Institut für

unterirdische Infrastruktur

Endbericht zum Forschungsvorhaben

Untersuchung der Qualität ausgeführter Kanalsanierungen

- am Beispiel der Schlauchverfahren -

WISSENSCHAFTLICHE LEITUNG

Dr.-Ing. B. Bosseler

PROJEKTLEITUNG UND BEARBEITUNG

Dipl.-Ing. M. Schlüter

cand.-Ing. P. Meyer

Auftragnehmer:

Institut für unterirdische Infrastruktur
(vormals Institut für Kanalisationstechnik)
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

Auftraggeber:

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

Gelsenkirchen, März 2001

1 VERANLASSUNG UND ZIELSTELLUNG 1

2 STAND DER TECHNIK 2

2.1 Systematik, Allgemeine Begriffe 2

2.2 Darstellung der Schlauchverfahren 3

3 DARSTELLUNG DES FORSCHUNGSPROJEKTES 11

3.1 Einrichten eines Fachbeirates 11

3.2 Bestandsaufnahme des vorhandenen Datenmaterials 11

3.2.1 Auswahl geeigneter Sanierungsbaustellen 11

3.2.2 Aufbereitung und Auswertung des vorhandenen Datenmaterials 12

3.2.3 Ortstermin zur Beurteilung der Sanierungsbaustellen 14

3.3 Bauliche und umweltrelevante Untersuchungen 14

3.3.1 Qualitative Zustandserfassung durch optische Inneninspektion 14

3.3.2 Quantitative Zustandserfassung 20

3.3.3 Umweltrelevante Untersuchungen durch Dichtheitsprüfungen mit Luft 25

3.3.3.1 Abschnittsweise Dichtheitsprüfung mit Luft 25

3.3.3.2 Prüfung der seitlichen Anschlüsse 28

3.4 Weitergehende Untersuchungen an in situ entnommenen Probenkörpern 29

3.4.1 Entnahme sanierter Leitungsabschnitte in offener Bauweise 29

3.4.2 System- und Werkstoffprüfungen an entnommenen Rohrabschnitten 30

3.4.2.1 Beschreibung der Werkstoffprüfungen 31

3.4.2.1.1 Dichte, Wandaufbau und -dicke des Schlauchliners 31

3.4.2.1.2 Biegezugfestigkeit und Biege-E-Modul in Rohrumfangsrichtung des Schlauchliners 31

3.4.2.1.3 Schlagzähigkeit des Schlauchliners 31

3.4.2.1.4 Dichtheitsprüfung der Linerwand nach Entfernen der Innenfolie 31

3.4.2.1.5 Kurzzeit-Scheiteldruckversuche an Rohrabschnitten 32

©2001 All rights reserved by GEK mbH

3.4.2.2 Ergebnisse Gladbeck, Mittelstraße, Glasfaser DN 400, Flexolining, Betowa, UV-Licht, Glasfaser ECR Polyesterharz 34

3.4.2.3 Ergebnisse Stadt Mönchengladbach, Karmannstr., Nadelfilz DN 300, Insituform Brochier, Nadelfilz mit Polyesterharz, 1995 36

3.4.2.4 Ergebnisse Stadt Münster, Am Getterbach, Glasfaser DN 300, Inpipe, Teerbau, UV-Licht Härtung, Glasfaser mit Polyesterharz, 1989 38

3.5 Auswertung der Ergebnisse 40

3.5.1 Auswertung der baulichen und umweltrelevanten Untersuchungen 40

3.5.2 Auswertung der Werkstoffprüfungen 46

3.6 Darstellung aller verfügbaren Daten in einer Datenbank 55

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN/ZUSAMMENFASSUNG 56

5 LITERATUR 60

6 ANHANG 63

©2001 All rights reserved by GEK mbH

1 Veranlassung und Zielstellung

Das Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalens hat mit Werkvertrag (Aktz. IV B6 – 042 338) vom 06.06.2000 das Institut für Kanalisationstechnik mit dem Forschungsvorhaben „Untersuchung der Qualität ausgeführter Kanalsanierungen –am Beispiel der Schlauchverfahren-“ beauftragt. Der vorliegende Zwischenbericht stellt die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes zusammen.

Bislang waren Kontrollen des Sanierungserfolges nur auf Einzelfälle beschränkt, die statistisch nicht ausgewertet und nicht systematisch einer Analyse zur Bewertung von Sanierungsverfahren unterzogen wurden. Daher gibt es bis heute keinerlei statistisch abgesicherte Daten, die eine Abschätzung der Nutzungsdauer ermöglichen.

Für den Planer von Sanierungsmaßnahmen besteht deshalb immer noch eine große Unsicherheit bei der Auswahl des geeigneten Sanierungsverfahrens und bei der Ermittlung der Abschreibungssätze für eine Sanierungsmaßnahme aufgrund mangelnder bzw. nicht dokumentierter Erfahrungen aus der praktischen Anwendung.

Ein Beispiel für die diesbezüglich bestehenden Unsicherheiten wird bei einem Vergleich der unterschiedlichen Auflagen der GSTT Informationen Nr. 1 [1] „Grabenlose Verfahren der Schadensbehebung in nicht begehbaren Abwasserleitungen“ deutlich. Hier hat man in der 3. Auflage von 1998 im Gegensatz zu der 1. Auflage von 1995 die Angabe der geschätzten Lebensdauer für alle aufgeführten Sanierungsverfahren nicht mehr aufgeführt.

Nach DIN EN 752-5 [6] muß der Sollzustand eines Bauteils, eines Kanalisationsabschnittes, einer Haltung, eines Netzbereiches oder Entwässerungssystems nach erfolgter Sanierung mindestens den gleichen Anforderungen genügen, die für eine neu herzustellende Kanalisation gelten. Dies trifft selbstverständlich auch auf die dabei eingesetzten Werkstoffe und Bauteile zu [2]. Dieser Forderung wird heute in der Regel durch die Abnahmeprüfung nach Beendigung von Sanierungsarbeiten in Form einer optischen Inspektion und durch Laboruntersuchungen an Baustellenproben, die während der Bauausführung entnommen werden, Rechnung getragen. Da die genannten Maßnahmen unmittelbar nach Fertigstellung der Sanierung und vor Inbetriebnahme der sanierten Haltung durchgeführt werden, berücksichtigen sie die be-

©2001 All rights reserved by GEK mbH

sonderen Bedingungen der Kanalatmosphäre, die sich aufgrund der ständigen Abwasserableitung einstellt, nur sehr unzureichend oder überhaupt nicht. Dies hat zur Folge, daß die Eignung eines Schlauchverfahrens, insbesondere im Hinblick auf die geforderte Nutzungsdauer, mit den genannten Prüfungen nicht eingeschätzt werden kann.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, erstmalig eine detaillierte Zustandserfassung von bestehenden und in Betrieb befindlichen Haltungen, die mit Schlauchverfahren saniert wurden, durchzuführen. Hierzu wurde eine Schadensfeststellung und -bewertung mit Hilfe der optischen Inspektion und der Dichtheitsprüfung durchgeführt. Um für die Betreiber der Kanalisationen weitergehende Erkenntnisse gewinnen zu können, wurden darüber hinaus an ausgewählten Sanierungsmaßnahmen Werkstoffprüfungen und Prüfungen der statischen Tragfähigkeit durchgeführt. Da die überwiegende Mehrzahl der mit Schlauchverfahren ausgeführten Sanierungsmaßnahmen im nichtbegehbaren Nennweitenbereich zu finden sind, war hierfür der Ausbau ganzer, sanierter Rohrabschnitte von mindestens 2 m Länge erforderlich.

2 Stand der Technik

2.1 Systematik, Allgemeine Begriffe

Nach DIN EN 752-1 [3] versteht man unter Sanierung *alle Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen*. Bei schadhaften Kanälen oder Bauwerken der Ortsentwässerung, deren Funktionsfähigkeit im Sinne der DIN 31051 [4] nicht unbefristet unterbrochen werden kann, ist eine Sanierung unbedingt erforderlich, wenn

- der Abnutzungsvorrat soweit abgebaut ist, dass eine Schadensgrenze erreicht ist, ab der die Funktionsfähigkeit in Frage gestellt ist,
- durch innere oder äußere nicht geplante, zufällige Einwirkung eine Störung oder eine unbeabsichtigte Unterbrechung der Funktionsfähigkeit eintritt [5].

Nach erfolgter Sanierung muß der Sollzustand eines Bauteils, eines Kanalisationsabschnittes einer Haltung, eines Netzbereiches oder Entwässerungssystems mindestens den gleichen Anforderungen genügen, die für eine neu herzustellende Kanalisation gelten. Dies trifft selbstverständlich auch auf die dabei eingesetzten Werk-

©2001 All rights reserved by GEK mbH

stoffe und Bauteile und insbesondere auf deren zu erwartende Lebensdauer zu [6]. Für die Erarbeitung, Ausführung und Kontrolle der Sanierungsmaßnahmen gibt DIN EN 752-5 [6] mögliche Lösungsansätze vor, die hydraulische, umweltrelevante oder bauliche Aspekte betreffen und Verbesserungen in einem oder mehreren dieser Bereiche erzielen.

Für die baulichen Lösungen, auch bauliche Sanierung genannt, stehen zahlreiche Verfahren zur Verfügung, welche in die drei Hauptgruppen „Reparatur“, „Renovierung“ und „Erneuerung“ unterteilt werden können. Die größte Verfahrensvielfalt und den größten Marktanteil haben zweifelsohne die Verfahren der Renovierung und hier besonders die Auskleidungsverfahren, unter denen sich eine Vielzahl an Spezialverfahren finden.

Unter Renovierung versteht man nach DIN EN 752-5 [6] *Maßnahmen zur Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und -kanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz*.

Sie erstrecken sich immer auf mindestens eine Haltung und dienen zur Wiederherstellung oder Erhöhung des Widerstandsvermögens gegen physikalische, biologische, chemische und/oder biochemische Angriffe von innen, zur Verhinderung einer erneuten Bildung von Inkrustationen, zur Wiederherstellung und/oder Erhöhung der statischen Tragfähigkeit sowie der Wasserdichtheit. In allen Fällen muß der zu sanierende Kanal zumindest vorübergehend standfest sein und das Einbringen einer Auskleidung erlauben [7]. Da die Querschnittsabmessungen der zu sanierenden Haltung in der Regel reduziert werden, muß im Vorlauf einer Renovierungsmaßnahme gemäß DIN EN 752-5 [6] überprüft werden, ob die dadurch bedingte Verringerung der Abflußkapazität zulässig ist.

2.2 Darstellung der Schlauchverfahren

Die wohl am häufigsten ausgeführten und seit langem auf dem Markt etablierten Auskleidungsverfahren sind die sogenannten Schlauchverfahren, die seit fast dreißig Jahren eingesetzt werden [8]. Wie bei zahlreichen anderen Sanierungsverfahren wurde auch das Schlauchverfahren zunächst nur zur Sanierung von Gas- bzw. Wasserversorgungsleitungen verwendet, ehe es im Bereich der Abwasserableitung Anwendung fand.

©2001 All rights reserved by GEK mbH

ATV-M 143 Teil 3 [9] definiert die Schlauchverfahren bzw. das Schlauchrelining wie folgt: „Ein Schlauch aus Trägermaterial, der mit Folien beschichtet sein kann, wird mit Reaktionsharz getränkt und über einen Schacht mit Wasser- oder Luftdruck in den Kanal umgestülpt oder mit Hilfe einer Winde in den Kanal eingezogen. Die Aushärtung erfolgt bei Normaltemperatur, durch Wärmezufuhr oder UV-Licht unter Innendruck. Es entsteht ein muffenloser Inliner, der am bestehenden Kanal formschlüssig anliegen muß und mit diesem verbunden sein kann."

Beim Schlauchverfahren werden Harze, Träger- und Verstärkungsmaterialien sowie Zusatzstoffe entsprechend DIN 18820 [10] verwendet. Die Auswahl der Einzelkomponenten entscheidet über die Anfälligkeit zur Bildung von Falten, das aus dem Erhärten der Harze resultierende Schrumpfverhalten sowie die Festigkeitseigenschaften des Inliners [7].

Als Trägermaterial eignen sich Glas- und Polymer-Werkstoffe, die gefilzt, gewebt, gewirkt oder gestrickt sind und die mit Folien sowohl innen als auch außen beschichtet sein können. Bezüglich des Kriteriums der Faltenbildung ist Filz etwas anfälliger als Gewebe oder Gestricke. Bei der Konfektionierung des Inlinerschlauches ist zu berücksichtigen, daß die lichten Kanalabmessungen Toleranzen aufweisen, die durch die Dehnbarkeit des Gewebeschlauches in Umfangsrichtung kompensiert werden müssen [7].

Bei der Sanierung mit Schlauchverfahren kamen in den vergangenen ca. 30 Jahren die unterschiedlichsten Verfahren zur Anwendung, von denen eine Vielzahl heute nicht mehr auf dem Markt verfügbar sind. Dennoch ist die Anzahl der zur Zeit auf dem Markt befindlichen Verfahren immer noch sehr groß. In Abhängigkeit von der Art der Einbringung des Inlinerschlauches in die zu sanierende Haltung werden die heute häufig eingesetzten Verfahren nachfolgend gemäß [7] aufgeführt:

– **Einbringen durch Inversion (Umstülpen):**
  - Insituform-Verfahren
  - Paltem-PAL-Verfahren
  - Phoenix-Verfahren
  - Inpipe-Verfahren
  - Konudur Thermo-Liner

©2001 All rights reserved by GEK mbH

– **Einbringen durch Einziehen:**

- KM-Inliner-Verfahren
- Copeflex-Verfahren
- Softlining-Verfahren
- Berolina-Liner
- Paltem S-Z-Verfahren
- Multiliner
- Konudur Thermo-Liner.

Bezüglich der genannten Verfahren wird nicht der Anspruch auf Vollständigkeit erhoben, da hier die Entwicklungen noch nicht abgeschlossen sind. Die meisten der genannten Firmen bieten darüber hinaus Verfahrensvarianten zur Renovierung von Hausanschlussleitungen an. Beispielsweise ergänzt der Konudur Homeliner (DN 100 – 300) den Thermoliner (DN 300 – 800) im kleinen Nennweitenbereich. Für beide ist charakteristisch, dass das warmhärtende und lösemittelfreie Epoxidharz nahezu schrumpffrei mit dem Altrohr kraft- und formschlüssig verklebt (close-fit).

Eine detaillierte Beschreibung der Verfahrenstechnik für die unterschiedlichen Einbringverfahren wird nachfolgend anhand einiger ausgewählter Verfahren gemäß [7] dargestellt, wobei sowohl sogenannte „warmhärtende“ als auch „lichthärtende“ Verfahren berücksichtigt werden, da sich diese bezüglich der eingesetzten Materialien grundlegend unterscheiden.

Einbringen durch Inversion

Insituform-Verfahren

Das älteste Schlauchverfahren ist das 1971 in Großbritannien entwickelte und weltweit patentierte Insituform-Verfahren. Hierbei wird ein flexibler, mit Kunstharz getränkter Nadelfilzschlauch mit Wasserdruck im Inversionsverfahren (Umstülpverfahren) in die zu sanierende Haltung eingebracht [11]. Die Aushärtung des Harzes erfolgt unter Druck durch Aufheizen des bei der Inversion benutzten Wassers. Nach Herstellerangaben erstreckt sich der Anwendungsbereich auf Nennweiten von DN 100 bis 2600 bei Inversionslängen von 600 m und mehr [12]. Inversionslängen sind Strecken, die in einem Arbeitsgang saniert werden können (mindestens jedoch eine Haltung).

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Fertigung und Einbau des Inliners

Der zu invertierende Inlinerschlauch besteht aus Nadelfilz mit ca. 85 % Luftvolumen und 15 % Fasern mit einer mindestens 0,6 mm dicken luft- und wasserdichten Folienbeschichtung aus PU oder PE auf der Außenseite, die sich nach der Inversion auf der Innenseite des Inliners befindet. Bei der PE-Beschichtung wird der äußere Nahtbereich mit flüssigem PE vergossen, so daß eine nahtlose Innenlage entsteht.

Die Wanddicke des Inliners kann je nach statischen Erfordernissen in 1,5- oder 3 mm-Schritten von einer Mindestwanddicke von 4,5 mm bis > 48 mm aufgebaut werden, indem bereits bei der Herstellung ein Schlauch in den anderen hineingefertigt wird.

Die Auswahl des Harzes muß die im Kanalbetrieb zu erwartenden physikalischen, chemischen, biologischen und biochemischen Beanspruchungen berücksichtigen. Zur Zeit stehen mehrere Harze (Polyester-, Vinylester-, Bisphenol- und Epoxidharze) zur Auswahl, wobei im kommunalen Abwassersektor als Standardharz resistentes, ungesättigtes Polyesterharz auf der Basis Isophtalsäure/Neopenthylglykol gemäß DIN 16945 [13] und 16946 [14] Teil 2, Mindestanforderungen Typ 1130 (oder auch 1140) mit Formstoffeigenschaften gemäß DIN 18820 [10] verwendet wird.

Nach dem Tränken bzw. Imprägnieren des Inlinerschlauches mit dem Reaktionsharz unter Vakuum wird dieser in einem gekühlten Transportbehälter zur Baustelle transportiert, um ihn vor vorzeitiger Aushärtung zu schützen.

Vor dem Einbringen des Inlinerschlauches wird in den meisten europäischen Ländern grundsätzlich ein dünner Folienschlauch aus PE, auch Prelinerschlauch oder Preliner genannt, eingebaut. Dieser soll u.a. verhindern:

- Eindringen nicht ausgehärteten Harzes in Boden und/oder Grundwasser,
- unkontrollierte Eindringen von sog. „Überschußharz“ in Anschlussbereiche, was zu Problemen beim anschließenden Auffräsen führen kann,
- „Verseifen“ des noch nicht reagierten Harzes an der Schlauchaußenseite durch infiltrierendes Grundwasser bzw. verbliebene Spülwasserreste der HD-Reinigung.

