergebnisse der Prüfungen sind in Tabelle 13 und Tabelle 14 zusammengestellt. Bei sämtlichen Versuchen wurde bei der Berechnung der Festigkeiten und E-Moduln lediglich die Dicke des BRAWOLINERS für die Probendicke berücksichtigt. Zum einen sollten der mögliche Einfluss des Gummis auf die Materialkennwerte des Liners ermittelt werden, d. h. es werden gleiche Berechnungsgrundlagen benötigt, zum anderen ist keine tragende Wirkung des Gummis am Gesamtquerschnitt anzunehmen. Bei den ermittelten E-Moduln handelt es sich somit um rein rechnerische Größen unter Ansatz der Wanddicke.

Die **Dreipunkt-Biegeversuche** ergaben für den reinen BRAWOLINER® den geringsten E-Modul (Mittelwert: 3160 N/mm²) und die geringste Biegezugfestigkeit (Mittelwert: 56,69 N/mm²). Für den BRAWOLINER® mit dem 0,8 mm starken Gummi wurde ein mittlerer E-Modul (Mittel: 3470 N/mm²) und die größte Biegezugfestigkeit (Mittel: 68,07 N/mm²) ermittelt und für die Proben mit dem 1,4 mm starken Gummi zeigten sich ein mittlerer E-Modul (Mittelwert: 4086 N/mm²) mit der größten Biegezugfestigkeit (Mittel: 65,72 N/mm²). Einen Überblick zu den Prüfergebnissen gibt Tabelle 13.

Auch wenn die Proben mit Gummi im Mittel höhere Werte zeigten als die reinen BRAWOLINER®-Proben, kann kein direkter Zusammenhang mit dem Einsatz einer Gummi-Matte abgeleitet werden, da die Wanddicken unterschiedlich waren. Wie bei Einbauten von Hutprofilen, Kurzlinern oder Linern in der Praxis konnten auch bei der Herstellung der Probekörper im IKT nicht exakt gleiche Wanddicken erzeugt werden. Mit Unterschieden in den Wanddicken sind gleichzeitig auch Unterschiede im Gewebe/Harz-Verhältnis und/oder der Kompression der Werkstoffe verbunden. Diese Unterschiede können sich auch auf die Materialkennwerte auswirken.

Ein Vergleich einzelner Probekörpern mit annähernd vergleichbaren Wanddicken (in Tabelle 13 farbig markiert) zeigt ebenfalls keine deutlichen Zusammenhänge zwischen Messwerten und Materialkombinationen. Des Weiteren zeigen sich gegenüber dem Vergleich der Mittelwerte teilweise andere Tendenzen.

Ebenfalls lassen die Ergebnisse der **Zugversuche** keinen eindeutigen Einfluss des Gummis auf die Zugfestigkeit des Liners erkennen. Zwar wurden Unterschiede in den Festigkeiten der verschiedenen Proben gemessen, doch auch hier können die Einflüsse aus unterschiedlichen Probendicken, unterschiedlichen Materialkompressionen und Zusammensetzungen gegenüber möglichen Einflüssen des Gummis nicht getrennt werden. Beim BRAWOLINER® mit 1,4 mm starken Gummi wurden die geringsten Werte (Zugfestigkeit: 25,46 N/mm²; E-Modul: 3343 N/mm²; Dehnung: 1,03 %) bei der größte Wanddicken (2,88 mm) gemessen. Dagegen

lieferte der BRAWOLINER® mit dem 0,8 mm Gummi die größten Werte (Zugfestigkeit = 34,91 N/mm²; E-Modul = 3680 N/mm²; 2,28 %) bei der kleinsten Wanddicke (Mittel = 1,95 mm).

Zusammenhänge zwischen dem Gummi und dem Spannungs-Dehnungs-Verhalten der Probekörper lassen sich nur in Bereichen der Kurven nach Bruch bzw. Anriss des BRAWOLINERS ableiten. Bei den reinen BRAWOLINER®-Proben rissen bei Erreichen der Maximalspannung die Fasern auf der Seite ohne Außenfolie (vgl. Abb. 139 und Abb. 140), verbunden mit einem plötzlichen Spannungsabfall (vgl. Abb. 141). Auch bei den Probekörpern mit Gummi riss der Liner auf der Seite ohne Folie (s. Abb. 140). Da diese Seite mit dem Gummi verbunden ist, wurde das Gummi nach Bruch des Liners beansprucht. Entsprechend zeigen die Spannungs-Dehnungs-Kurven einen langsameren Abfall der Spannung mit einer starken Dehnung der Probe (Abb. 142 und Abb. 143).

Sowohl bei den Dreipunkt-Biegeversuchen als auch bei den Zugversuchen entstanden **keine sichtbaren Schäden am Gummi**. Somit war das Gummi scheinbar nicht durch chemische Komponenten des Harzes angegriffen worden, noch ist der Verbund des Gummis mit dem BRAWOLINER® so hoch gewesen, dass es mit dem Liner riss. Das Gummi löste sich im Rissbereich vom Liner, sodass eine Rissbreitenüberbrückung durch das Gummi entstand.