Der mit Kunstharz getränkte Inlinerschlauch wird durch ein sog. Inversionsrohr geführt, welches im Schacht vor der zu sanierenden Haltung positioniert wird. Zuvor

©2001 All rights reserved by GEK mbH

wird der Schlauch am Inversionsrohr umgestülpt und befestigt, wobei seine Innenseite nach außen gelangt. Durch Füllen des Inversionsrohres mit kaltem Wasser wird bei beiden Varianten der Umstülpvorgang ausgelöst. Die Wassersäule wird durch kontinuierliches Nachfüllen auf einer vorberechneten Höhe konstant gehalten, um den Schlauch in der Haltung mit einer Inversionsgeschwindigkeit zwischen 2 und 4 m/min vorwärtszubewegen und einen entsprechenden Innendruck zu erzeugen, der ihn unter Ausnutzung seiner Dehnfähigkeit an die Innenwand des zu sanierenden Kanals anpreßt und eine ausreichende Verdichtung des Laminats gewährleistet.

Nach Erreichen des Zielschachtes wird unter Aufrechterhaltung des Wasserdruckes die Reaktion des Harzes durch Aufheizen des Inversionswassers eingeleitet (**Warmhärtung**). Hierfür wird das kalte Wasser im Sohlenbereich des Inversionsrohres abgepumpt, durch ein mobiles Heizaggregat erwärmt (je nach Harztyp bis auf ca. 80°C) und über den mitgeführten Heißwasserschlauch wieder zurückgeführt. Dieser Kreislauf wird bis zur Aushärtung aufrechterhalten. Anschließend verbleibt das Wasser bis zur Abkühlung auf mindestens 30° C in der Leitung.

Abschlußarbeiten und -prüfungen

Die Abschlußarbeiten umfassen die:

- Schachtanbindung
- Anpassung des Inliners an das Schachtgerinne
- Wiederherstellung der Einbindung von Anschlusskanälen.

Der Anschluss des Inliners an vorhandene Einsteigschächte (**Schachtanbindung**) erfolgt in der Regel durch kantenschützende, korrosionsfeste Stahlwinkel oder durch einen Kragen, z.B. aus GFK, der an der Stirnseite des einmündenden Kanals mit nichtrostenden Schrauben und Dübeln befestigt wird [15]. Der Kontaktbereich zwischen Inliner bzw. Preliner und Kanalinnenwand wird grundsätzlich mit Ringen aus dauerbeständigem Quellgummiband gegen Hinterläufigkeit abgedichtet.

Wiederherstellung der Einbindung von Anschlusskanälen

Im vorliegenden Anwendungsfall bietet sich die geschlossene Bauweise zur Einbindung von Anschlusskanälen besonders an, da der Einbindungsbereich von innen relativ leicht erkennbar ist. In diesem Bereich beult sich der Inliner nach außen etwas

©2001 All rights reserved by GEK mbH

aus, so daß die speziell entwickelten Bohr-, Schneid- und Fräsgeräte mittels einer Kanalfernsehkamera exakt positioniert werden können. Bei neueren Entwicklungen werden Position, Abmessung und Form der Einbindungsbereiche entweder mit einer TV-Kamera oder direkt mit einem kombinierten Meß- und Schneidgerät erfaßt und elektronisch gespeichert. Nach erfolgter Auskleidung des Kanals werden die Anschlusskanäle mit dem Schneidgerät anhand der gespeicherten Daten angefahren und geöffnet [16, 17].

Da der Inliner nicht in jedem Fall vollständig mit der Rohrwand verbunden ist, besteht im Übergangsbereich die Gefahr der Hinterläufigkeit und Korrosion des Altkanals. Bei manueller Ausführung kann diesem Problem durch Formteile und Auftragen von Kunststofflaminat begegnet werden.

In der Regel erfolgt heute die Wiederherstellung der Einbindung von Seitenzuläufen ≥ DN 100 im Rahmen der Auskleidung von Kanälen ≥ DN 200 mit örtlich hergestellten und erhärtenden Rohren mit Hilfe von hutförmigen Anschlussmanschetten, auch Hutmanschetten genannt. Als Hutprofil wird beim Insituform-Verfahren ein ca. 40-45 cm langer, epoxidharzgetränkter Filzschlauch mit Krempe verwendet. Der Einbau erfolgt mit Hilfe eines Spezialpackers unter Kamerabeobachtung. Dieser wird nach Positionierung an der Einbindungsstelle mit Wasserdruck aufgeweitet. Dabei wird gleichzeitig ein integrierter Seitenpacker mit dem Filzschlauch in den Anschlusskanal hineingestülpt. Durch den Innendruck wird das Hutprofil während der thermischen Aushärtung fest gegen den Inliner im bereits sanierten Kanal bzw. gegen die Rohrwandung gepreßt. Die Schlauchlänge von ca. 40-45 cm erlaubt es, die erste Muffenverbindung als kritischen Bereich in der Anschlussleitung zu überdecken [18].

Einbringen durch Einziehen

KM-Inliner-Verfahren

Das KM-Inliner-Verfahren wurde im Jahre 1985 von der Kanal-Müller-Gruppe [19] entwickelt und patentiert (Patent-Nr. 3513956). Das Verfahren wird in Freispiegelkanälen im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 1500 unabhängig von Werkstoff und Querschnittsform (Eiprofil ab 250/375) mit Einbaulängen bis 200 m eingesetzt [20].

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Nach Firmeninformationen besteht der Standard-Schlauchträger aus Polyester-Nadelfilz mit einem Porengehalt von ca. 80% und aus einer äußeren, ca. 0,5 mm dicken diffusionsdichten PE-Beschichtung. Bei Bedarf können zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Inlinerschlauches auch Glasfasern verwendet werden, da bei dessen Einziehen im Gegensatz zum Umstülpen keine Biegebeanspruchungen auftreten. Die o.g. Beschichtung übernimmt die Funktion eines Preliners, d.h. sie trennt den Inlinerschlauch von der Kanalwand (s.a. Insituform-Verfahren). Bei einlagiger Ausführung sind Wanddicken von 6 mm bis 21 mm möglich. Größere Wanddicken bis 30 mm erhält man durch mehrlagig gefertigte Schläuche. Zur Vermeidung von Falten wird der Inlinerschlauch im Werk so konfektioniert, daß der Umfang 2 bis 3% kleiner ist als der Innenumfang des zu sanierenden Kanals.

Der werkseitig getränkte und im Kühlwagen angelieferte Inlinerschlauch wird nach Abschluß der Vorarbeiten mittels einer Seilwinde über den geöffneten Einsteigschacht (Startschacht) in die zu sanierende und außer Betrieb gesetzte Kanalhaltung eingezogen. Nach dem druckfesten Abklemmen des Inlinerschlauches im Zielschacht erfolgt dessen Aufweiten und formschlüssiges Anpressen an die Kanalwandung mit einem 1 mm dicken Kalibrierschlauch, der durch Inversion mit Wasserdruck in Höhe von 0,6 bar eingebracht wird und dort verbleibt. Die Aushärtung des Harzes erfolgt unter Aufrechterhaltung des Druckes durch Erwärmung (Warmhärtung) des für den Inversionsvorgang eingeleiteten Kaltwassers auf ca. 80° C. Dabei erreicht der Inliner bei der Standardversion im Mittel einen E-Modul von 2800 N/mm² und eine Biegefestigkeit von 38 N/mm².

Der Schlauch besteht aus Polyester-Nadelfilz mit einer innenseitigen PE-Beschichtung. Durch sein Anpressen an den harzgetränkten Inlinerschauch wird ein intensiver Materialverbund erzeugt, so daß nach Aushärtung ein Vierlagenschlauch entsteht.

Bedingt durch die flüssigkeits- und gasdichte Einbettung des Harzes zwischen einer äußeren und einer inneren Schutzschicht kann während des Aufweitungsprozesses kein Harz in Anschlussbereiche oder durch Undichtigkeiten des Kanals in das umgebende Erdreich abfließen. Durch Kontaktvermeidung zwischen Harz und Wasser sowie Harz und Kanalwandung werden Kontaminierungen und mögliche Beeinträchtigungen der chemischen Reaktion ausgeschlossen. Darüber hinaus kann die kalku-

©2001 All rights reserved by GEK mbH

lierte Wanddicke nicht bei zu hohen Inversionsdrücken durch Abfließen des Harzes in Anschlusskanäle und Hohlräume reduziert werden.

Softlining-Verfahren

Der wesentliche Unterschied der Verfahrenstechnik beim *Softlining-Verfahren* im Vergleich zu den beiden zuvor beschriebenen Varianten besteht darin, daß die Aushärtung des Harzes duch Bestrahlung mit UVA-Lampen erfolgt und zum Anpressen des Schlauches an die Kanalwandung Druckluft eingesetzt wird. Die Erstanwendung des Softlining-Verfahrens erfolgte 1985. Es wird unabhängig vom Rohrwerkstoff bei Kreisquerschnitten im Nennweitenbereich DN 150 bis DN 1000 und Haltungslängen je nach Nennweite bis 200 m eingesetzt. Die Auskleidung von Eiquerschnitten ist möglich.

Als Trägermaterial dient ein konfektionierter Schlauch aus sich überlappenden und versetzten Bahnen aus Glas- und ggf. Synthesefasern, die durch innere und äußere Schutzfolien begrenzt sind. Die Überlappung der einzelnen Bahnen bietet den Vorteil, das Dehnvermögen des Mehrlagenschlauches gezielt auf > 10% einzustellen. Für Wanddicken unter 9 mm werden ausschließlich aus Glas bestehende Trägermaterialien eingesetzt. Durch diese Variationsmöglichkeiten kann der Schlauchaufbau in Abhängigkeit von der Beanspruchung den Nennsteifigkeiten SN 2500, SN 5000 und SN 10.000 N/mm² angepaßt werden [21].

Zur Tränkung bzw. Imprägnierung des Inlinerschlauches wird in der Regel ein lichthärtendes Polyesterharz (UP-Harz) auf Isophtalsäure-Basis mit Neopentylglycol (ISO-NPG) eingesetzt. Im Industriebereich mit hohen Abwassertemperaturen sollte es gegen ein Vinylesterharz ausgetauscht werden. Der werkseitig konfektionierte und auf speziellen, mit UVA-lichtdichten Planen ausgerüsteten Linerpaletten zur Baustelle transportierte Inlinerschlauch wird nach Abschluß aller Vorarbeiten und Einzug eines Preliners als Schutzmaßnahme mit Hilfe einer Seilwinde über den Einsteigschacht in den Sanierungsabschnitt eingezogen. In diesen Trägerschlauch wird im Inversionsverfahren mit Druckluft ein Kalibrierschlauch eingebracht, der ihn aufweitet und gegen die Kanalinnenwand preßt. Die Aushärtung des Harzes erfolgt unter Aufrechterhaltung des Druckes von ca. 0,5 bar durch UVA-Lampen. Die Aushärtungsgeschwindigkeit beträgt in Abhängigkeit der Wanddicke ca. 30 bis 50 m/h.

©2001 All rights reserved by GEK mbH

3 Darstellung des Forschungsprojektes

3.1 Einrichten eines Fachbeirates

Der Bezug zur Praxis wurde durch die Einrichtung eines Fachbeirates hergestellt, in dem die Sachverständigen der beteiligten Kommunen ihre Erfahrungen einbringen konnten. Der Fachbeirat wurde zu zwei projektbegleitenden Informationsveranstaltungen im Institut für Kanalisationstechnik eingeladen, um die weitere Ausrichtung des Projektes jeweils mit den Anforderungen dieser Praxisvertreter abzustimmen. Mitglieder des Fachbeirates wurden entsandt aus den Städten *Bochum, Dortmund, Duisburg, Gladbeck*, und *Münster* sowie vom Netzbetreiber *Niederrheinische Versorgung und Verkehr AG Mönchengladbach*.

3.2 Bestandsaufnahme des vorhandenen Datenmaterials

3.2.1 Auswahl geeigneter Sanierungsbaustellen

Innerhalb der Kanaldatenbanken der Netzbetreiber wurde nach geeigneten Baumaßnahmen recherchiert. Kriterien für die Auswahl von Baumaßnahmen waren u. a.:

- die Verfügbarkeit von Daten, die den hydraulischen, betrieblichen und baulichen Zustand des Kanals dokumentieren,
- die Verfügbarkeit von Dokumentationen und Prüfergebnissen der Eigen- und Fremdüberwachung der Sanierungsmaßnahme, wie z.B. Videodokumentation der Abnahmeprüfung und Ergebnisse von Werkstoffprüfungen an Materialproben,
- Vorliegen einer Statischen Berechnung,
- Betriebsdauer des sanierten Kanals nach Abschluß der Sanierungsmaßnahme,
- die Zugänglichkeit der sanierten Haltungen für die Durchführung der geplanten Untersuchungen bzw. für die Entnahme von sanierten Rohrabschnitten.

Nach den o.a. Kriterien wurden die in der Tabelle 1 dargestellten Sanierungsmaßnahmen ausgewählt:

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Tabelle 1: Untersuchte Haltungen

Stadt	Straße	DN	Schlauch-bezeichnung	Baufirma	Härtung	Sanierungs-datum
Stadt Bochum	Klinikstraße	400	Brandenburger	Scheiff	UV-Licht	1995
Stadt Bochum	Stockumer Straße I	300	Brandenburger	Scheiff	UV-Licht	1996
Stadt Bochum	Stockumer Straße II	300	Brandenburger	Scheiff	UV-Licht	1996
Stadt Dortmund	Uranusstraße I	500	KM-Inliner	KMG	Wasser	1995
Stadt Dortmund	Uranusstraße II	500	KM-Inliner	KMG	Wasser	1995
Stadt Dortmund	Grimmeweg	250	KM-Inliner	KMG	Wasser	1991
Stadt Dortmund	Hagener Straße	300	Phoenix	Preussag	Heißdampf	1994
Stadt Duisburg	Im Eggenkamp	350	Inpipe	Union Bau	Heißdampf	1998
Stadt Gladbeck	Mittelstraße	400	Flexo-Lining	Betowa	UV-Licht	1997
Stadt Gladbeck	Unverhofft I	400	Inpipe	Teerbau	UV-Licht	1998
Stadt Gladbeck	Unverhofft II	400	Inpipe	Teerbau	UV-Licht	1998
Stadt Mönchengladbach	Karmannstraße	300	Insituform	Insituform-Brochier	Wasser	1995
Stadt Mönchengladbach	Viktoriastraße	300	Insituform	Insituform	Wasser	1996
Stadt Münster	Am Getterbach	300	Inpipe	Teerbau	UV-Licht	1989
Stadt Münster	Hoher Heckenweg	450	KM-Inliner	KMG	Wasser	1991

* Stadt Münster, Hoher Heckenweg ist ein Eiprofil DN 450/300

3.2.2 Aufbereitung und Auswertung des vorhandenen Datenmaterials

Alle von den Netzbetreibern zur Verfügung gestellten Daten hinsichtlich Betriebs- und Randbedingungen wurden für die ausgewählten Haltungen zusammengestellt. Sie dienen der Beschreibung, der endgültigen Auswahl der Haltungen für die weiteren Untersuchungen und insbesondere als Hintergrundinformationen für die Bewertung der Ergebnisse der In-Situ-Untersuchungen. Die Daten zu den Sanierungsmaßnahmensind nach folgenden Gliederungspunkten systematisiert worden:

- Stammdaten
- Zustandsdaten vor der Sanierung
- Betriebsdaten
- Hydraulische Daten
- Arbeitsprotokolle während der Bauausführung
- Qualitätssicherung auf der Baustelle
- Qualitätsmerkmale

Sämtliche Daten zu den sanierten Haltungen sind in einer Datenbank erfasst worden worden. Tabelle 2 zeigt beispielhaft ein Datenblatt für die recherchierten Daten bei der Stadt Gladbeck (Sanierungsmaßnahme in der Straße „Unverhofft“).

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Tabelle 2: Beispiel für die systematische Erfassung der Daten des Kanalbetriebes

Stadt	Gladbeck	Unverhofft
Stammdaten	Haltung	S.2.02.023-2.02.018
	von	2.02.023
	bis	2.02.018
	Baujahr	36/38
	Straße	
	Haltungslänge	61,49
	Einzelrohrlänge	2 m
	Gefälle []	8
	Kanalart	
	Rohrprofil	Kreis
	Rohrdimension	400
	Rohrmaterial	Beton
	min. Überdeckungshöhe	4,15
	max. Überdeckungshöhe	4,3
	Anzahl Stutzen	1
	Abzweige	
	Trassenverlauf	in Fahrbahnmitte
	GW-Verhältnisse, Infiltrationen (Bettungsart)	
	Wasserschutzzone	
	Schachtmaterial	Beton
	Schachtabmessungen	1000
Zustandsdaten vor der Sanierung	Wurzeleinwuchs im Scheitel Innen Korrosion gesamter Umfang; Stutzen nicht fachgerecht eingebaut;	
	Schächte	- Korrosion -
Betriebsdaten	Abwasserbeschaffenheit	häusliches Abwasser
	Ablagerungsverhalten	
Hydraulische Daten	Hydraulische Auslastung	Kleiner 90 %
	Baugrundverhältnisse	
	Oberflächenbeschaffenheit	
	Orts- und Verkehrslage	Anliegerstraße
	Verkehrsaufkommen	nur Anlieger
	Lage anderer Ver- und Entsorgungsleitungen	seitlich im Gehweg/ Verkehrsfläche
Spezifikation der Sanierungsmaßnahme	Schlauchrelining - Inpipe - 1998 Glasfasergewebe mit Polyesterharz getränkt Teerbau - Rohrtechnik GmbH, Bottrop 600DM/m	
Qualitätssicherung auf der Baustelle	Verfahrensabhängige kontinuierliche Dokumentation der Druck-, Temperatur und oder UV-Lichtparameter	
	Baustellentagesprotokolle	Vorhanden
Qualitätsmerkmale	optische Untersuchung	vorhanden
	Entnahme von Materialproben	Vorhanden
Zusätzliche Unterlagen	Statische Berechnungen, Materialuntersuchungen des eingebauten Inliners, Lageplan	

©2001 All rights reserved by GEK mbH

3.2.3 Ortstermin zur Beurteilung der Sanierungsbaustellen

Bei einem Ortstermin, unter Beteiligung von Vertretern der jeweiligen Netzbetreiber und des IKT Gelsenkirchen, wurden die Randbedingungen, die Zugänglichkeit und die Eignung der ausgewählten Haltung für die weiteren Untersuchungen, überprüft.

3.3 Bauliche und umweltrelevante Untersuchungen

In diesem Abschnitt werden die Untersuchungsergebnisse zur Übersicht dargestellt. Eine Gesamtbewertung der Ergebnisse erfolgt in Abschnitt 3.5.

3.3.1 Qualitative Zustandserfassung durch optische Inneninspektion

Grundlage für die Feststellung des Ist-Zustandes war eine optische Inspektion des sanierten Abwasserkanals mit einer TV-Kamera in Anlehnung an ATV-M 143 Teil 2 [22]. Sofern seitliche Anschlüsse am Inliner vorlagen, wie z.B. Hausanschlussleitungen, wurden diese detailliert auf erkennbare Ausführungsmängel und sichtbare Undichtigkeiten untersucht. Die qualitative Zustandserfassung der Schachtanbindung der Schlauchliner erfolgte durch Begehung der Schächte. Die untersuchten Abwasserkanäle, inklusive der Schachtbauwerke, wurden zur Vorbereitung der Inspektion mit dem Hochdruckspülverfahren gereinigt.

Die nachfolgenden Schadensarten wurden durch die optische Inspektion ermittelt:

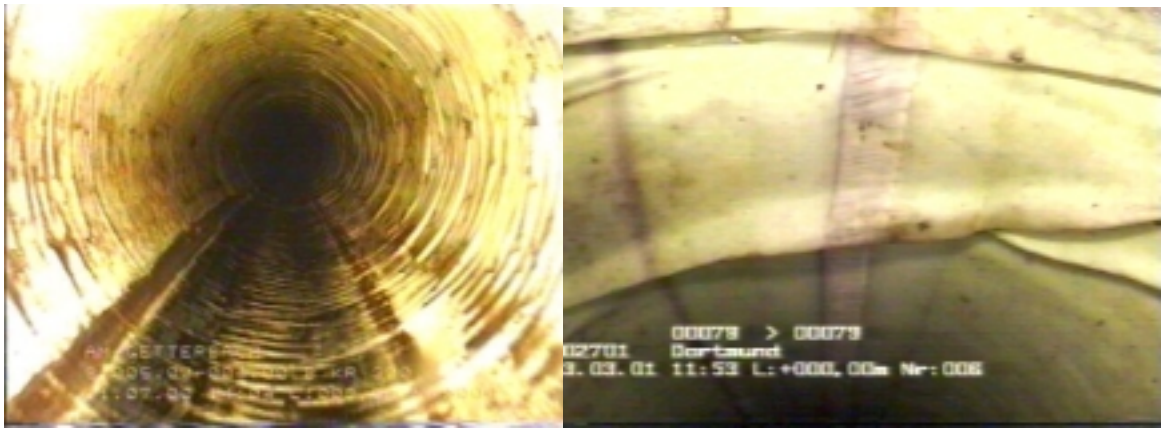


Bild 1: Querfalten

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Bild 2: Längsfalten im Kämpferbereich

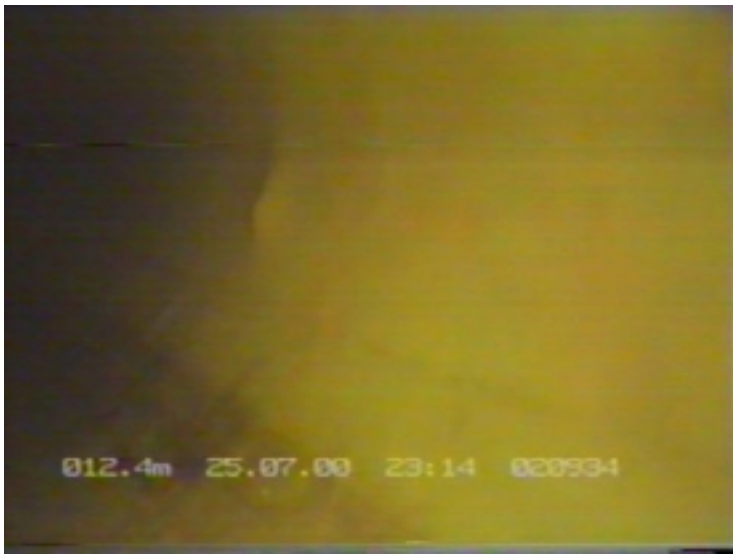


Bild 3: Beulen in der Linerwand

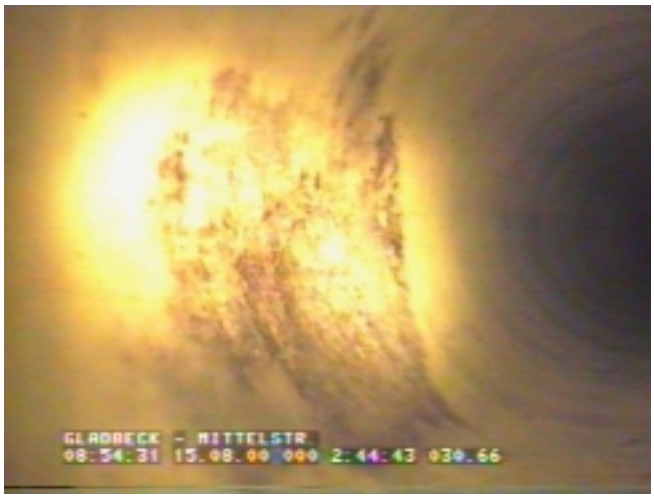


Bild 4: Färbung ungleichmäßig

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Bild 5: Sichtbare Undichtigkeiten mit eindringendem Wasser

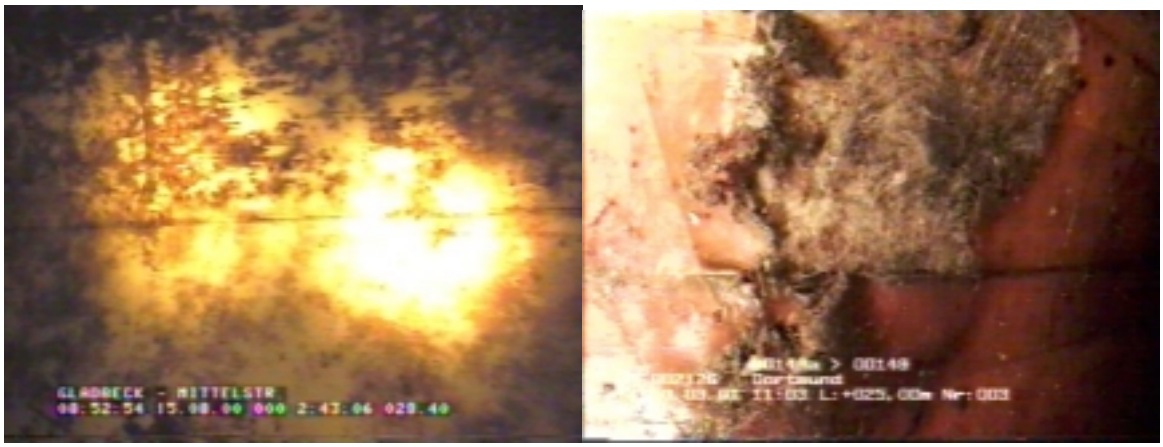


Bild 6: Freiliegende Fasern

Bild 7: Ablösung der Innenfolie

©2001 All rights reserved by GEK mbH

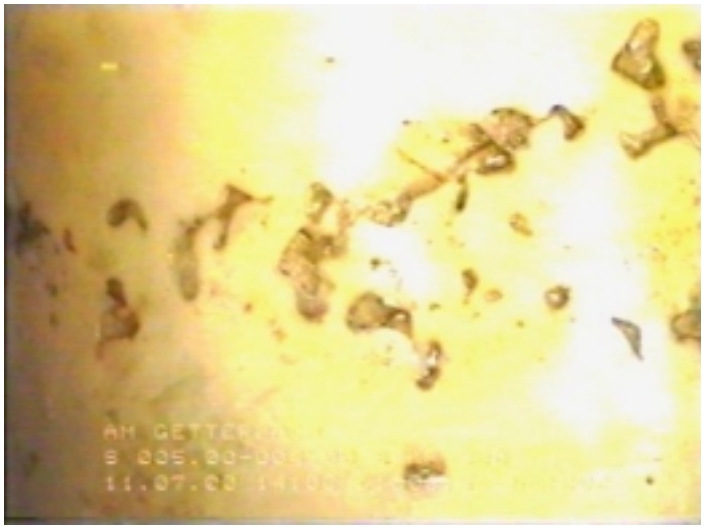


Bild 8: Fehlstellen in Form von freiliegenden Lufteinschlüssen (Lunker)

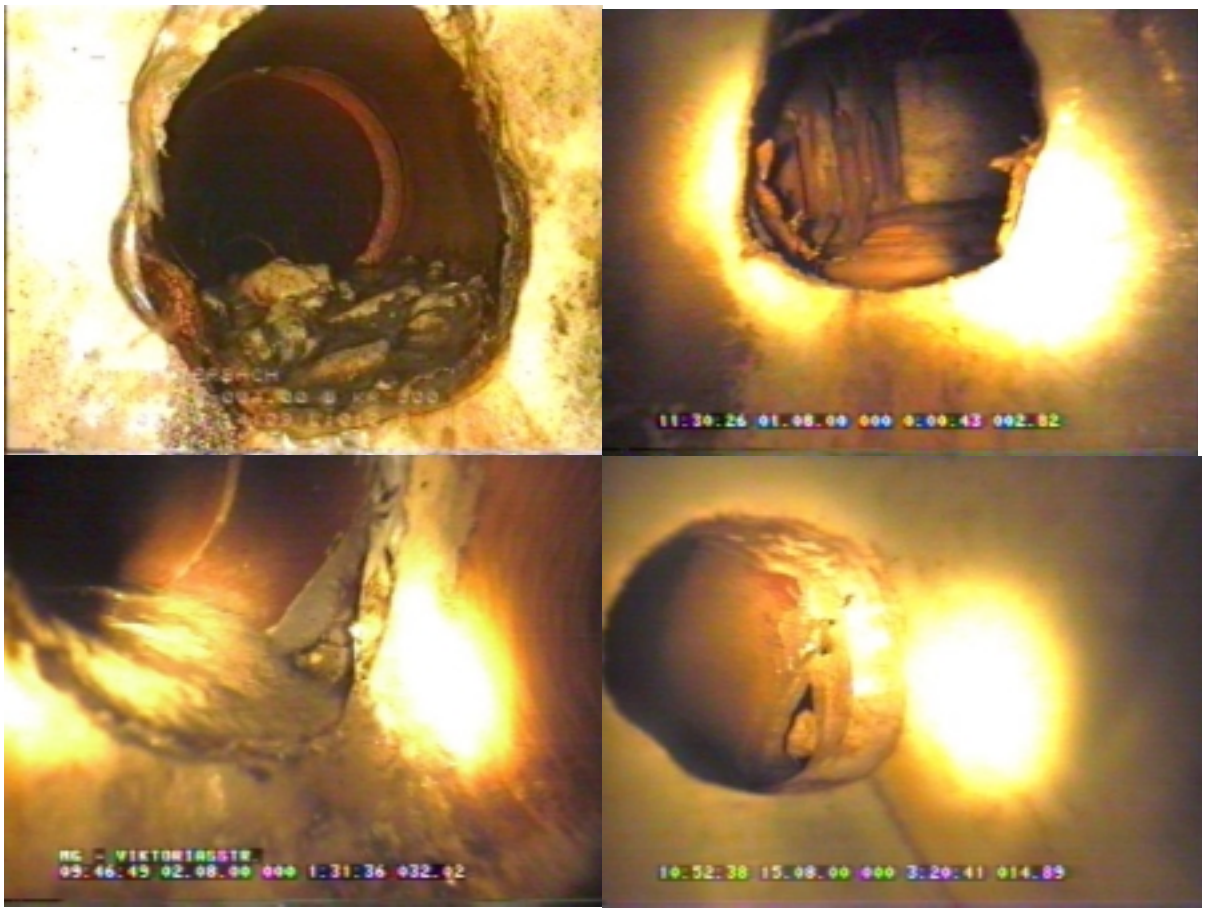


Bild 9: Schadhafte und nicht sachgerechte Einbindung der Zuläufe

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Bild 10: Schäden im Bereich der Schachteinbindung und des Schachtgerinnes mit herausgebrochenen Inlinerstücken

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Eine Auswertung der Ergebnisse erfolgt in Abschnitt 3.5. Erste Hinweise zur Bewertung der Schäden gibt die folgende Tabelle aus [31].

Tabelle 3: Festgestellte Schäden und möglich Ursachen nach [31]

Schäden	mögliche Ursache	Möglichkeiten der Fehlervermeidung
1) Axial verlaufende Falten (Bild 2)	a) falsche Kalibrierung	a) exakte Kalibrierung vor Linerkonfektion
	b) falsche Konfektionierung	b) Eigenkontrolle beim Zuschnitt der Träger und Verstärkungsmaterialien (unterschiedliche Lagenbreiten beachten)
	c) ungenügender Aufstelldruck (Schlauch füllt den Ringraum nicht aus)	c) Eigenkontrolle bei der Einbaudruckbemessung (mit Dokumentation
2) Radial verlaufende Falten (Bild 1)	a) Stauchung beim Einbau, besonders Innenkurven	a) nur im begrenzten Maße vermeidbar z- B. große Kurvenradien. Abhilfe durch gleichmäßigen Vorschub.
	b) behinderter Einziehvorgang	b) Abhilfe durch gleichmäßigen Vorschub
	c) Dehnung der Schutzfolien (Harzwellen innen)	c) geeignete Folienqualität verwenden
	d) Versatz	d) generell unvermeidbar, ggf. Beseitigung vor Sanierung
3) Lufteinschlüsse (Bild 8)	a) ungenügender Verdichtungsdruck	a) Kontrolle bei der Verdichtung, weicheres Trägermaterial benutzen, Kontrolle Trägermaterial
3) Lufteinschlüsse (Bild 8)	b) Ablösen der Einbaufolie vor der Harzreaktion	b) schwankenden Anpressdruck vermeiden
	c) Imprägnierfehler	c) Eigenüberwachung
	d) Styrolverkochung (intensive Styrolverdunstung beim Härtungsvorgang)	d) Modifikation der Harzrezeptur
4) Nicht erreichte Materialkennwerte		
4 a) E-Modul und Biegefestigkeit zu niedrig	a) Härtungsstörung, Einbaustörung, zu hohe Wanddicke, Verseifung an den Laminatgrenzschichten	a) sorgfältige Betrachtung der Verfahrensabläufe

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Fortsetzung Tabelle 3: Festgestellte Schäden und möglich Ursachen nach [31]

4 b) E- Modul zu niedrig – Biegefestigkeit erreicht	b) unvollständige Aushärtung korrekter Einbau	b) zu kurze Härtungszeit vermeiden, Temperatur einhalten, Veränderung in der Lichtdurchlässigkeit bei UV-Härtung (Härtung unter Verwendung eines Peroxid). Bei Epoxidharzen stöchometrisch ungenügende Mischung und schlechte Komponentenverteilung
5 c) E-Modul zu hoch	c) zu hohe Verdichtung, höherer Gehalt an Verstärkungsmaterialien	c) Verfahrensanweisung beachten, Festpunkte schaffen, vorzugsweise an den Schachtauslässen
7) Imperfektionen an den hergestellten Seitenzuläufen (Bild 9)	a) Fehlerhafte Bohrungen	a) Exaktes Vermessen der aufzubohrenden Seitenzuläufe
	b) Infiltration an den Seitenzuläufen	b) Anbindung des Inliner mit dem Altrohr und dem Seitenzulauf
	c) Partielle Verdeckung des Seitenzulaufes durch den Inliner	c) Herstellung des Seitenzulaufes nach vollendetem Aushärtungsvorgang respektive nach Beendigung des Schrumpfverhaltens

3.3.2 Quantitative Zustandserfassung

Die optische Innenvermessung der im Boden befindlichen Rohrleitungen wurde mittels PipeR®- Verfahren (Bild 11, [23]) durchgeführt. Dieses Verfahren hat den Vorteil auch punktuell auftretende Verformungen mittels optischer Innenvermessung erfassen zu können. Dabei wird auf die Rohrinnenwand ein Lichtring projiziert, der ausgehend vom Querschnittsmittelpunkt in 1° Schritten ausgewertet wird. Damit ist es möglich auch unregelmäßig verformte Querschnitte zu erfassen. Die Querschnittsaufnahmen wurden in Abständen von 2 cm über die gesamte Haltungslänge ausgeführt.