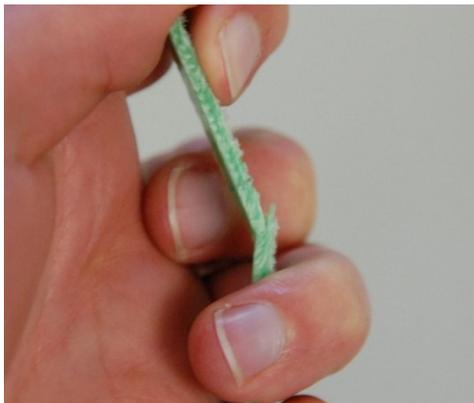


Abb. 139: Durch Zugbeanspruchung angerissener BRAWOLINER® **ohne** Gummimaterial



Abb. 140: Durch Zugbeanspruchung angerissener BRAWOLINER® **mit** Gummimaterial

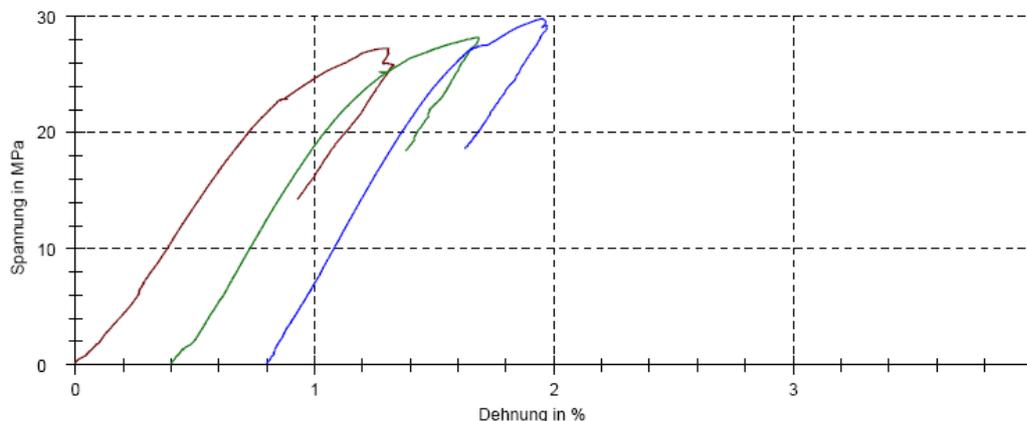


Abb. 141: Spannungs-Dehnungs-Diagramm des Zugversuches an Probekörpern aus BRAWOLINER® **ohne** Gummimaterial

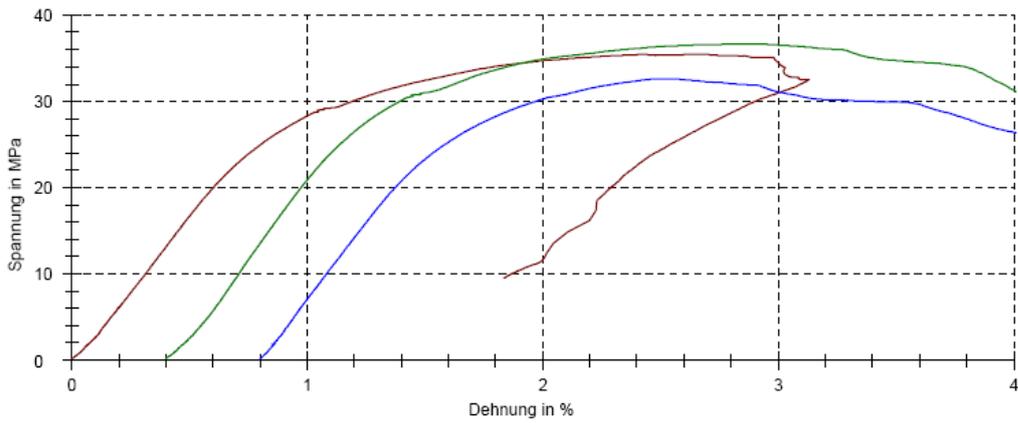


Abb. 142: Spannungs-Dehnungs-Diagramm des Zugversuches an Probekörpern aus BRAWOLINER® mit 0,8 mm starkem Gummimaterial

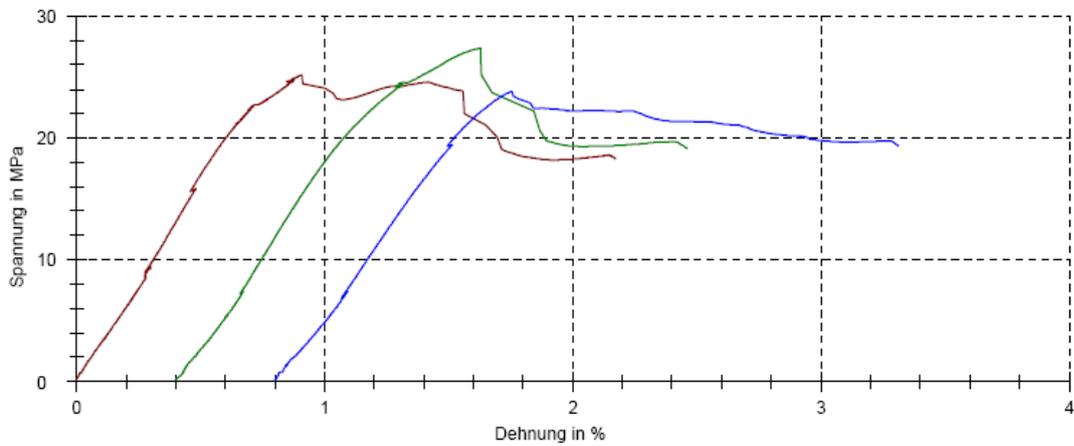


Abb. 143: Spannungs-Dehnungs-Diagramm des Zugversuches an Probekörpern aus BRAWOLINER® mit 1,4 mm starkem Gummimaterial