©2001 All rights reserved by GEK mbH

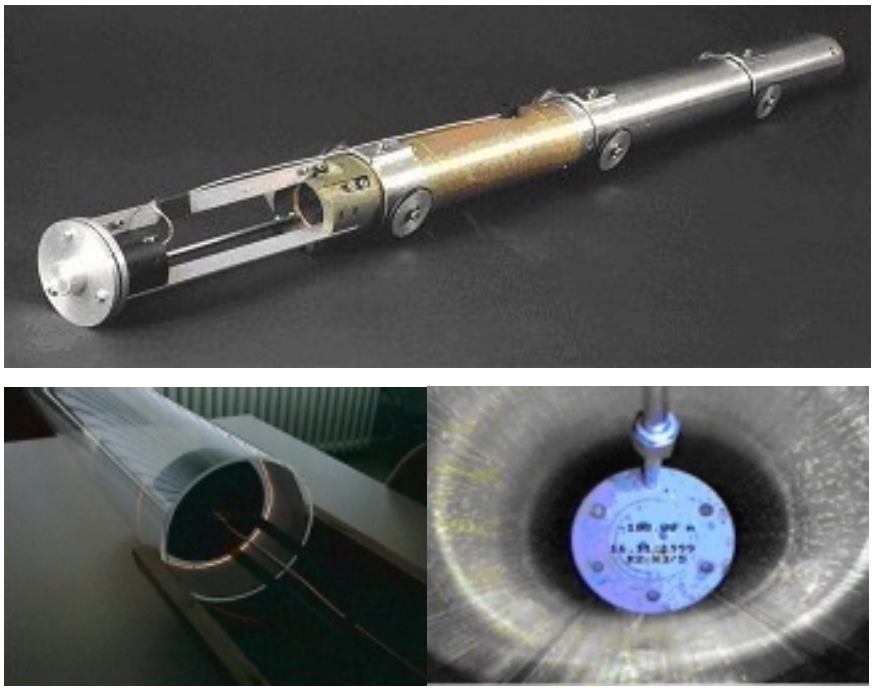


Bild 11: Messsonde und Darstellung des Lichtringes in einem durchsichtigen Rohr [23]

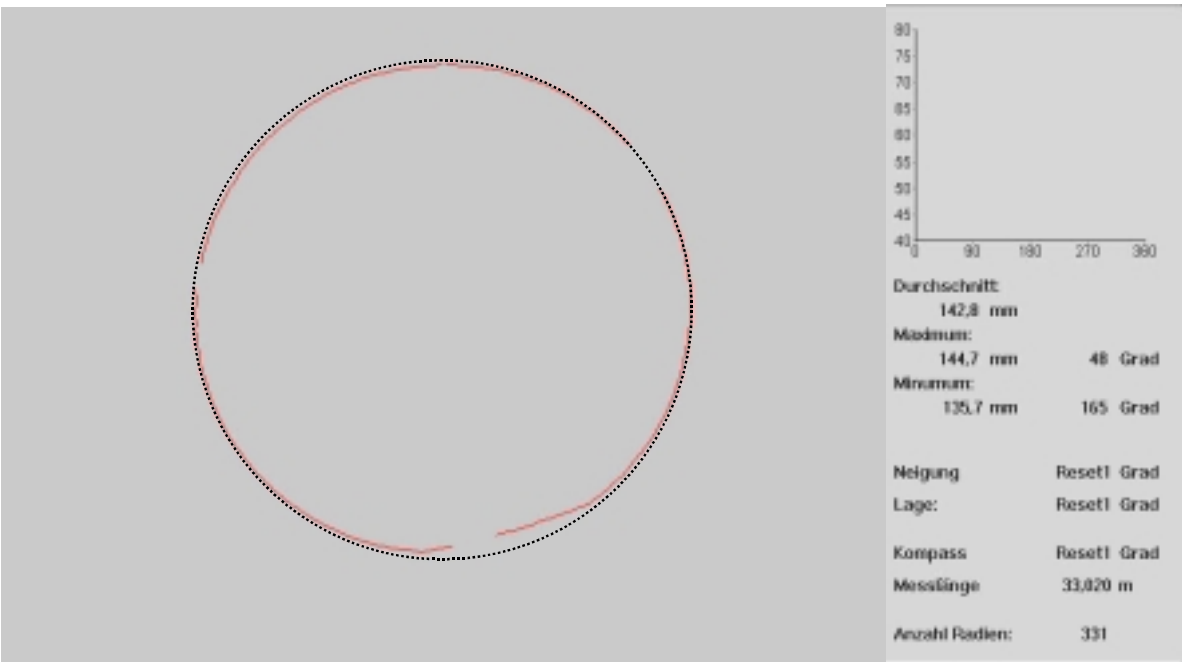
Die o.a. Messungen wurden in Anlehnung an die Inspektionsergebnisse in folgenden Haltungen ausgeführt: Stockumer Straße, Klinikstraße, Uranusstraße, Grimmeweg und Hagener Straße. In der Klinikstraße, dem Grimmeweg und der Hagener Straße wurden allerdings keine außergewöhnlichen Verformungen festgestellt. Der Liner war dort annähernd kreisrund (mittlerer Durchmesser +/- 1 %) und örtliche Verformungen wurden nur vereinzelt gemessen. Nachfolgend werden daher nur die Ergebnisse der Untersuchungen an der Stockumer Straße (Bochum) und Uranusstraße (Dortmund) dargestellt.

Stockumer Straße, DN 300, Brandenburger, Scheiff 1995, Lichthärtung,

In der Stockumer Straße wurden zwei Haltungen vermessen (Schacht 36-37 und 37-38). Die beiden Diagramme zeigen ähnliche Kurvenverläufe (Bild 12). Der mittlere Durchmesser weist eine geringe Schwankungsbreite (+/- 1%) auf und ist der Kurve des maximalen Durchmessers angenähert. Dies ist ein Hinweis für ein annähernd rundes Kreisprofil mit wenigen örtlichen Verformungen. Das ausgewählte Foto (33 m Schacht 37 in Richtung 38) bestätigt dies. So ist dort lediglich im Sohlenbereich eine örtliche Verformung erkennbar. Ähnliche Verformungsfiguren wurden über die gesamte Haltungslänge beobachtet. Von den in der haltungsweisen Darstellung ange-

©2001 All rights reserved by GEK mbH

gebenen Nennweitentoleranzen (+3/-3%) wurde aufgrund von Unsicherheiten bei der Abschätzung der Altrohrnennweite deutlich abgewichen.



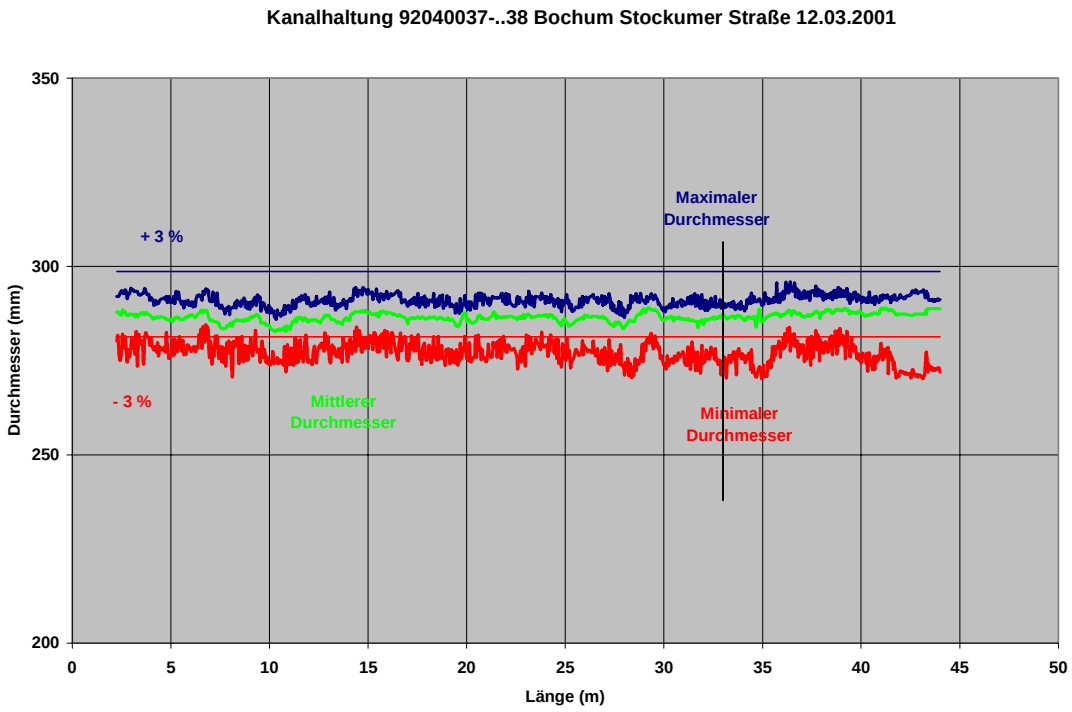
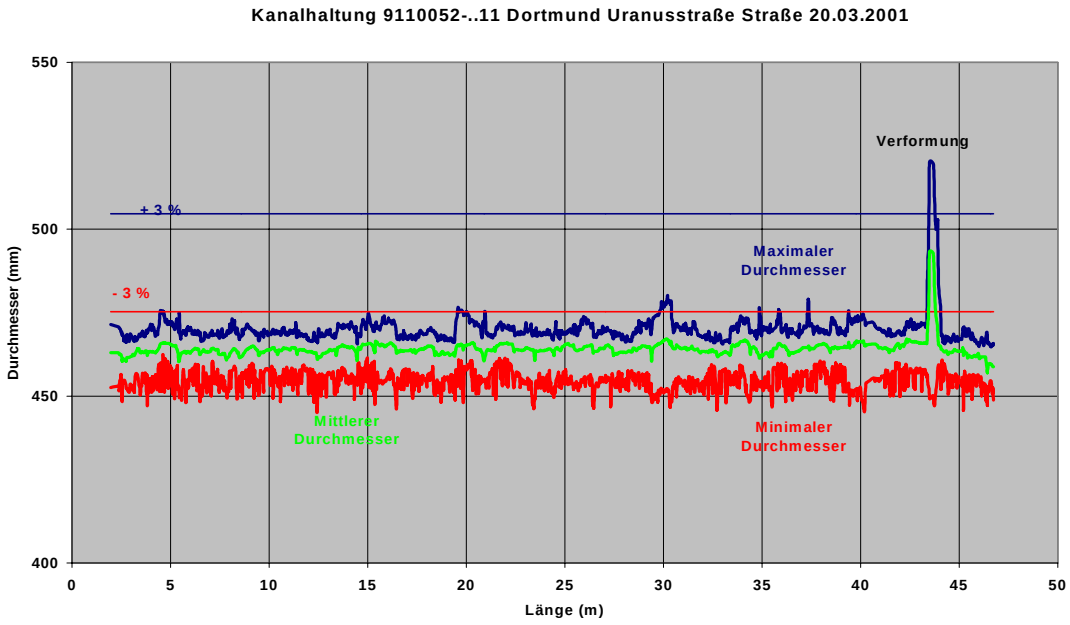


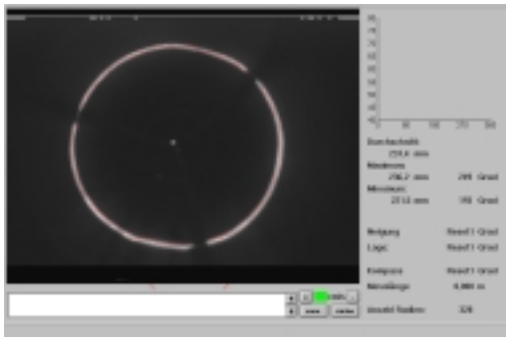
Bild 12: Verformungsmessung des Liners in der Stockumer Str., Bochum

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Uranusstraße I, KM-Inliner, KMG 1995, Härtung heißes Wasser

Die Vermessung in der Uranusstraße ergab für den Liner eine nahezu kreisrunde Form. Der mittlere Durchmesser hat eine Schwankungsbreite von deutlich weniger als +/- 1 %. Die Kurve liegt im mittleren Bereich zwischen maximalem und minimalem Durchmesser. Es liegt demnach weder eine signifikante Gesamtverformung noch eine örtliche Verformung auf einem längeren Linerabschnitt vor. Dies wird durch das Foto bestätigt (Bild 13, links). Der hohe Kurvenausschlag im Diagramm am Ende der Haltung wird durch die Einbindung eines Hausanschlusses verursacht (Bild 13, rechts). Auf diesem Bild ist im Sohlbereich zudem die Wasserlinie erkennbar (in der Darstellung leicht diffus aufgrund der Reflexionen des Lichtstrahls im Wasser). Von den geschätzten Nennweitentoleranzen wurde wiederum abgewichen.





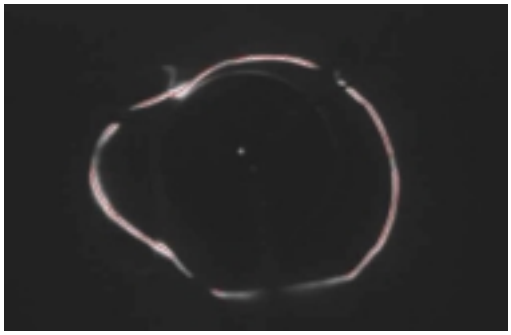


Bild 13: Verformungsmessung des Liners in der Uranusstraße, Dortmund

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Für die Verformungsmessung sollte die Leitung grundsätzlich sauber und abwasserfrei sein. Da die seitlichen Zuläufe im Regelfall nur mit hohem Aufwand abgesperrt werden können, kann es gegebenenfalls ratsam sein nachts zu messen.

Bei drei der fünfzehn Haltungen des Untersuchungsprogramms wurden durch Aufgrabungen 2 m lange, sanierte Rohrabschnitte entnommen. Die Entnahme der Rohrabschnitte und die an diesen durchgeführten Werkstoffprüfungen werden noch in Abschnitt 3.4 umfassend beschrieben. Im Vorgriff zu dem o.a. Abschnitt wird nachfolgend die Innenvermessung im Labor dargestellt.

Bei der Sanierungsmaßnahme der Stadt Mönchengladbach in der Karmanstraße wurde eine starke Verformung des Linerquerschnittes festgestellt. Die senkrechte Rohrachse zwischen Scheitel und Kämpfer war sehr viel kürzer als die waagerechte Achse. Die genaue Vermessung des Linerquerschnittes mittels Kalibermessgerät ergab eine Verformung von annähernd 12 % bezogen auf den Rohrradius eines unverformten Rohres (Bild 14).

Bild 14: Verformung des Liners in der Karmanstraße (Stadt Mönchengladbach)

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Bei der Vermessung der Rohrabschnitte aus der Mittelstraße (Gladbeck, Betowa 1997) und Am Getterbach (Münster, Teerbau 1989) wurden nur geringfügige Abweichungen von der kreisrunden Form (deutlich unter 1 %) festgestellt.

3.3.3 Umweltrelevante Untersuchungen durch Dichtheitsprüfungen mit Luft

3.3.3.1 Abschnittsweise Dichtheitsprüfung mit Luft

Dichtheitsprüfungen mit Luftüberdruck reagieren weitaus sensibler auf wechselnde Randbedingungen, als eine Dichtheitsprüfung mit Wasser. Darüber hinaus kann eine bei Luftüberdruckprüfung undichte Leitungen bei einer Prüfung mit Wasser die Dichtheitskriterien noch erfüllen. Aufgrund der leichteren Handhabbarkeit wurden zunächst Dichtheitsprüfungen mit Luftüberdruck nach dem ATV-M 143 Teil 6 [24] durchgeführt.

Die in dem Projekt ausgewählten Kanalhaltungen enthielten zahlreiche Hausanschlüsse. In der Praxis werden in diesen Fällen bei nicht sanierten Kanälen ersatzweise nur die Rohrverbindungen geprüft. Dies ist für schlauchsanierte Kanäle nicht möglich, da sie keine Rohrverbindungen enthalten.

Deswegen kam eine Sonderlösung zum Einsatz, bei der eine TV-Kamera ein System von gekoppelten Dichtblasen in die Haltung einzieht und abschnittsweise die Dichtheit zwischen den Abzweigen der Hausanschlüsse geprüft wird. Die Abstände der Dichtblasen wurden für jede Haltung auf das Maß des jeweils kleinsten Abstandes zwischen zwei Hausanschlüssen angepaßt (Bild 15).

©2001 All rights reserved by GEK mbH

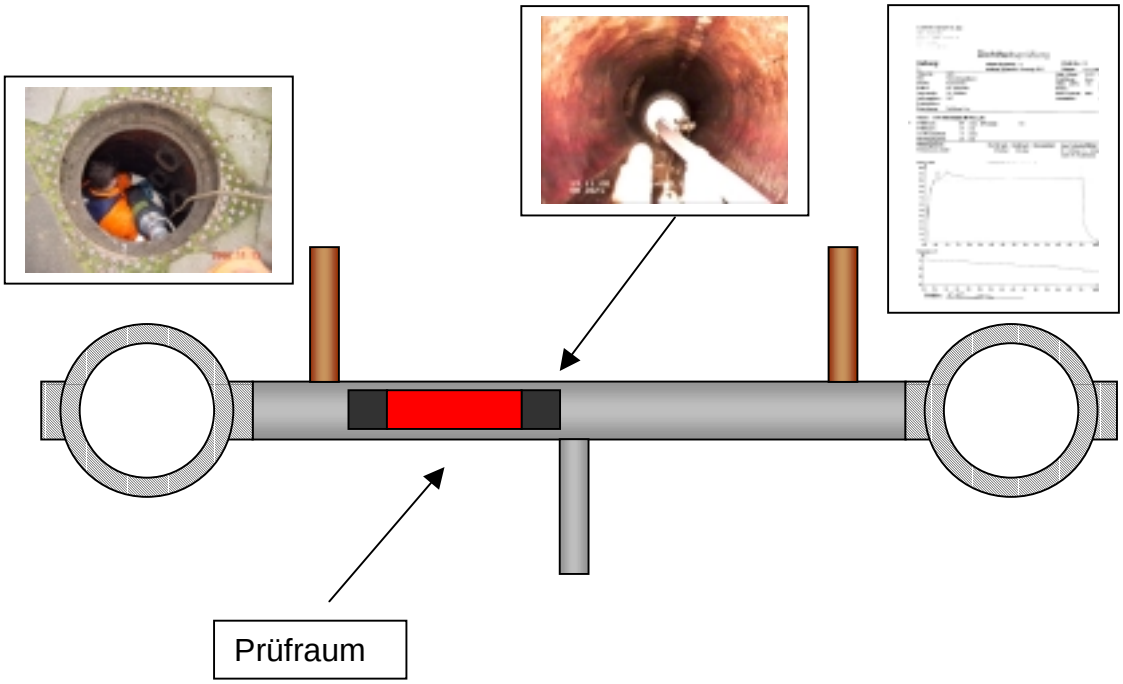


Bild 15: Abschnittsweise Dichtheitsprüfung mit Luft

Die Ergebnisse der Dichtheitsprüfung wurden gemäß ATV M 143 T6 [24] protokolliert. Eine Übersicht über die Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen gibt Tabelle 4. In 5 von 15 Fällen musste auf die Durchführung einer abschnittsweisen Dichtheitsprüfung verzichtet werden. Als Gründe sind zu nennen: mangelnde Nennweitenabstimmung der Dichtblasen auf den sanierten Rohrquerschnitt, z.B. infolge von Faltenbildung und Querschnittsreduzierung, sowie beengte Platzverhältnisse im Einsteigschacht.

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Tabelle 4: Ergebnisse der abschnittsweisen Dichtheitsprüfung mit Luft

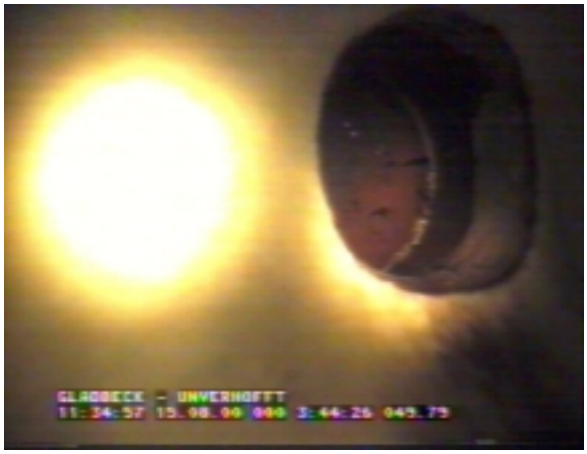
Stadt	Straße	DN	Schlauchbe-zeichnung	Baufirma	Härtung	Sanierungs-datum	Prüfungsergebnis / Bemerkung
Stadt Bochum	Klinikstraße	400	Brandenburger	Scheiff	UV-Licht	1995	Prüfung nicht möglich
Stadt Bochum	Stockumer Str. I	300	Brandenburger	Scheiff	UV-Licht	1996	Prüfkriterien nicht erfüllt
Stadt Bochum	Stockumer Str. II	300	Brandenburger	Scheiff	UV-Licht	1996	Prüfkriterien nicht erfüllt
Stadt Dortmund	Uranusstraße	500	KM-Inliner	KMG	Wasser	1995	Prüfung nicht möglich
Stadt Dortmund	Uranusstraße	500	KM-Inliner	KMG	Wasser	1995	Prüfung nicht möglich
Stadt Dortmund	Grimmeweg	250	KM-Inliner	KMG	Wasser	1991	Prüfung nicht möglich
Stadt Dortmund	Hagener Straße	300	Phoenix	Preussag	Heißdampf	1994	Prüfkriterien erfüllt
Stadt Duisburg	Im Eggenkamp	350	Inpipe	Union Bau	Heißdampf	1998	Prüfkriterien nicht erfüllt
Stadt Gladbeck	Mittelstraße	400	Flexo-Liniing	Betowa	UV-Licht	1997	Prüfkriterien erfüllt
Stadt Gladbeck	Unverhofft	400	Inpipe	Teerbau	UV-Licht	1998	Prüfkriterien erfüllt
Stadt Gladbeck	Unverhofft	400	Inpipe	Teerbau	UV-Licht	1998	Prüfkriterien erfüllt
Stadt Mönchengladbach	Karmannstraße	300	Insituform	Insituform-Brochier	Wasser	1995	Prüfkriterien erfüllt
Stadt Mönchengladbach	Viktoriastraße	300	Insituform	Insituform	Wasser	1996	Prüfkriterien erfüllt
Stadt Münster	Am Getterbach	300	Inpipe	Teerbau	UV-Licht	1989	Prüfkriterien erfüllt
Stadt Münster	Hoher Heckenweg	450	KM-Inliner	KMG	Wasser	1991	Prüfung nicht möglich

©2001 All rights reserved by GEK mbH

3.3.3.2 Prüfung der seitlichen Anschlüsse

Insgesamt wurden 91 seitliche Anschlüsse optisch erfasst (s. Bild 16; vollständige Darstellung im Anhang). Ca. Dreiviertel der Anschlüsse waren nicht saniert (67). Die sanierten Anschlussstutzen wurden – soweit zugänglich (6 Anschlüsse) – einer Dichtheitsprüfung unterzogen. In allen untersuchten Fällen wurden die Prüfkriterien der ATV-M 143 Teil 6 [24] nicht erfüllt.

a) Mittelstraße: Stutzensanierung erfolgt



b) Unverhofft I: Stutzensanierung erfolgt

c) Am Getterbach: Stutzensanierung nicht erfolgt

d) Viktoriastraße: Stutzensanierung nicht erfolgt

Bild 16: Beispiele für die Ausführung von Anschlussstutzen

©2001 All rights reserved by GEK mbH

3.4 Weitergehende Untersuchungen an in situ entnommenen Probenkörpern

3.4.1 Entnahme sanierter Leitungsabschnitte in offener Bauweise

Bei den Städten Münster, Gladbeck und Mönchengladbach wurde in offener Bauweise jeweils ein ca. 2,00 m langer schlauchsanierter Rohrabschnitt an genau eingemessenen Stellen in offener Bauweise freigelegt, aus der Haltung herausgetrennt und für die weitergehenden Labor- und Werkstoffprüfungen entnommen. Die Auswahl und exakte Positionierung der drei Entnahmestellen erfolgte auf der Basis der bisherigen Untersuchungsergebnisse (Kap. 3.2, Kap. 3.3). Hierfür wurden zwei Rohrabschnitte mit festgestellten Schäden (freiliegende Faser, Lufteinschlüsse) und zum Vergleich ein schadensfrei sanierter Haltungsbereich ausgewählt. Weitere Auswahlkriterien waren das Alter der Sanierungen sowie die Verfügbarkeit von Materialkennwerten aus Werkstoffprüfungen zum Sanierungszeitpunkt sowie das Vorliegen statischer Berechnungen der Sanierung. Als Schlauchgewebe wurden sowohl Nadelfilz als auch Glasfasergewebe angetroffen. Die Aushärtung der mit Polyesterharz getränkten Gewebe erfolgte bei zwei Maßnahmen zum einen kalthärtend durch den Einsatz von UV-Licht, bei der dritten Maßnahme warmhärtend durch den Einsatz von heißem Wasser. Die drei ausgewählten Sanierungsmaßnahmen wurden 1989, 1995 und 1997 (Tabelle 5) ausgeführt.

Tabelle 5: Entnahmestellen für die weitergehenden Werkstoffprüfungen

Stadt	Straße	DN	Schlauch-bezeichnung	Baufirma	Härtung	Schlauchwerk-stoff	Sanierungs-datum
Gladbeck	Mittelstraße	400	Flexo-Lining	Betowa	UV-Licht	Glasfaser E-CR Polyesterharz	1997
Mönchengladbach	Karmannstraße	300	Insituform	Insituform-Brochier	Heißes Wasser	Nadelfilz mit Polyesterharz	1995
Münster	Am Getterbach	300	Inpipe	Teerbau	UV-Licht	Glasfaser mit Polyesterharz	1989

Um aussagekräftige Ergebnisse aus den Werkstoffprüfungen ableiten zu können, war es erforderlich, die Rohrabschnitte möglichst unversehrt aus der Kanalhaltung herauszuschneiden und zu bergen. Mit einer Motorsäge, die über eine spezielle Diamantschneidkette verfügte, wurden die Rohrabschnitte herausgeschnitten. An-

©2001 All rights reserved by GEK mbH

schließend wurden sie sorgfältig mit Hölzern und Draht umbaut, um das schadlose Herausheben aus der Baugrube zu sichern (Bild 17).

Bild 17: Entnahme von Probenkörpern in offener Bauweise

3.4.2 System- und Werkstoffprüfungen an entnommenen Rohrabschnitten

Die Rohrabschnitte (Altrohr/Schlauchliner) wurden entnommen, um daraus Probenkörper für Werkstoffprüfungen zur Bestimmung von Materialkennwerten zu gewinnen (Tabelle 6). Die entnommenen Rohrabschnitte wurden zunächst visuell beurteilt.

Tabelle 6: Übersicht über die durchgeführten Werkstoffprüfungen

Prüfung	Prüfungsvorschrift	Anzahl der Proben	Prüflingsherstellung
Bestimmung der Dichte	DIN 53479	3 x 3 Proben	Proben für den 3-Pkt. - Biegeversuch
Bestimmung der Biegeeigenschaften	In Anlehnung an DIN EN ISO 14125	3 x 10 Proben	Geschnitten in Rohrumfangsrichtung in den Maßen 5 x 15 cm
Ermittlung der Charpy-Schlagzähigkeit	DIN EN ISO 179	3 x 10 Proben	Geschnitten in 80 x 10 x Dicke [mm]
Dichtheitsprüfung	In Anlehnung an DIN EN 1610	3 + 1	15 x 15 cm
Ermittlung der spezifischen Anfangs-Ringsteifigkeit	E DIN 53769-3	3	30 cm breite Inlinerabschnitte
Scheiteldruckversuch	DIN 4032	2 x 2 Proben	33 cm breit; Beton mit Inliner

©2001 All rights reserved by GEK mbH

3.4.2.1 Beschreibung der Werkstoffprüfungen

3.4.2.1.1 Dichte, Wandaufbau und -dicke des Schlauchliners

Die Dichte wurde an den Probenkörpern 5 x 15 cm in Anlehnung an DIN 53479 [25] bestimmt. Zusätzlich wurde der Wandaufbau optisch hinsichtlich des Zusammenhaltes der verschiedenen Bestandteile und Schichten sowie auf Lufteinschlüsse und Fehlstellen untersucht. Die Wanddicke wurde durch eine repräsentative Anzahl von Messungen an den jeweiligen Probenkörpern ermittelt und mit den in der Ausschreibung geforderten bzw. von der Sanierungsfirma zugesicherten Werten verglichen.

3.4.2.1.2 Biegezugfestigkeit und Biege-E-Modul in Rohrumfangsrichtung des Schlauchliners

Um eine Aussage über die Qualität des eingebauten Sanierungsschlauches machen zu können, wurde die Bestimmung des Biege-E-Moduls in Ringrichtung und der Biegefestigkeit gemäß DIN EN ISO 14125 [26] unter zusätzlicher Berücksichtigung der Probenkrümmung durchgeführt. Durch die Ermittlung der drei Parameter Wanddicke, Biege-E-Modul und Biegefestigkeit ist eine qualitative Bewertung des untersuchten Schlauchverfahrens möglich. Als Versagenszeitpunkt zur Bestimmung der Biegefestigkeit gilt bei den untersuchten Materialien der Matrixbruch, d.h. der Punkt des Kurvenverlaufes, bei dem das Kraft - Verformungsverhältnis das erste Mal deutlich abfällt.

3.4.2.1.3 Schlagzähigkeit des Schlauchliners

Die Schlagzähigkeit wurde nach DIN EN ISO 179 [27] an Probenkörper 80 x 10 mm aus der Schlauchlinerwandung ermittelt. Das Meßprinzip beruht auf der Bestimmung der Schlagenergie, die beim Aufschlagen eines Pendels auf eine waagerechte, als Balken gelagerte gekerbte Probe aufgezehrt wird.

3.4.2.1.4 Dichtheitsprüfung der Linerwand nach Entfernen der Innenfolie

Einzelne Ausschnitte der Linerwand wurden nach Entfernen der Innenfolie einer Dichtheitsprüfung unterzogen. Es wurde überprüft, ob mit dem vorliegenden Verbundsystem der Linerwandung die Dichtheit des Sanierungssystems sichergestellt wird und nicht allein die Innenfolie, die durch Hochdruckreinigung und Beanspru-

©2001 All rights reserved by GEK mbH

chungen aus dem Betrieb der Kanalisation beschädigt werden kann, die Dichtfunktion übernimmt [28].

Für die Durchführung der Prüfung wurde der Linerausschnitt an der Innenseite mit einer gefärbten wässerigen Seifenlösung gefüllt und an der Außenseite ein Luftunterdruck von 0,5 bar aufgebracht (Bild 18).

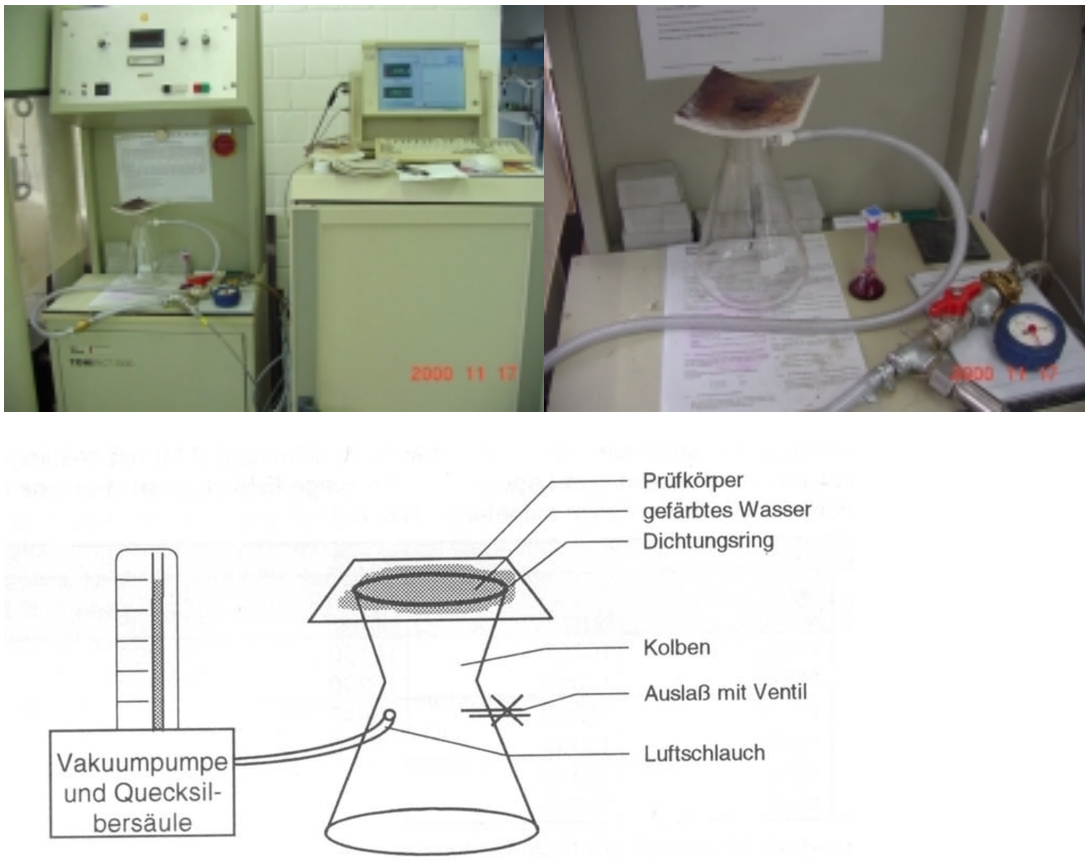


Bild 18: Dichtheitsprüfung an Linerabschnitten

3.4.2.1.5 Kurzzeit-Scheiteldruckversuche an Rohrabschnitten

Die Kurzzeit-Scheiteldruckversuche dienten zur Ermittlung der Ringsteifigkeit, Vertikalverformbarkeit und des Bruchversagens des Gesamtsystems, wobei sowohl der Inliner und das Altrohr alleine als auch gemeinsam geprüft wurden. Folgende Eigenschaften wurden mit Hilfe der Versuche ermittelt:

- Anfangsringsteifigkeit bei 3 % Verformung
- Umfangs-Elastizitätsmodul bei 3 % Verformung
- Ring-Biegezugfestigkeit (Bruchlast).

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Die Vermessung der Wanddicken wurde an 16 Meßpunkten des Rohrabschnittes durchgeführt. Inhomogene Stellen wie z.B. Nahtbereiche, die zum Teil eine höhere Wanddicke aufweisen, sind nicht vermessen worden. Die Prüfungen wurden an drei Lasteinleitungslinien um jeweils 120° versetzt durchgeführt, wobei jeweils eine Verformung von 3 % aufgebracht und 3 Minuten gehalten wurde. Zwischen den Krafteinleitungen relaxierte der Prüfkörper mindestens 60 min.