Tabelle 13: Ergebnisse der Dreipunkt-Biegeversuche

Probekörper	Probendicke ¹ e [mm]	E-Modul ² [N/mm ²]	Spannung beim ersten Bruch - Biegezugfestigkeit - σ_{f_B} [N/mm ²]	Maximalspannung σ_{f_M} [N/mm ²]
BRAWOLINER [®] -Gewebe – Probe 1	2,15	3326	57,44	57,44
BRAWOLINER [®] -Gewebe – Probe 2*	2,65*	3820*	60,51*	66,12*
BRAWOLINER [®] -Gewebe – Probe 3	2,19	2993	55,93	55,93
Mittel (Probe 1 und 3)	2,17	3160	56,69	56,69
BRAWOLINER [®] mit 0,8 mm Gummi – Probe 1*	2,07*	2867*	56,79*	56,79*
BRAWOLINER [®] mit 0,8 mm Gummi – Probe 2	2,61	3618	69,59	69,59
BRAWOLINER [®] mit 0,8 mm Gummi – Probe 3	3,01	3397	69,41	69,41
BRAWOLINER [®] mit 0,8 mm Gummi – Probe 4	2,97	3396	65,21	63,37
Mittel (Probe 2-4)	2,86	3470	68,07	68,47
BRAWOLINER [®] mit 1,4 mm Gummi – Probe 1	2,80	3888	65,69	65,76
BRAWOLINER [®] mit 1,4 mm Gummi – Probe 2	2,70	4217	66,49	66,49
BRAWOLINER [®] mit 1,4 mm Gummi – Probe 3	2,42	4152	64,99	66,77
BRAWOLINER [®] mit 1,4 mm Gummi – Probe 4*	2,08*	3999*	65,05*	67,31*
Mittel (Proben 1-3)	2,64	4086	65,72	66,34

¹ Probengesamtdicke abzüglich Dicke der Innenfolie und des Gummis

² Es handelt sich um eine rein rechnerische Größe aus den Biegezugversuchen nach DIN EN ISO 178 bzw. DIN EN 13566-4 unter Ansatz der Linerwanddicke

* Probe wurde aufgrund stark abweichender Wanddicke nicht bei der Mittelwertbildung berücksichtigt

Markierungen: Proben mit Wanddicken zw. 2,07 und 2,19 mm (gelb) und Proben mit Wanddicken zw. 2,61 und 2,70 mm (blau)

Tabelle 14: Ergebnisse der Zugversuche

Probekörper	Probendicke ¹ e [mm]	Zug- Modul ² [N/mm ²]	Maximalspannung/ Zugfestigkeit σ_M [N/mm ²]	Maximaldehnung ϵ [mm]	Maximaldehnung ϵ [%]
BRAWOLINER®-Gewebe – Probe 1*	2,69*	2902*	25,13*	0,65*	1,30*
BRAWOLINER®-Gewebe – Probe 2*	2,81*	3559*	27,90*	0,64*	1,28*
BRAWOLINER®-Gewebe – Probe 3*	2,65*	3367*	27,81*	0,57*	1,15*
Mittel	2,72*	3404*	28,43*	0,62*	1,24*
BRAWOLINER® mit 0,8 mm Gummi – Probe 1	1,99	3514	35,44	1,33	2,67
BRAWOLINER® mit 0,8 mm Gummi – Probe 2	1,92	3955	36,66	1,23	2,47
BRAWOLINER® mit 0,8 mm Gummi – Probe 3	1,94	3570	32,62	0,85	1,71
Mittel	1,95	3680	34,91	1,14	2,28
BRAWOLINER® mit 1,4 mm Gummi – Probe 1	2,88	3601	25,19	0,45	0,91
BRAWOLINER® mit 1,4 mm Gummi – Probe 2	2,87	3377	27,37	0,61	1,23
BRAWOLINER® mit 1,4 mm Gummi – Probe 3	2,90	3052	23,83	0,48	0,95
Mittel	2,88	3343	25,46	0,52	1,03

¹ Probengesamtdicke abzüglich Dicke der Innenfolie und des Gummis

² Es handelt sich um eine rein rechnerische Größe aus den Biegezugversuchen nach DIN EN ISO 178 bzw. DIN EN 13566-4 unter Ansatz der Linerwanddicke

* Die Proben sind nahe der Einspannstelle gebrochen (Bereich der geringsten Probendicke) und sind nach DIN EN ISO 527 zu verwerfen. Um Anhaltswerte für E-Modul, Spannungen und Dehnungen zu erhalten, wurde die nahe der Bruchstelle gemessene Probendicke angesetzt.

1.11.5 Bewertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Belastungsversuche im IKT können wie folgt zusammengefasst werden:

- BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil können mit der vorhandenen Pyrolus-Setztechnik von PKT in Einläufe der Grundstücksentwässerung invertiert werden.
- Für die vorhanden Pyrolus-Setztechnik stellt die Länge des Gummihutzylinders von 40 cm einen Maximalwert dar. Eine Vergrößerung der Länge kann nur durch eine Anpassung der Setztechnik an die größeren Kräfte beim gemeinsamen Einziehen in das Setzgerät und beim Invertieren in die Einläufe realisiert werden.
- Im Laufe der Versuche wurde die zusätzliche Schalungsfunktion des Gummihutprofils als positiver Nebeneffekt des Systems erkannt.
- Diese Zusatzfunktion verhindert in der Praxis, dass während des Inversionsvorganges und während der anschließenden Aushärtung Harz aus dem BRAWOLINER®-Hutprofil in das umgebende Erdreich auslaufen kann.
- Bei anstehenden Grundwasser verhindert die Schalungsfunktion zudem ein Auswaschen des Harzes, sodass auf eine Vorabdichtung mit Schnellbindesystemen entfallen kann.
- Eine Schwächung der Wandstärke aus Harz im Ergebnis der Sanierung kann so verhindert werden.
- Als Schwachstelle des Gesamtsystems BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil im Bezug auf die Dichtheit erwies sich die Verklebung des BRAWOLINER®-Hutprofilharzes mit den simulierten Einläufen aus Steinzeug.
- Als Ursache dafür wurde bei den Versuchen die glatte Oberfläche der Steinzeugrohre gesehen.
- In der Praxis ist allerdings die Oberfläche der Steinzeugeinläufe nach der Reinigung mit Satellitensystemen ebenfalls glatt bzw. es haften noch Verschmutzungen und Inkrustationen an. Ohne ein mechanisches Anrauen der Oberfläche ist eine sichere Verklebung und damit eine ausreichende Dichtwirkung nicht zu erreichen.
- Die festgestellte Schwachstelle erweist sich somit als Mangel aller Hut-sanierungsverfahren auf Harzbasis.
- Aus dieser Tatsache wird zur Verfahrensverbesserung grundsätzlich abgeleitet, dass auch in den Einläufen eine mechanische Vorbereitung der späteren Klebeflächen durchzuführen ist.
- Für den Bereich der Hutkrempe im Beton-Hauptkanal zeigte sich eine bessere Haftung und Dichtwirkung. Im Anschluss an die Sanierung wurde durch fünf von sechs Kremen eine eindeutige Abdichtung erzielt. Beim sechsten Stutzen mit angerissenem EPDM-Profil trat Wasser der Nähe des Anschlusses aus. Inwieweit das Wasser nur aus dem Bereich der fehlenden Gummi-Überdeckung oder auch aus dem Kremenbereich stammte, war nicht eindeutig erkennbar.
- Die dynamischen Belastungen erzeugten keine optisch erkennbaren Schäden. Auch die Dichtheitsprüfung zeigte positive Ergebnisse, nach der Belastung trat an lediglich einem Stutzen eine Undichtigkeit auf, die im Vorfeld der Belastung nicht festgestellt worden war.

- Die Hochdruckspülungen führten an allen Hutkremen zu Schäden. Im dem durch die Spüldüse am stärksten belasteten Sohlbereich wurden die Kremen teils von der Betonoberfläche gelöst, sodass Hinterläufigkeiten und somit Undichtigkeiten entstanden. Möglicherweise wurde durch die extreme Vorbelastung durch die 186.000 Abwinkelungen bereits eine Vorschädigung der Hutkremen verursacht. Allerdings zeigten auch bei den Vorversuchen zwei von fünf sanierten Einläufen Schäden und Hinterläufigkeiten der Kremen durch die Hochdruckreinigung. Auch beim IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Anschlussstutzen“ [13] entstanden durch Hochdruckspülungen bei zahlreichen Hutprofilen Schäden an den Kremen.
- Die Simulation von eintretendem Grundwasser zeigte keine negativen Beeinträchtigungen der Sanierung. Durch das außen liegende Gummiprofil wurde das Harz vor dem Wasser geschützt und Abspülungen vorgebeugt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein zusätzliches Gummihutprofil unterstützend auf die Dichtwirkung eines herkömmlichen Nadelfilz-Hutprofils wirken kann. Durch seine Schalungsfunktion kann Harzverlusten und daraus folgenden Undichtigkeiten im Nadelfilz-Profil vorgebeugt werden, die beispielsweise bei Hohlräumen im Erdreich oder bei eindringendem Grundwasser entstehen können. Darüber hinaus kann das Gummi-Hutprofil die Abdichtungsfunktion übernehmen, wenn im Nadelfilz-Hutprofil Schwachstellen oder Schäden auftreten. Voraussetzung dafür ist, dass das Nadelfilz-Hutprofil sowohl im Bereich der Hutkrempe als auch im Bereich des Hutzyinders das Gummi ausreichend überdeckt und einen dauerhaft haftenden, abdichtenden Übergang zum Altrohr schafft.