Bild 19: Kurzzeitscheiteldruckversuch zur Ermittlung der Anfangs-Ringsteifigkeit

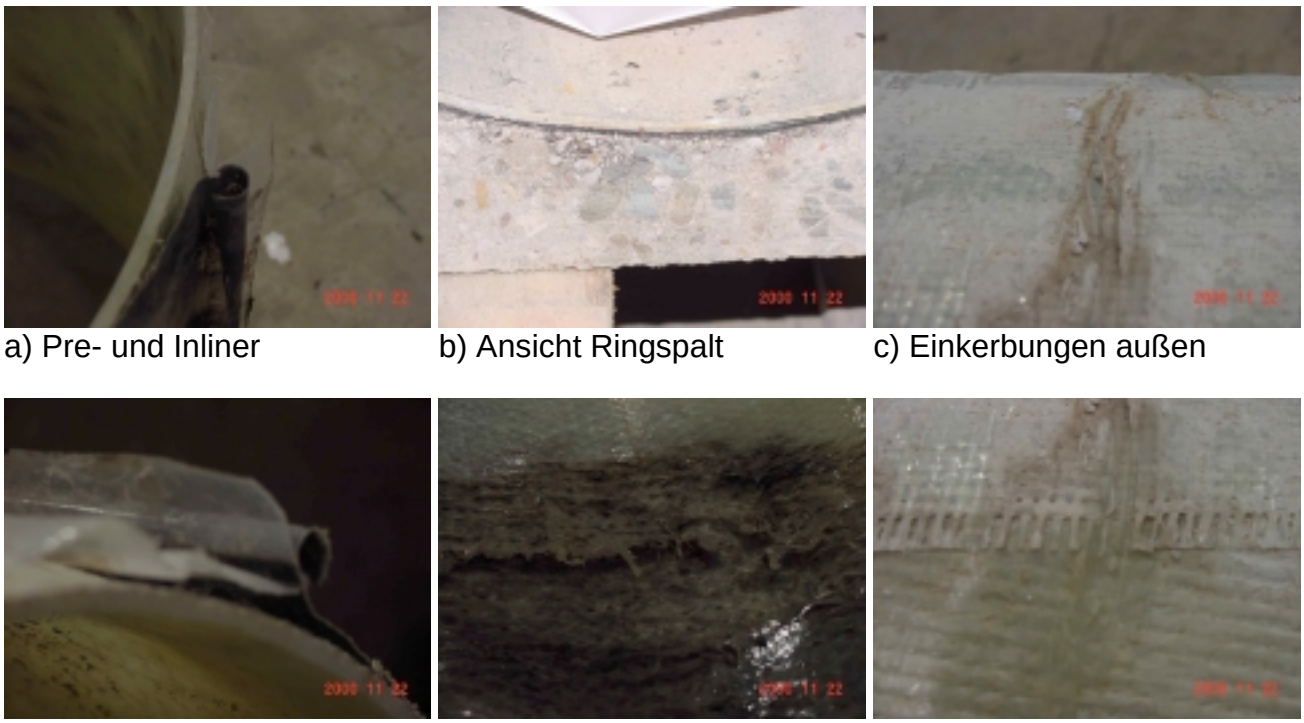
Bild 20: Scheiteldruckversuche am Altrohr mit Inliner

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Nachfolgend werden die Ergebnisse der durchgeführten Werkstoff- und Systemprüfung sowie visuell festgestellte Besonderheiten dargestellt. Eine detaillierte Bewertung aller Ergebnisse, also der baulichen und der Material- und Systemprüfung, findet sich in Abschnitt 3.5.

3.4.2.2 Ergebnisse Gladbeck, Mittelstraße, Glasfaser DN 400, Flexolining, Betowa, UV-Licht, Glasfaser ECR Polyesterharz

Optische Untersuchungen und Werkstoffkenndaten



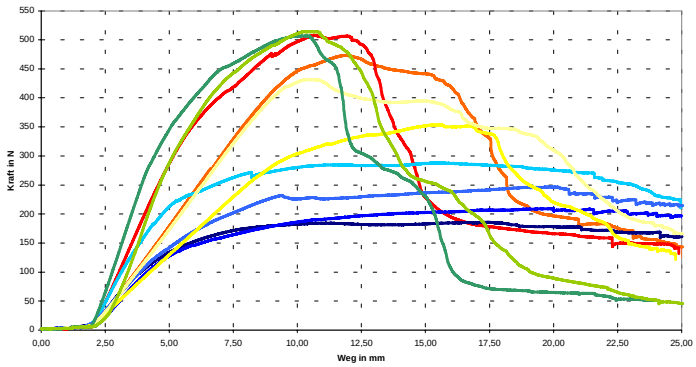
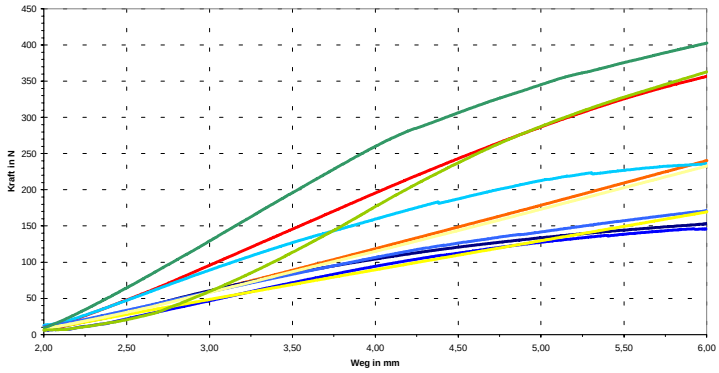
a) Pre- und Inliner b) Ansicht Ringspalt c) Einkerbungen außen

d) Pre- und Inliner e) Freiliegende Fasern f) Nahtbereich

Bild 21: Inaugenscheinnahme der entnommenen Proben des Flexoliners der Stadt Gladbeck

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Tabelle 7: Übersicht der Werkstoffkenndaten des Flexoliners aus Gladbeck

Stadt Gladbeck, Mittelstraße, Glasfaser DN 400, Flexoliner, Betowa, lichthärtend, 1997			
3-Punkt-Biegeversuch			
	Mittelwert	Kleinster Wert	Größter Wert
Biege-E-Modul [N/mm²]	4215,96	2774,17	5856,93
Biege-Spannung $\sigma_{BZ,\ max}$ [N/mm²]	53,88	21,84	68,89
Biege-E-Modul* [N/mm²]	4648,64	3050,63	6446,32
Biege-Spannung* $\sigma_{BZ,\ max}$ [N/mm²]	56,04	22,74	71,69
Kraft-Weg-Diagramm			
Ausschnitt Kraft-Weg-Diagramm *) mit Berücksichtigung der Krümmung			
Kurzzeitscheiteldruckversuch			
Anfangsringsteifigkeit S_R (gemittelt) [N/mm²]	0,0042		
Umfangs-E-Modul [N/mm²]	5158,33		
Scheiteldruckversuch am Altrohr ohne Inliner			
β_{BZR} [kN/m^2]	4,172		
Dichte des Inliners			
ρ [g/cm³]	2,8394		
Charpy-Schlagzähigkeit			
	Schlagzähigkeit [kJ/cm²]	Variationskoeffizient	
Außenschicht / Innenschicht in Zugzone	92,3 / 46,5	26,2 / 24,2	
Dichtheitsprüfung: Dichtheitskriterien erfüllt			

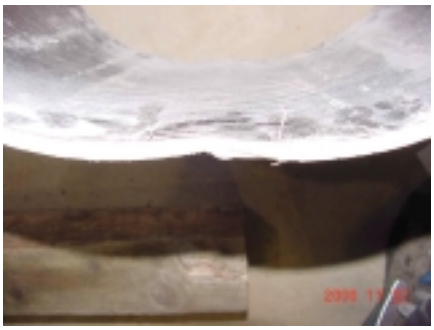
©2001 All rights reserved by GEK mbH

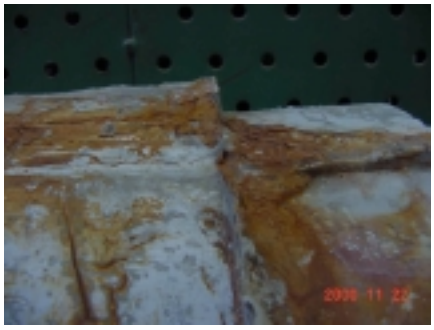
3.4.2.3 Ergebnisse Stadt Mönchengladbach, Karmannstr., Nadelfilz DN 300, Insituform Brochier, Nadelfilz mit Polyesterharz, 1995

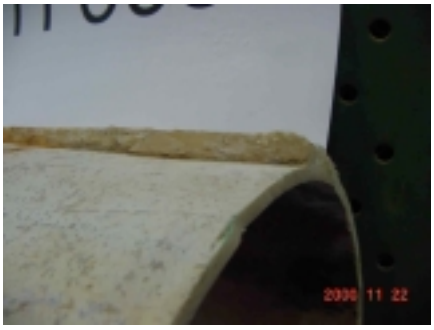
Optische Untersuchung und Werkstoffkenndaten

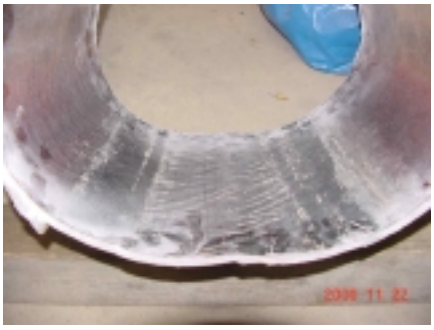
a) Außenfalten

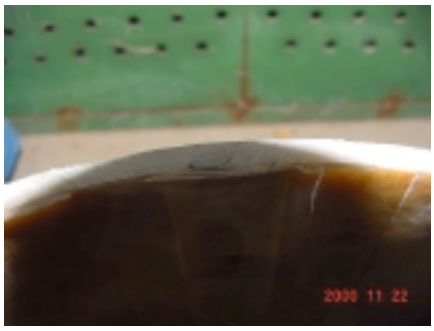
b) Harzwulst


c) örtliche Verformung


d) Muffenversatz


e) Harzwulst


f) Färbung im Sohl- und Kämpferbereich

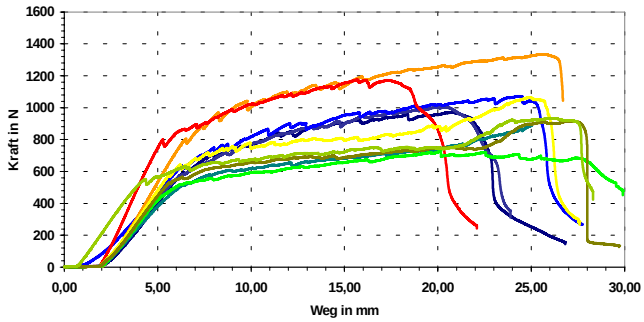
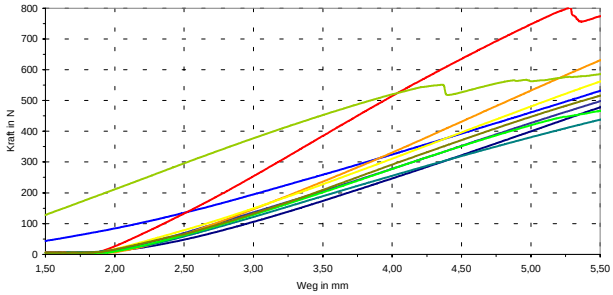

g) Nahtbereich

h) Ansicht Querschnitt

Bild 22: Inaugenscheinnahme der entnommenen Proben aus Mönchengladbach, Insituform, Brochier, Nadelfilz mit Polyester DN 300, 1995

©2001 All rights reserved by GEK mbH

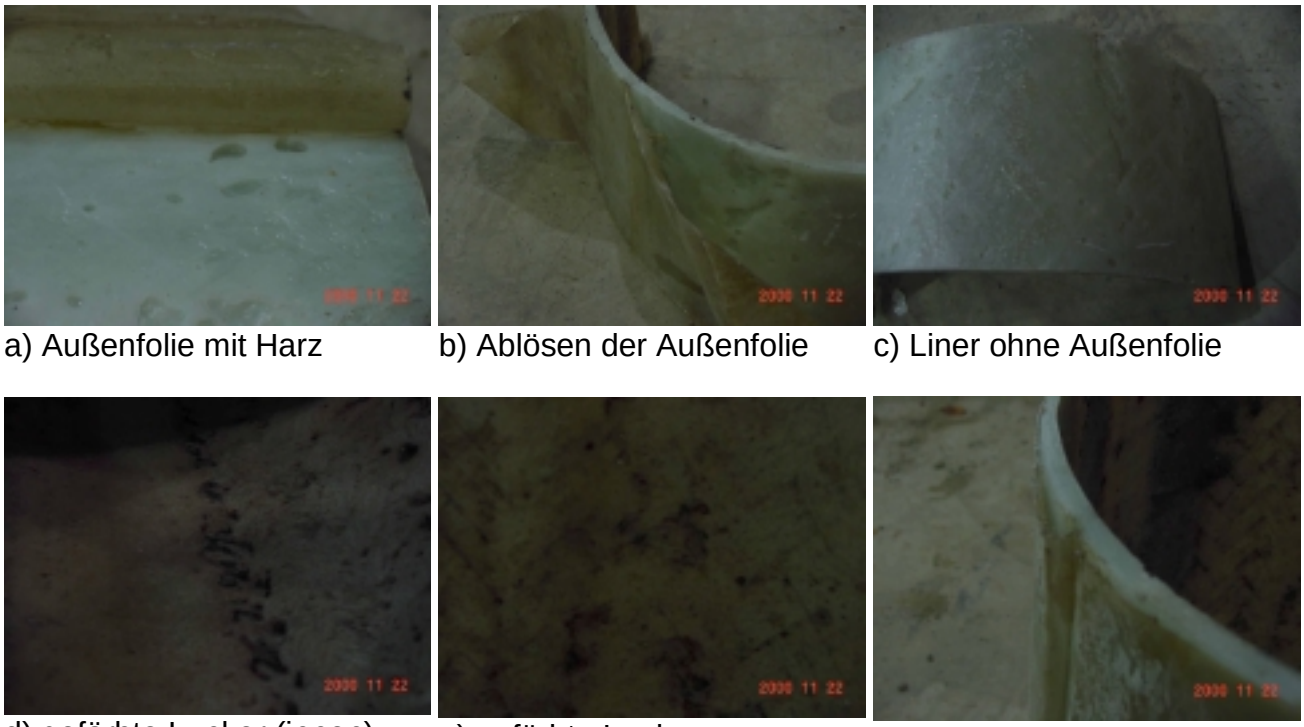
Tabelle 8: Übersicht der Werkstoffkenndaten des Insituformliners aus MG

Stadt Mönchengladbach, Karmanstr., Nadelfilz DN 300, Insituform Brochier, 1995			
3-Punkt-Biegeversuch			
	Mittelwert	Kleinster Wert	Größter Wert
Biege-E-Modul [N/mm²]	2660,52	1642,91	3721,96
Biege-Spannung $\sigma_{BZ, max}$ [N/mm²]	60,94	48,98	73,12
Biege-Spannung**) $\sigma_{BZ,}$ [N/mm²]	37,42	28,38	42,31
Biege-E-Modul*) [N/mm²]	3203,77	1982,26	4427,42
Biege-Spannung* $\sigma_{BZ, max}$ [N/mm²]	65,69	52,8	78,42
Biege-Spannung*)**) σ_{BZ} [N/mm²]	40,34	30,6	45,41
Kraft-Weg-Diagramm			
Ausschnitt Kraft-Weg-Diagramm *) mit Berücksichtigung der Krümmung **) Spannung bei Riß der ersten Faser			
Kurzzeitscheiteldruckversuch			
Anfangsringsteifigkeit S_R (gemittelt) [N/mm²]	0,0281		
Umfangs-E-Modul [N/mm²]	2174,49		
Scheiteldruckversuch am Altrohr			
β_{BZR} [kN/m²]	nicht vorhanden		
Dichte des Liners			
ρ [g/cm³]	4,4265		
Charpy-Schlagzähigkeit			
	Schlagzähigkeit [kJ/cm²]	Variationskoeffizient	
Außenschicht / Innenschicht in Zugzone	19,8 / 28,9	12,0 / 34,6	
Dichtheitsprüfung: Dichtheitskriterium erfüllt			

©2001 All rights reserved by GEK mbH

3.4.2.4 Ergebnisse Stadt Münster, Am Getterbach, Glasfaser DN 300, Inpipe, Teerbau, UV-Licht Härtung, Glasfaser mit Polyesterharz, 1989

Optische Untersuchungen und Werkstoffkenndaten



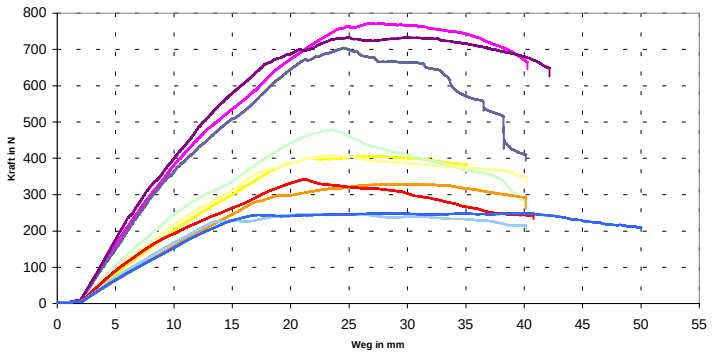
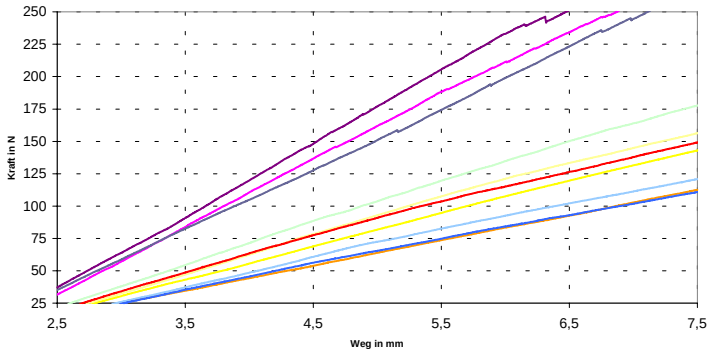
a) Außenfolie mit Harz b) Ablösen der Außenfolie c) Liner ohne Außenfolie

d) gefärbte Lunker (innen) e) gefärbte Lunker f) Harzwulst

Bild 23: Inaugenscheinnahme der entnommenen Proben aus Münster, DN 300, Inpipe, Teerbau, UV-Licht, Glasfaser mit Poyesterharz, 1989

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Tabelle 9: Übersicht der Werkstoffkenndaten des Liners aus Münster, Inpipe 1989

Stadt Münster, DN 300, Inpipe, Teerbau, Glasfaser mit Polyesterharz, UV-Licht 1989			
3-Punkt-Biegeversuch			
	Mittelwert	Kleinster Wert	Größter Wert
Biege-E-Modul [N/mm²]	1096,92	906,74	1607,08
Biege-Spannung $\sigma_{BZ, max}$ [N/mm²]	45,08	30,60	74,71
Biege-E-Modul* [N/mm²]	1321,40	1098,10	1934,76
Biege-Spannung* $\sigma_{BZ, max}$ [N/mm²]	48,60	32,94	80,52
Kraft-Weg-Diagramm			
Ausschnitt Kraft-Weg-Diagramm *) mit Berücksichtigung der Krümmung			
Kurzzeitscheiteldruckversuch			
Anfangsringsteifigkeit S_R (gemittelt) [N/mm²]	0,0080		
Umfangs-E-Modul [N/mm²]	1406,56		
Scheiteldruckversuch am Altrohr ohne Liner			
β_{BZR} [kN/m^2]	10,09		
Dichte des Liner			
ρ [g/cm³]	3,4826		
Charpy-Schlagzähigkeit			
	Schlagzähigkeit [kJ/cm²]	Variationskoeffizient	
Außenschicht / Innenschicht in Zugzone	35,0 / 31,6	31,1 / 13,6	
Dichtheitsprüfung: Dichtheitskriterium erfüllt			

©2001 All rights reserved by GEK mbH

3.5 Auswertung der Ergebnisse

3.5.1 Auswertung der baulichen und umweltrelevanten Untersuchungen

Die älteste ausgeführte Sanierungsmaßnahme wurde in der Stadt **Münster** (1989) untersucht. Es handelt sich hierbei um einen Inliner mit Glasfasergewebe, der mittels UV-Licht ausgehärtet wurde. Dieser Schlauch weist leichte Falten auf (Bild 1).

Bei einer weiteren Schlauchsanierung in der Stadt Münster aus dem Jahre 1991 wurden starke Falten sowie Beulenbildungen über den gesamten Querschnitt verteilt festgestellt werden. Letztgenannter Schlauch besteht aus Nadelfilzgewebe und wurde mit heißem Wasser ausgehärtet. Desweiteren ist zu erkennen, daß sich bedingt durch Materialabtragung an den Querfalten Undichtigkeiten gebildet haben. Es sind auch deutlich freiliegende Fasern zu erkennen. Im Bereich einer Schachtanbindung wurde festgestellt, dass Fremdwasser über die Schachtanbindung in die Kanalisation eintritt (Bild 5).

Da von der Stadt Münster kein Abnahmevideo zur Verfügung steht, kann keine Aussage über den Erfolg der Sanierung dieser beiden Haltungen unter Berücksichtigung des Schadenbildes getroffen werden. Eine Inspektion aus dem Jahre 1995 weist das gleich Schadensbild auf; es ist keine Veränderung zu der im Juli 2000 durchgeführten Inspektion festzustellen.

Bei den in der Stadt **Dortmund** untersuchten Haltungen wurden ausschließlich Schläuche aus polyesterharzgetränktem Nadelfilzgewebe, teilweise mit einer PE-Innenbeschichtung, vorgefunden. Die Härtung erfolgte bei drei Schläuchen mittels heißem Wasser (KM-Inliner) und bei den anderen zwei Schläuchen mittels Heißdampf (Prozess Phönix). Die KM-Inliner wiesen leichte Falten und Beulen auf, die jedoch schon auf den Abnahmevideos zu erkennen waren. Bei einer dieser Haltungen scheint die Naht auseinandergegangen zu sein. Der entstandene Spalt ist jedoch mit Harz gefüllt, was darauf hinweist, dass dieser Mangel schon während des Einbaus entstanden ist. Die Schläuche mit der PE-Innenbeschichtung erwecken einen zufriedenstellenden Eindruck, außer leichter ungleichmäßiger Verfärbungen konnten keine Schäden festgestellt werden.

Die bei der Stadt **Bochum** untersuchten Haltungen wurden ausnahmslos mit Brandenburger Schlauchsystemen saniert. Es handelt sich um lichthärtende Schläuche

©2001 All rights reserved by GEK mbH

aus ECR-Glasfasergewebe. Als Schadensbild wurden teilweise leichte Beulen vorgefunden, die jedoch auf starke Gefälleänderung bzw. Richtungsänderungen der Haltungen zurückzuführen sind. In einer Haltung konnten freiliegende Fasern in der Sohle erkannt werden.

In **Duisburg** wurde ein mit Epoxydharz getränkter Schlauch aus Nadelfilz mit einer PU-Innenbeschichtung eingebaut. Der Schlauch wurde vor Ort getränkt und mittels Heißdampf ausgehärtet. Beulen sind in der gesamten Haltung nicht zu erkennen, am Ende der Haltung ist eine leichte Längsfalte in der Sohle zu sehen. Es wurden Einbaufehler in Form von überstehenden Schlauchenden am Schacht und unsauber aufgefrästen Anschlüssen festgestellt. An einem Schachtanschluss läßt sich ein ca. 5 cm langer Riß im Schlauchgewebe erkennen. In der Haltung selbst sind einige Stellen nachträglich verspachtelt worden. Die Färbung des Schlauches ist gleichmäßig.

Bei den untersuchten Schläuchen im Stadtgebiet **Mönchengladbach** handelt es sich um mit Polyesterharz getränkte Schläuche aus Nadelfilzgewebe. Bei einem Nadelfilzschlauch waren teilweise starke Fleckenbildung und sehr viele Falten, insbesondere Querfalten zu erkennen. Die Stutzen wurden nicht fachgerecht aufgefräst und nicht saniert. Eine sehr starke Beulenbildung in Längsrichtung in der Sohle reduziert am Anfang einer Haltung den Querschnitt um etwa 10 %. Insgesamt macht der Schlauch einen dichten, aber nicht fachgerecht eingebauten Eindruck.

Die bei der Stadt **Gladbeck** untersuchten Haltungen wurden im Jahre 1997 bzw. 1998 mit Glasfasergewebe-Schläuchen saniert. Die Härtung erfolgte bei allen Haltungen mit UV-Licht. Die im Zuge der Sanierung durchgeführten Stutzenverpressungen waren zum Teil nicht erfolgreich; das Material hat sich am Schlauch gelöst und ist dadurch teilweise abgeplatzt. Die leichten Beulen- bzw. Faltenbildungen sind unter hydraulischen Aspekten als nicht relevant einzustufen. Lediglich zwei stärkere Fleckenbildungen mit frei liegenden Trägermaterial konnten hier als Schaden erkannt werden. Eine Dichtheitsprüfung im Labor an Proben aus diesem Bereich zeigte jedoch ein zufriedenstellendes Ergebnis. Für die Bewertung des heutigen Zustandes der sanierten Haltungen wurden die Sichtungsergebnisse von 20 Haltungen zusammengefasst (Tabelle 10). Es wurden 5 Haltungen zusätzlich inspiziert, um die Kriterien für die Auswahl der Entnahmestellen zu verbessern.

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Tabelle 10: Zusammenfassung der Sichtungsergebnisse

Eigentümer	Straße	DN	Haltungslänge	Bericht vor San.	Abnahmevideo	Querfalten	Längsfalten	Querbeulen	Längsbeulen	Färbung ungleichm.	Undichte Stellen	Anschlußleit. Schadh.	Freiliegende Fasern	schadh. Schlauchnaht
Schlauchwerkstoff Glasfaser E-CR														
Stadt Bochum	Klinikstraße	400	57,8	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☑	☐	☐
Stadt Bochum	Klinikstraße	400	10,5	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Stadt Bochum	Stockumer Straße	300	44,98	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Stadt Bochum	Stockumer Straße	300	29,6	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☑	☐
Stadt Gladbeck	Mittelstraße	400	43,1	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☑	☐	☐
Stadt Gladbeck	Mittelstraße	400	43,5	☐	☐	☑	☐	☑	☐	☐	☐	☑	☐	☐
Stadt Gladbeck	Mittelstraße	400	60,9	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☑	☐	☐
Schlauchwerkstoff Glasfaser mit Polyesterharz														
Eigentümer	Straße	DN	Haltungslänge	Bericht vor San.	Abnahmevideo	Querfalten	Längsfalten	Querbeulen	Längsbeulen	Färbung ungleichm.	Undichte Stellen	Anschlußleit. Schadh.	Freiliegende Fasern	Schadh. Schlauchnaht
Stadt Gladbeck	Unverhofft	400	60	☐	☐	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Stadt Gladbeck	Unverhofft	400	61,5	☐	☐	☑	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Stadt Gladbeck	Unverhofft	400	60,75	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Stadt Münster	Am Getterbach	300	56,7	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Schlauchwerkstoff Nadelfilz mit Epoxydharz,														
Eigentümer	Straße	DN	Haltungslänge	Bericht vor San.	Abnahmevideo	Querfalten	Längsfalten	Querbeulen	Längsbeulen	Färbung ungleichm.	Undichte Stellen	Anschlußleit. Schadh.	Freiliegende Fasern	Schadh. Schlauchnaht
Stadt Duisburg	Im Eggenkamp	350	65,93	☐	☑	☐	☑	☑	☐	☑	☐	☑	☐	☐
Schlauchwerkstoff Nadelfilz mit Polyesterharz														
Eigentümer	Straße	DN	Haltungslänge	Bericht vor San.	Abnahmevideo	Querfalten	Längsfalten	Querbeulen	Längsbeulen	Färbung ungleichm.	Undichte Stellen	Anschlußleit. Schadh.	Freiliegende Fasern	Schadh. Schlauchnaht
Stadt Dortmund	Grimmeweg	250	83,3	☐	☐	☐	☑	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☑
Stadt Dortmund	Hagener Straße	300	31	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐
Stadt Dortmund	Hagener Straße	300	29,1	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Stadt Dortmund	Uranusstraße	500	36,1	☑	☑	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Stadt Dortmund	Uranusstraße	500	49,6	☑	☑	☐	☑	☐	☑	☐	☐	☐	☐	☐
Stadt Mönchengladbach	Karmannstraße	300	54,3	☐	☐	☐	☑	☑	☐	☐	☐	☑	☐	☐
Stadt Mönchengladbach	Karmannstraße	300	54,25	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Stadt Mönchengladbach	Viktoriastraße	300	60,78	☐	☐	☑	☑	☐	☐	☑	☐	☐	☐	☐
Stadt	Viktoriastraße	500	90,47	☐	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☐	☑	☐	☐
Stadt Münster	Hoher Heckenweg	300	135,4	☐	☐	☑	☑	☑	☑	☐	☑	☑	☑	☐

©2001 All rights reserved by GEK mbH

An allen untersuchten Haltungen wurden Schäden festgestellt, wobei insbesondere Beulen, Faltenbildungen, und nicht fachgerecht aufgefräßte und eingebundene Anschlüsse zu den häufigsten Schadensgruppen zählen. Die Schäden waren in der Regel örtlich begrenzt und ließen sich in den meisten Fällen, wie z.B. bei Faltenbildung in Längs- und Ringrichtung und fehlerhafter Einbindung seitlicher Zuläufe, eindeutig auf einzelne Ausführungsfehler zurückführen. Ein Vergleich der Inspektionsvideos mit den von den Netzbetreibern zur Verfügung gestellten Abnahmevideos zeigte, daß anhand der TV-Inspektion an keinem Schlauch nennenswerte Veränderungen gegenüber dem Einbauzustand zu erkennen waren.

Bei einigen Schläuchen wurden vereinzelt Faltenbildungen festgestellt, insbesondere Querfalten, die den Wartungsaufwand erhöhen können. In besonderem Maße ist Faltenbildung nur bei der Sanierungmaßnahme eines Eiprofils der Stadt Münster festgestellt worden. Die mangelhafte Kalibrierung des zu sanierenden Kanals in der Vorbereitungsphase zur Sanierungsdurchführung hat in diesem Fall vermutlich zu Fehlern bei der Konfektionierung der Schlauches geführt.

Der Sanierungserfolg muss unter Berücksichtigung der speziellen betrieblichen, umweltrelevanten und baulichen Anforderungen, die mit der jeweiligen Sanierungsmaßnahme verknüpft waren, nur für die Sanierungsmaßnahme Hoher Heckenweg (Stadt Münster) grundsätzlich in Frage gestellt werden. Das damalige Sanierungsziel war u.a. die Dichtheit gegenüber eindringendem Fremdwasser. Die Inspektion weist nach, dass Fremdwasser weiterhin über die Schachteinbindung in die Kanalisation eintritt (Bild 24).

Bild 24: Über die Einbindung des Schachtes eindringendes Fremdwasser, Hoher Heckenweg, Stadt Münster.

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Nach Angabe der Stadt Münster ist die dauerhafte nachträgliche Abdichtung dieser Bereiche äußerst schwierig. Bei der Sanierung des Eiprofils DN 450/300 wurden zudem Fehler bei der Konvektionierung des Schlauches festgestellt, die Quer- und Längsfalten und im Sohlenbereich einen Ringspalt zwischen Liner und Altrohr verursachten.

Die Untersuchung sämtlicher Einbindungen von Anschlusskanälen im Schachtbereich ergab ein weiteres interessantes Ergebnis. Abgefräste Baumwurzeln können zwischen Altrohr und Linerwand nach der Schlauchsanierung weiterwachsen und über undichte Schachteinbindungen oder Hausanschlussstutzen wieder Zugang in das Kanalsystem finden (Bild 25).

Bild 25: Wurzeleinwuchs im Bereich der Einbindung von Anschlusskanälen im Schacht

©2001 All rights reserved by GEK mbH

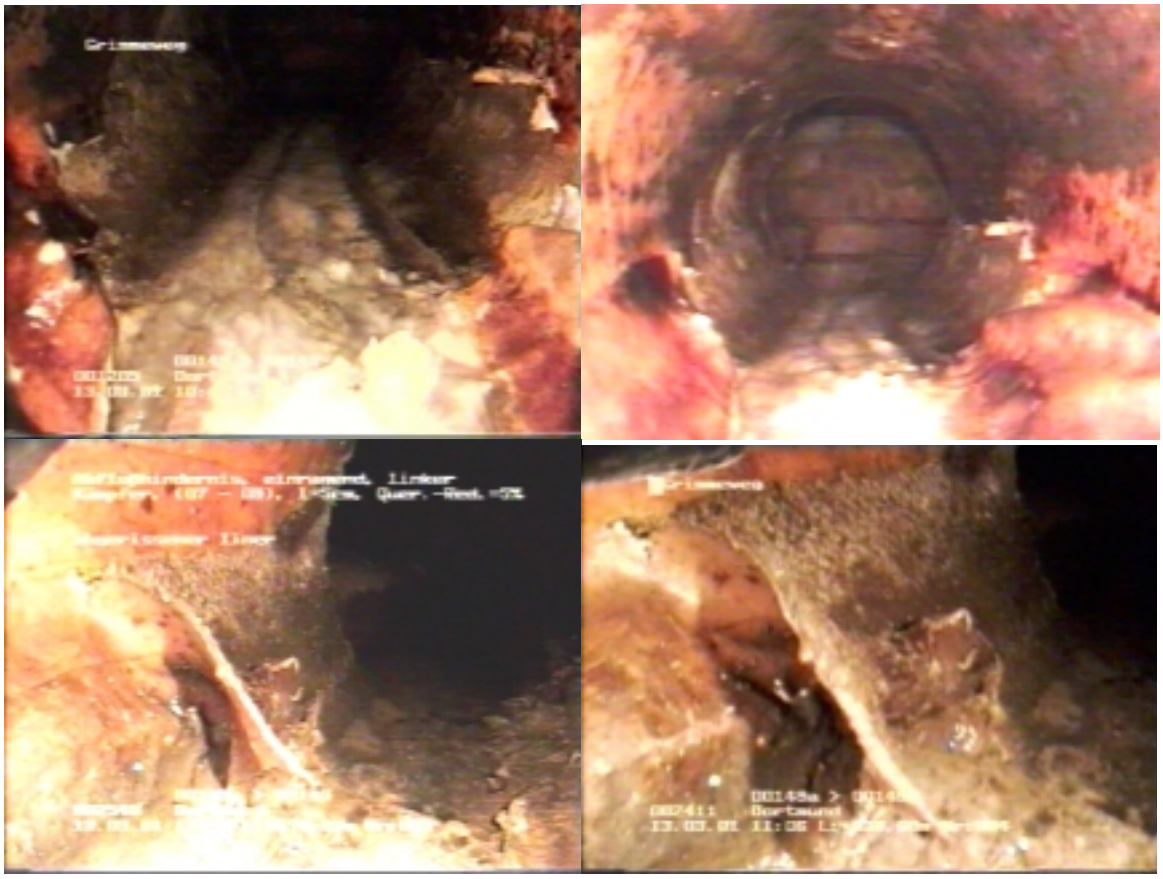


Bild 26: Abgerissener Liner im Bereich der Schachteinbindung

Bild 27: Abgelöster Liner im Bereich des Schachtgerinnes

Eine besondere Häufung von Schäden infolge von Ausführungsfehlern wurde erwartungsgemäß im Bereich der Abzweige und Anschlussstutzen für Hausanschlussleitungen festgestellt. Die Sanierung der Hausanschlussstutzen wurde im Regelfall nicht mit in die Ausschreibung der Gesamtmaßnahme aufgenommen, da zu diesem Zeitpunkt die technischen Möglichkeiten noch nicht in ausreichendem Maße entwickelt waren. Die Hausanschlussstutzen wurden lediglich aufgefräst (Bild 28).