Die Versuche bestätigten, dass das Gesamtsystem BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil widerstandsfähig gegenüber Beanspruchungen aus Verkehrslasten bei geringer Überdeckungshöhe ist. Allerdings zeigten die Versuche auch, dass hinsichtlich der Haftung des Hutzyinders auf glasierten Steinzeugoberflächen ein Verbesserungspotenzial besteht. Fehlt an dieser Stelle ein ausreichender Verbund, kann Fremdwasser über Hinterläufigkeiten in den Kanal gelangen bzw. Abwasser austreten. Des Weiteren besteht das Risiko, bei Hochdruckspülungen Schäden an der Hutkrempe zu verursachen, wenn eine ungünstige Lage der Hutkrempe in der Rohrsohle eine gute Angriffsfläche für die Spüldüse bietet. Um die Spülsicherheit der Hutprofile weiter zu erhöhen könnte die Haftung der Krempe im Hauptrohr verbessert werden, alternativ sind reduzierte Spüldrücke und Spülwassermengen denkbar.

1.12 Einordnung der Projektergebnisse im Vergleich zum IKT Warentest „Reparaturverfahren für Anschlussstutzen“

1.12.1 Randbedingungen

Um die Ergebnisse des IKT-Warentests mit denen der Projektuntersuchungen vergleichen zu können, müssen zunächst die Untersuchungsbedingungen gegenübergestellt werden. Die Tabelle 15 listet die Bedingungen für Versuchsdurchführung auf.

Im IKT-Warentest wurden „Standard“- und „Extremschäden“ definiert, die mit den unterschiedlichen Verfahren saniert wurden. Als Standardschaden wurde für die Hutprofil-Sanierungen ein nicht fachgerecht ausgeführter Anschlussstutzen festgelegt, der in der Praxis durch Einschlagen des Hauptrohres und Einschleiben der Anschlussleitung entstanden sein könnte. Um vergleichbare Randbedingungen in den Versuchsstrecken zu schaffen, wurde ein unregelmäßiger Ausbruch mit Hilfe einer Schablone in das Hauptrohr (Steinzeug DN 250) geschnitten (vgl. Abb. 144 und Abb. 145.). Die Anschlussleitung, Steinzeug DN 150, wurde in einem 90° Winkel vor

dem Hauptkanal platziert. Beim Extremschaden wurde zunächst ein sachgemäßes Bohrloch in einem GFK-Hauptrohr DN 500 erstellt. Für die Anschlussleitung wurde ein Steinzeugrohr DN 150 schräg angeschnitten, im Kämpfer mit einem Riss versehen und in einem 45°-Winkel mit einem Versatz von ca. 2 cm nach unten vor dem GFK-Rohr fixiert (vgl. Abb. 146 und Abb. 147).



Abb. 144: Standardschaden für Hutprofilverfahren, Außenansicht vor dem Einbau [13]



Abb. 145: Standardschaden für Hutprofilverfahren, Innenansicht nach Überdeckung [13]



Abb. 146: Extremschaden für Hutprofilverfahren, Außenansicht vor Einbau [13]

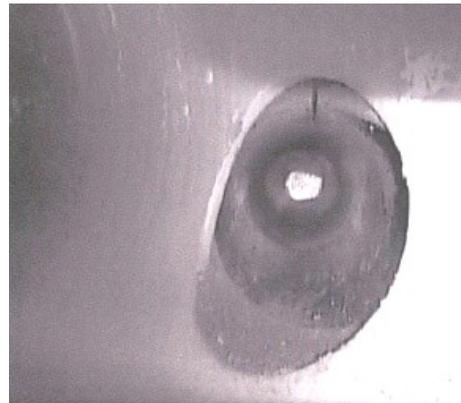


Abb. 147: Extremschaden für Hutprofilverfahren, Innenansicht nach Überdeckung [13]

Im Projekt Flexofit wurden Bohrungen (Durchmesser 160 mm) in Beton-Hauptrohren DN 300 hergestellt. Die Steinzeug-Anschlusskanäle DN 150 wurden in 90°- und im 45°-Winkeln vor dem Betonrohren platziert.

Auch die Prüfprogramme vom IKT-Warentest und dem Projekt Flexofit weisen unterschiedliche Randbedingungen auf (vgl. Tabelle 15). Die Versuchsrandbedingungen im Projekt Flexofit wurden speziell auf die örtlichen Gegebenheiten in Rietberg abgestimmt. Da die Produktentwicklung auf einen dauerhaft flexiblen Reparaturstutzen für Einläufe der Grundstücksentwässerung abgezielt war, stand die Simulation von Verkehrslasten im Vordergrund.

Aufgrund der Unterschiede bei der Simulation der Schadensarten als auch bei den Belastungen können die beiden Untersuchungen nur bedingt miteinander verglichen werden.

Tabelle 15: Vergleich der Randbedingungen der Untersuchungen

	Warentest	Untersuchungen Flexofit
Rohrwerkstoffe	Standardschaden: HK: Steinzeug DN 250 AK: Steinzeug DN 150 Extremschaden: HK: GFK DN 500 AK: Steinzeug DN 150	HK: Beton DN 300 AK: Steinzeug DN 150
Einbau in Versuchsstrecke	Bettung in nichtbindigem, grobkörnigen Sand/Kies-Boden, Körnung 0/8	Einbau in einen Container ohne Bettung, Auflagerung und Fixierung der Steinzeugrohre
Simulierte Schadensarten	Standardschaden: Beschädigtes Bohrloch; im 90°-Winkel angelegter AK Extremschaden: Fachgerechtes Bohrloch; im 45°-Winkel angelegter AK mit Versatz	Schadensbild 1: Fachgerechtes Bohrloch; im 90°-Winkel angelegter AK Schadensbild 2: Fachgerechtes Bohrloch, im 45-Winkel angelegter AK
Dynam. Belastungsversuche	—	Simulation von Verkehrslasten entsprechend eines Zeitraums von 30 Jahren durch 186.000 Abwinklungen des BRAWO-LINER®-Hutprofils mit Gummihutprofil aus Nulllage um ca. 1-2 mm im Abstand von 100 mm vom HK
Stat. Belastungsversuche	Aufbringen von Scherlasten durch Gewichte (150 und 500 kg im Abstand von 20-30 cm von HK)	—
HD-Spülung	Düsendruck: 115 bar Düsenstrahlwinkel: 30° Anz. Düsensätze: 8 Durchmesser der Einsätze: - Anz. Durchläufe: 50 Geschw./Durchg.: 1,0 m/s Spülwasserm.: ca. 320 l/min Prüfgeschiebe: 5 l Kalkstein-Edelsplitt je Durchgang	Düsendruck: 120 bar Düsenstrahlwinkel: 30° Anz. Düsensätze: 8 Durchm. der Einsätze: 2,4 mm Anz. Durchläufe: 30 Geschw./Durchg.: 1,0 m/s Spülwasserm.: ca. 320 l/min Prüfgeschiebe: 5 l Kalkstein-Edelsplitt je Durchgang

1.12.2 Ergebnisse

Die im IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Anschlussstutzen“ aus dem Jahr 2004 [13] untersuchten Hutprofile zeigten Schwächen in der Dichtfunktion. Je nach Schadensbild waren hier bei der Innenwasserdruckprüfung ca. 70% bis 100% der Hutprofile bereits nach der Sanierung undicht.

Die Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen bei den Projektuntersuchungen zeigen ähnliche Tendenzen.

Als Schwachstelle sowohl im Warentest als auch bei Flexofit konnten Umläufigkeiten der in den Steinzeug-Anschlusskanal einragenden Hutzylinder festgestellt werden. Offensichtlich war zwischen dem jeweiligen Hutzylinderteil und dem Steinzeugrohr aufgrund der Glasur keine ausreichende Verklebung entstanden.

Es kann somit von einem **systembedingten Schwachpunkt** aller Hutprofil-sanierungsverfahren gesprochen werden.

Die mit Flexofit initiierte Entwicklung hin zu einem dauerhaft flexiblen Reparaturstutzen setzte die grundsätzliche Gewährleistung der Systemdichtheit nach der Installation und im Normalbetrieb voraus, d. h. eine Verklebung zwischen den BRAWOLINER®-Hutprofil und dem Steinzeug ist durch das verwendete Harz grundsätzlich möglich und führt zu einer dauerhaften Abdichtung. Das Projektziel bestand durch die Verwendung eines zusätzlichen Gummihutprofils darin, die Dichtfunktion des Gesamtsystems im Falle des Versagens der Harzmatrix in Folge von Verkehrslasten zu gewährleisten.

Im Projekt wurde bei den weiteren Untersuchungen durch das Entfernen der Steinzeugrohre diese Systemschwachstelle zunächst nicht in die Betrachtungen einbezogen. Die im Anschluss zum Nachweis der Widerstandsfähigkeit gegenüber typischen Belastungen in Rietberg durch die Simulation einer dreißigjährigen Verkehrsbelastung durchgeführten Untersuchungen zeigen die Wirksamkeit des dauerhaft flexiblen Reparaturstutzens Flexofit. Die Projektzielstellung wurde erreicht.

Die Ergebnisse zeigen allerdings einen dringenden Handlungsbedarf hinsichtlich der Beseitigung der erkannten Systemschwäche auf. Bei der zukünftigen Verwendung von Hutprofilen bei der Sanierung von Einläufen der Grundstücksentwässerung sollte neben eines ausreichend langen in den Einlauf einragenden Hutteils unbedingt eine mechanische Vorbereitung der Steinzeugoberfläche in den Einlaufrohren im Bereich der Verklebung obligatorisch werden.

Um die Wirksamkeit von Sanierungen im Hutprofilverfahren überprüfen zu können bedarf es zudem dringend der Entwicklung geeigneter Prüftechnik. Heutige am Markt vorhandene Prüfsysteme sind für die besondere Situation im Einlaufbereich nicht geeignet und können zu falschen Ergebnissen führen.

1.13 Praxistest des dauerelastischen Gummihutprofils in Rietberg

1.13.1 Flexofit-Gummihutprofil und Pyrolus-Setzverfahren

Im Anschluss an die Belastungsuntersuchungen im IKT, bei denen die Versuchsbedingungen möglichst realitätsnah nachgebildet wurden, erfolgte ein erster Praxistest im Abwassernetz der Stadt Rietberg.

Im Zeitraum vom 09.06. bis 06.08.2008 wurden durch die Fa. PKT - Pader Kanal Technik - Rohr frei GmbH & Co. KG im Stadtgebiet von Rietberg 51 Einläufe mit dem neuen System bestehend aus BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil mit dem

von PKT entwickelten Pyrolus-Setzverfahren saniert. Die Bauleitung oblag der am Projekt beteiligten Fa. Dr. Papadakis GmbH.

Die im folgenden beschriebenen Ergebnisse sind in Teilen dem Sanierungsbericht der Fa. Dr. Papadakis GmbH entnommen.

Ausführung:

Bei der Ausführung der Sanierungsarbeiten traten verschiedene Schwierigkeiten auf, die bei den bisherigen Untersuchungen nicht beobachtet werden konnten. Mit dem Gesamtsystem BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil sowie dem Pyrolus-Setzverfahren stehen folgende Probleme im Zusammenhang:

Nr.	Problem	Lösung
1	<p>Bei der Sanierung der Anschlüsse ergaben sich verstärkt Probleme mit dem Einbringen der Pyrolus-Setztechnik in die Haltung, besonders bei Dimensionen < DN 300.</p> <p>Ursache: Im Regenwassersystem liegen die Haltungen in Rietberg relativ flach. Daher sind die Schächte auch nicht sehr tief.</p> <p>Aufgrund der Länge der Pyrolus-Setztechnik war zum Einführen in den Kanal nicht genug Platz im Schacht.</p> <p>Kam zu dieser Situation im Schacht noch im Bogen ausgebildetes Gerinne hinzu, war der Einbau überhaupt nicht mehr möglich.</p>	<p>PKT versuchte, die Pyrolus-Setztechnik in die jeweilige Haltung zu einzusetzen.</p> <p>Teilweise wurde dazu das System zerlegt und im Schacht wieder zusammgebaut.</p>
2	<p>Die Zugänglichkeit einiger Schächte war für die Sanierungseinheit nicht gegeben (Laurentiusstraße). Diese Schächte waren seitens der Kanalbau-firma so aufgebaut, dass im Schachtkonus mehrere Schachtringe treppenförmig übereinander gelegt wurden. Daher ist es kaum möglich, den Schacht zu begehen, also auch nicht, die Sanierungseinheit einzubringen.</p>	<p>Haltungen mit diesen Schächten wurden aus der Sanierung ausgeschlossen. Hierfür wurden seitens der BL neue Haltungen vorgegeben.</p>

Beurteilung der Sanierungsqualität

Nach Einbau von 51 Hutstutzen im Stadtteil Westerwiehe und nach Sichtung der Einbauvideos kann eingeschätzt werden, dass die mit dem dauerhaft flexiblen Reparaturstutzen für Einläufe der Grundstücksentwässerung sanierten Einläufe optisch von guter Qualität aufweisen. Vereinzelt wurden Falten beobachtet, die jedoch nicht als Abflusshindernis zu bewerten ist.

Gegenüberstellung des Zustandes der Einläufe vor und nach der Sanierung



Abb. 148: Einlauf in der Kupferstraße vor der Sanierung



Abb. 149: Einlauf in der Kupferstraße nach der Sanierung



Abb. 150: Einlauf in der Laurentiusstraße vor der Sanierung



Abb. 151: Einlauf in der Laurentiusstraße nach der Sanierung

1.13.2 Flexofit-Gummihutprofil und HM-Kanaltechnik

Im Zeitraum vom 07.10.2008 bis 17.10.2008 wurden durch die Fa. HM Kanaltechnik aus Feldkirchen bei München im Stadtgebiet von Rietberg 49 Einläufe mit dem neuen System bestehend aus BRAWOLINER®-Hutprofil und Gummihutprofil mit der Setztechnik von HM Kanaltechnik eingebaut. Die Bauleitung oblag der am Projekt beteiligten Fa. Dr. Papadakis GmbH.

Die Setztechnik der Fa. HM Kanaltechnik war zuvor im IKT hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Eignung als alternative Methode zur Installation des zusätzlichen Gummihutprofils Flexofit erfolgreich untersucht worden.

Ausführung:

Bei der Ausführung der Sanierungsarbeiten durch die Firma HM-Kanaltechnik traten keine Schwierigkeiten auf. Die Sanierung wurde wie geplant innerhalb von 2 Wochen abgeschlossen. Es konnten, bis auf einen Stutzen, alle vorgegebenen Stutzen mit Flexofit saniert werden. Dieser eine Stutzen (Agathastraße, Haltung 57411081-57411090, Pos. 18,20m) hatte als Anschlussdurchmesser DN 100, daher konnte kein Sidelineer, und somit auch kein Flexofit, eingebracht werden. Der Übergangsbereich vom Hauptkanal in den Anschluss wurde jedoch saniert.

Beurteilung der Sanierungsqualität

Nach Sichtung der 49 eingebauten Hutstutzen im Stadtteil Bokel anhand der Videoaufzeichnungen kann der Sanierung mit Flexofit im Setzverfahren Mon Hm Kanaltechnik optisch eine sehr guter Qualität bescheinigt werden. Faltenbildung sowohl im Bereich der Krempe als auch im Einlauf selbst ist nicht oder nur in sehr geringem Maße ersichtlich. Die Liner liegen im Hauptkanal und in den Anschlussleitungen glatt am Altrrohr an und bilden keine Durchflusshindernisse (s. Abb. 152 bis Abb. 155). Zur Dichtigkeit kann man aufgrund der Videosichtung keine Aussage machen. Daher ist es ratsam, stichprobenhafte Dichtheitsprüfungen vorzunehmen.

Im Zuge der Stutzensanierung sollten Transponderchips in den Kragenbereich des Hutprofils eingesetzt werden. Aufgrund Lieferschwierigkeiten konnten allerdings in 20 Stutzen keine Transponder eingesetzt werden. Diese sind in beigefügter Tabelle dokumentiert.

Agathastraße, Bokel

Haltung 56412049 - 56412042; Position 10,00 m



Abb. 152: Einlauf in der Agaathastraße vor der Sanierung

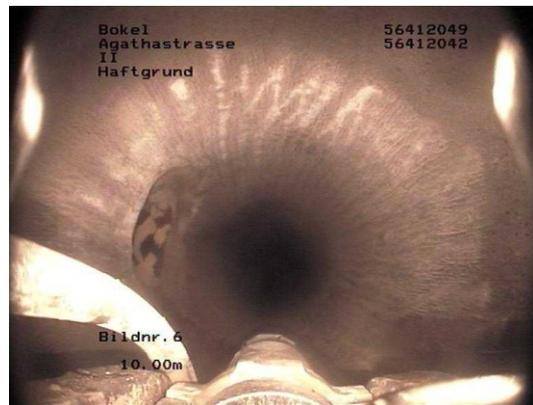


Abb. 153: Einlauf in der Agaathastraße nach dem Auftragen von Haftgrund



Abb. 154: Einlauf in der Agaathastraße nach der Sanierung



Abb. 155: Einlauf in der Agaathastraße, Blick in den sanierten Einlauf

2 Teiluntersuchung: Interaktion Kanal und Fahrbahn

Neben der Entwicklung eines dauerhaft flexiblen Reparaturstutzens für Einläufe der Grundstücksentwässerung wurden die Folgen von undichten Anschlussbereichen auf die liegenden Abwasserleitungssysteme, die Bettungszone bis hin zur Straßendecke untersucht.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen, die im Rahmen des Projektes durch die ConVia Ingenieurgesellschaft, Sachverständige für Verkehrswegebau ausgeführt wurden, liegen diesem Statusbericht als Anlage bei.

3 Literaturverzeichnis

- [1] Berger, CH., Lohaus, J.: Zustand der Kanalisation in Deutschland – Ergebnisse der DWA-Umfrage 2004, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- [2] Rehling, R.: Konzept zur Untersuchung und Sanierung der privaten Hausanschluss- und Abwasserleitungen in Schwerte, 6. Kölner Kanalkolloquium
- [3] Thoma, R.: Instandhaltung von Grundstücksentwässerungsleitungen, KA-Abwasser, Abfall, Nr. 6, 2005 (52), S.725-730
- [4] DIN 1986-003: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke, Teil 30: Instandhaltung, Beuth Verlag Berlin, 2003
- [5] Winkler, Ulrich: Gelungener Systemwechsel in der Grundstücksentwässerung, bi UmweltBau, 1/08
- [6] Schlüter, M., Bosseler, B.: Hausanschlüsse sanieren, wwt awt 6/2003
- [7] Verfahren zur Inspektion, Dichtheitsprüfung und grabenlosen Schadensbehebung in Anschlusskanälen und Grundleitungen, GSTT Informationen Nr. 7, 2. Auflage, April 2001
- [8] Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitung von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem - Selbstüberwachungsverordnung - SüwV Kann, Gesetz und Verordnungsblatt für das Land NRW, Nr. 49, S. 64 – 67, Düsseldorf 1995
- [9] Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen, RdErl. des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft vom 03.01.1995, Ministerialblatt für das Land NRW, Nr. 14, S. 251 -253, Düsseldorf 1995
- [10] Bossler, B., Birkner, Th., Sokoll, O., Brüggemann, Th.: Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) bei den kommunalen Netzbetreibern und Wasserverbänden in NRW, Endbericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW, Gelsenkirchen, Dez. 2003
- [11] <http://www.insituform.de>
- [12] <http://www.ka-te.ch>
- [13] Bosseler, B., Kaltenhäuser, G.: IKT Warentest – Reparaturverfahren für Hausanschlussstutzen – Endbericht, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH, Gelsenkirchen, Juni 2004

- [14] Harting, K.: Voruntersuchungen "Rietberger Stutzen", IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH, Gelsenkirchen, Dezember 2007
- [15] Harting, K.: Laborversuche am Prototyp des Flexofit - Versuchsprogramm und Ergebnisse, Teilbericht zum Forschungsvorhaben „Dauerhaft flexibler Reparaturstutzen für Einläufe der Grundstücksentwässerung“, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH, Gelsenkirchen, Oktober 2008
- [16] Förster, Marc-Oliver. Berechnungen zu den Belastungsuntersuchungen am IKT“, ConVia Ingenieurgesellschaft, Hannover, 2008
- [17] DIN EN ISO 178: Kunststoffe – Bestimmung der Biegeeigenschaften (ISO 178:2001 + Amd. 1:2004); Deutsche Fassung EN ISO 178:2003 + A1:2005)
- [18] DIN EN 13566-4: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauchlining, April 2003
- [19] DIN EN ISO 527: Bestimmung von Zugeigenschaften; Teil 4: Prüfbedingungen für isotrop und anisotrop faserverstärkte Kunststoffverbundwerkstoffe, Deutsche Fassung Juli 1997