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Bild 28: Schäden im Bereich der Abzweige und Anschlussstutzen für Hausanschlussleitungen, Beispiel

Neben den baulichen und umweltrelevanten Untersuchungen wurden auch weitergehende Untersuchungen an in situ entnommenen Probenkörpern durchgeführt, deren Ergebnisse nachfolgend dargestellt und bewertet werden.

3.5.2 Auswertung der Werkstoffprüfungen

Die betriebliche Funktionsfähigkeit und Dichtheit der Sanierungsmaßnahmen wurde auf der Grundlage der Ergebnisse der Inspektion und Dichtheitsprüfung bewertet. Ergänzend zu den abschnittsweisen Dichtheitsprüfungen in der Haltung wurden im Rahmen der Werkstoffprüfungen Dichtheitsprüfungen mittels Unterdruck (3.4.2.1.4) an drei besonders ausgewählten Linerausschnitten durchgeführt. Es wurden Linerabschnitte mit Luftnestern, unvollständig ausgehärteten Harzbereichen und freiliegenden Fasern herausgeschnitten und geprüft. Bei keiner Probe wurde eine Wasserdurchlässigkeit bei einem Prüfdruck von 0,5 bar Unterdruck festgestellt. Die Ergebnisse der bisher durchgeführten abschnittsweisen Dichtheitsprüfungen an diesen drei Haltungen konnten dadurch bestätigt werden.

Bei der augenscheinlichen Untersuchung der Probenkörper wurden im Schlauchgefüge von Rohrabschnitten des Teerbau Inpipe-Liners der Sanierungsmaßnahme der Stadt Münster (Am Getterbach) Hohlräume festgestellt, die vermutlich durch Lufteinschlüsse entstanden sind (Bild 29). Ursache für die Luftnester im Laminat können ein ungenügender bzw. kurzzeitig abfallender Anpressdruck oder eine Styrolverkochung infolge einer Störung im Härtungsverlauf sein. Hinter der leicht zu lösenden Außenfo-

©2001 All rights reserved by GEK mbH

lie wurde nicht ausgehärtetes Harz mit klebriger Struktur freigelegt, das starken Lösungsmittelgeruch ausdünstete.

Bild 29: Luftnester und nicht ausgehärtete Harzanteile im Laminat (Stadt Münster, Am Getterbach)

Die Ansicht der Schnittkante der Probenkörper zeigte zudem einen unregelmäßigen Verlauf der Wanddicke. Dies ist zum einen von der Materialzusammensetzung abhängig und zum anderen von der Höhe und Kontinuität des aufgebrachten Anpressdruckes während der Einbauzeit.

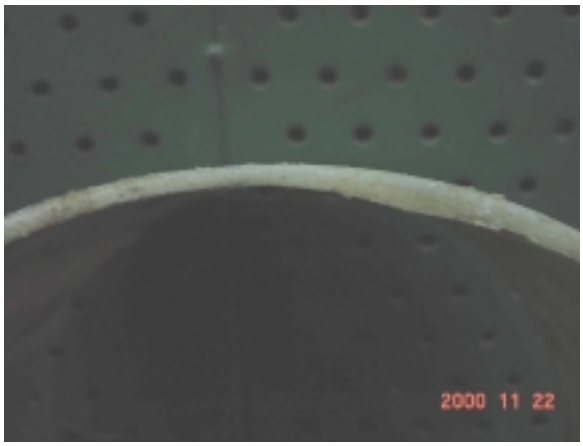


Bild 30: Unregelmäßige Wanddicken des Schlauchliners (Stadt Münster, Am Getterbach)

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Bei den Sanierungsbaustellen der Stadt Münster (Glasfaser DN 300, Inpipe, Teerbau, UV-Licht Härtung, Glasfaser mit Polyesterharz, 1989) und Stadt Gladbeck (Glasfaser DN 400, Flexolining, Betowa, UV-Licht, Glasfaser ECR Polyesterharz) konnten die Rohrabschnitte komplett mit Altrohr entnommen werden. Bei beiden Sanierungsmaßnahmen war kein Ringspalt zwischen Schlauch und Altrohr vorhanden (Bild 31).

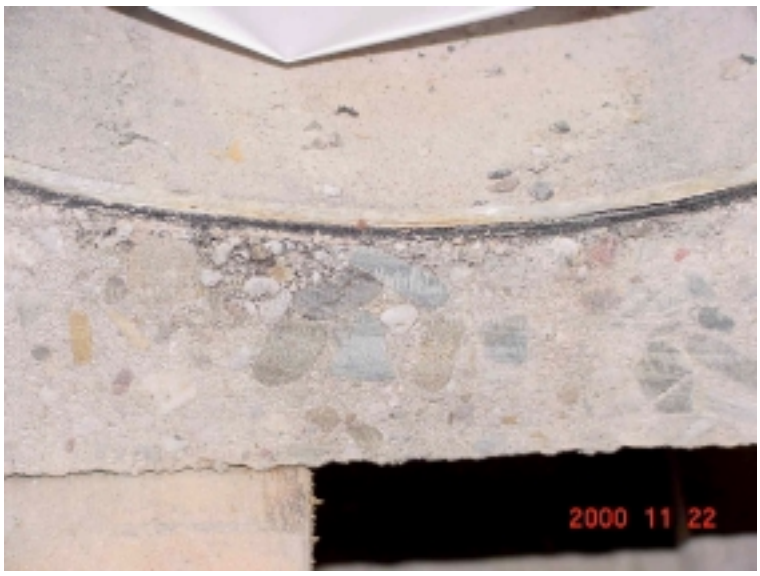


Bild 31: Ansicht des Querschnitts durch Altrohr und Schlauch

Nach der optischen Sichtung der Werkstoffproben wurden die Werkstoffprüfungen durchgeführt. Tabelle 11 zeigt eine Übersicht über die ermittelten Werkstoffkennwerte der drei Sanierungsmaßnahmen der Städte Gladbeck, Mönchengladbach und Münster.

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Tabelle 11: Gesamtübersicht über die ermittelten Werkstoffkennwerten

		Stadt Münster Teerbau Glasfaser DN 300	**Stadt Mönchengladbach Insituform-Brochier Nadelfilz DN 300**	**Stadt Gladbeck Betowa Glasfaser DN 400**
Baujahr		1989	1995	1997
Wanddicke	[mm]	5,7	7,2	4,6
Dichtheitsprüfung		Dichtheitskriterium erfüllt	Dichtheitskriterium erfüllt	Dichtheitskriterium erfüllt
3-Pkt. Biegeversuch Biege-E-Modul	[N/mm²]	1096	2660	4215
3-Pkt. Biegeversuch Biege-E-Modul (mit Krümmung)	[N/mm²]	1321,40	3203,77	4648,64
Kurzzeit-Scheiteldruck Anfangsringsteifigkeit S_R	[N/mm²]	0,0080	0,0281	0,0042
Scheiteldruck am Altrohr β_{BZR}	[KN/m²]	10,09	-	4,17
Kurzzeit-Scheiteldruck Umfangs-E-Modul	[N/mm²]	1406	2174	5158
Charpy-Schlagzähigkeit (Außenschicht in Zugzone)	[mJ/mm²]	35,0	19,8	92,3
Charpy-Schlagzähigkeit (Innenschicht in Zugzone)	[mJ/mm²]	31,6	28,9	46,5
Dichte ρ	[g/cm³]	3,4826	4,4265	2,8394

Die entnommenen Rohrabschnitte waren drei, fünf und elf Jahre der Kanalatmosphäre ausgesetzt. Die beiden Glasfaser-Schläuche weisen geringere Wandstärken (4,6 mm) auf, als der Schlauch aus Nadelfilz (7,2 mm) (*Tabelle 11*). Die Wanddicke eines Schlauches wird entsprechend der statisch geforderten Ringsteifigkeit ausgeführt. Sie errechnet sich aus geforderter Ringsteifigkeit, Rohrradius und Biege E-Modul.

Nach [29] werden die in Tabelle 12 dargestellten Materialkennwerte von heute eingesetzten Schlauchmaterialien erreicht.

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Tabelle 12: Materialkennwerte von Schlauchwerkstoffen nach [29]

Wandaufbau	Biegefestigkeit in N/mm²	E-Modul in N/mm²
UP-Harz Synthesefaser	22 - 25	2.000 – 2.500
UP-Harz Synthesefaser mit anorganischem Füllstoff	40 - 45	3.000 – 3.600
UP-Harz Textilglas – Verbund	~ 150	5.000 – 6.000
UP-Harz Textilglaskomplex	~ 240	~ 10.000
UP-Harz Textilglas- Mischlaminat	~ 300	~ 12.000

Der Vergleich der Materialkennwerte der verschiedenen Schlauchsysteme zeigt, dass Glasfaserschläuche in der Lage sind, die geforderte Ringsteifigkeit mit einer dünneren Wandstärke zu erreichen, da das E-Modul des Harzes durch die Textilfaserprodukte erheblich erhöht werden kann.

Dies ist jedoch für die Bewertung der Sanierungsmaßnahmen von untergeordneter Bedeutung. Entscheidend ist vielmehr, ob die Materialkennwerte für den jeweiligen Schlauch ausreichend sind, um die statisch geforderte Ringsteifigkeit nachweisen zu können. Die Ergebnisse der Werkstoffprüfungen an den entnommenen Rohrabschnitten wurden daher zunächst mit den Annahmen der zum Zeitpunkt der Sanierung vorliegenden Statik und den unmittelbar nach der Sanierung durchgeführten Materialprüfungen verglichen.

Für die Baumaßnahme der Stadt Münster lagen keine statischen Nachweisunterlagen vor. Für die Schlauchsanierungen in Gladbeck und Mönchengladbach liegen statische Berechnungen vor, die auf der Grundlage des ATV Arbeitsblattes 127 (12.88) [30] erstellt wurden. Die von den Firmen angegebenen Wandstärken konnten durch die Messungen an den entnommenen Rohrabschnitten bestätigt werden (Abweichungen unterhalb 5 %, Tabelle 13)

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Tabelle 13: Vergleich der geprüften Materialkennwerte mit den Werten aus der Statik nach Firmenangaben

Materialkennwerte		Stadt Gladbeck Mittelstraße Glasfaser DN 400		Stadt Mönchengladbach Karmanstr. Nadelfilz DN 300	
		Firmen-angaben	IKT-Prüfun-gen	Firmen-angaben	IKT-Prüfungen
Wanddicke	[mm]	4,4	4,6	7,5	7,2
Vorverformung	[%]	-	-	-	12
Biegefestigkeit σ_{max}	[N/mm²]	173	56	18	61
Biege-E-Modul	[N/mm²]	5009	4216	1300	2660
Statische Sicherheit	[-]	3,28	1,06	2,36	k.A.

Für die Baumaßnahme der Stadt Gladbeck wurden die von den Firmen angegebenen Materialkenngrößen zu Biegefestigkeit und Biege-E-Modul durch die im Rahmen der Werkstoffprüfungen festgestellten Werte erheblich unterschritten (rote Kennzeichnung). Die Ursache hierfür ist wahrscheinlich in einem fehlerhaften Einbau des Liners ohne genügende Durchhärtung des Harzes zu sehen (s. Tabelle 14 nach [31]). Setzt man die in der Prüfung ermittelten Materialkenngrößen in die damalige statische Berechnung ein, verringert sich die statische Sicherheit signifikant.

Tabelle 14: Bewertungsschema zur Auswertung der Materialkennwerte nach [31]

Materialkennwerte	Prüfergebnisse bezogen auf Sollwert	Bewertung
E_b [N/mm²]	≥	Vollständige Aushärtung und ausreichender Druckaufbau zur Linerwandverdichtung
σ_{bB} [N/mm²]	≥	
Wanddicke [m]	=	
E_b [N/mm²]	<	Ausreichende Verdichtung der Linerwand, korrekter Einbau, unvollständige Aushärtung
σ_{bB} [N/mm²]	=	
Wanddicke [m]	=	
E_b [N/mm²]	<	a) ungeeignete Probe ggf. aus Endschacht ohne Verdichtungsdruck b) fehlerhafter Einbau, ungenügende Durchhärtung, ggf. erhöhte Wassereinwirkung
σ_{bB} [N/mm²]	<	
Wanddicke [m]	≥	

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Die Firmenangaben bzgl. Biegefestigkeit und Biege-E-Modul wurden für die Baumaßnahme der Stadt Mönchengladbach (Karmanstraße) durch die Prüfungsergebnisse bestätigt. Es wurden sogar erheblich höhere Werte festgestellt. Dies lässt darauf schließen, das Verdichtung und Aushärtung des Harzes während der Bauausführung korrekt erfolgt sind. Allerdings zeigte die Vermessung des Schlauchliners eine starke Verformung von ca. 12 % bezogen auf den Durchmesser des kreisrunden Rohres (Bild 14).

Während des Ausbaus des Rohrabschnittes in der Karmannstraße zerfiel das Altrohr (Steinzeugrohr DN 300) in vier Segmente, da in den Viertelspunkten von Sohle, Kämpfer und Scheitel durchgehende Längsrisse vorhanden waren. Bei der optischen Untersuchung des Rohrabschnittes wurden ausgeprägte Harzwülste im Scheitel und Sohlbereich festgestellt (Bild 32). Dies läßt vermuten, dass das Altrohr schon zum Sanierungszeitpunkt gerissen und stark verformt war. Durch den Anpressdruck des Schlauches wurde während der Sanierung überschüssiges Harz in die Risse von Scheitel und Sohle gedrückt und bildete die o.a. Harzwülste.

Bild 32: Harzwülste im Scheitelbereich (Rohrabschnitt Karmannstr.)

Nach dem Ausbau des Rohres konnte keine Rückverformung des Rohrquerschnitts gemessen werden. Dies weist ebenfalls daraufhin, dass die Verformung schon zum Sanierungszeitpunkt vorlag.

In den statischen Berechnungen der ausführenden Sanierungsfirma wurde diese ausgeprägte Vorverformung nicht berücksichtigt. Der Nachweis der statischen Trag-

©2001 All rights reserved by GEK mbH

fähigkeit und die errechneten Sicherheiten sind daher durch die vorhandenen Unterlagen nicht zu belegen. Nach [31] ist die „Durchführung von Sanierungsmaßnahmen unter Verwendung von Schlauchrelining nur dann sinnvoll, wenn der Zustand des Altkanalrohres keine Vorverformungen über 3% des ursprünglichen Durchmessers aufweisen.“ Von dem ausführenden Unternehmen sind bei einer Vorverformung von 12% entweder besondere statische Nachweise zu erbringen, die diese Randbedingung berücksichtigen oder Bedenken gegen die geplante Sanierung zu äußern.

Neben den 3-Punkt-Biegeversuchen an Ausschnitten des Rohrquerschnittes wurden Kurzzeit-Scheiteldruckversuche an kompletten Schlauchlinerabschnitten durchgeführt (3.4.2.1.5) und der Umfangs-E-Modul bestimmt. Der Vergleich zeigt, dass das E-Modul des Scheiteldruckversuches für zwei von drei Sanierungen um ca. 25 % über dem Wert aus dem 3-Punkt-Biegeversuch liegt. Für die Sanierungsmaßnahme in der Karmanstraße der Stadt Mönchengladbach (12 % Vorverformung) wird das Ergebnis des 3-Pkt.-Biegeversuchs durch den Scheiteldruckversuch jedoch um 18 % deutlich unterschritten (Tabelle 15).

Die Ursache ist vermutlich, dass zum einen durch die oben bereits diskutierte starke Verformung des Linerquerschnittes das Tragverhalten des Gesamtsystems tatsächlich stark beeinträchtigt wird und zum anderen die Berechnungsansätze von einem runden Kreisprofil ausgehen und daher für den Fall einer extremen Vorverformung nur eingeschränkt aussagefähig sind. Bei der Prüfung von kurzen, aus dem Gesamtprofil herausgesägten Linerausschnitten im Rahmen des 3-Pkt.-Biegeversuchs ist der Einfluss der Vorverformung nicht nachweisbar.

Tabelle 15: E-Modul Vergleich aus 3-Pkt.-Biegeversuch und Scheiteldruckversuch

	Stadt Gladbeck Mittelstraße Glasfaser DN 400	**Stadt Mönchengladbach Karmanstr Nadelfilz DN 300**	**Stadt Münster Am Getterbach Glasfaser DN 300**
Biege-E-Modul 3-Pkt.-Biegeversuch [N/mm²]	4215 (100 %)	2661 (100 %)	1097 (100 %)
Umfangs-E-Modul Scheiteldruckversuch [N/mm²]	5158 (122 %)	2174 (82 %)	1406 (128 %)
Biege-E-Modul [N/mm²] 3-Pkt.-Biegeversuch *(mit Krümmung)*	4649 (110 %)	3204 (120 %)	1321 (120 %)

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Nach dem derzeitigen Normenwerk wird die Krümmung der Probe bei der Bestimmung des Biege-E-Moduls durch den 3-Pkt.-Biegeversuch nicht berücksichtigt. In dem Merkblatt „Qualitätssicherung von Schlauchlinern“ [32] ist jedoch eine Berechnungsmethode dazu entwickelt worden. In der untersten Zeile der Tabelle 15 sind die Ergebnisse unter Berücksichtigung der Krümmung für die drei Sanierungsmaßnahmen dargestellt. Die Berücksichtigung der Krümmung des Probenkörpers führt danach zu einer Erhöhung des Biege-E-Moduls von 10 – 20 Prozent gegenüber den Berechnungswerten nach Norm. Für die Sanierungsmaßnahmen Gladbeck und Münster ergibt sich somit eine Annäherung der E-Moduli aus 3-Punkt-Biegeversuch und Scheiteldruckversuch. Für die Sanierungsmaßnahme der Stadt Mönchengladbach wird die Diskrepanz zwischen diesen E-Moduli jedoch zwangsläufig umso größer, da das E-Modul aus dem Scheiteldruckversuch bereits unterhalb der Werte aus dem 3-Pkt.-Biegeversuch liegt.

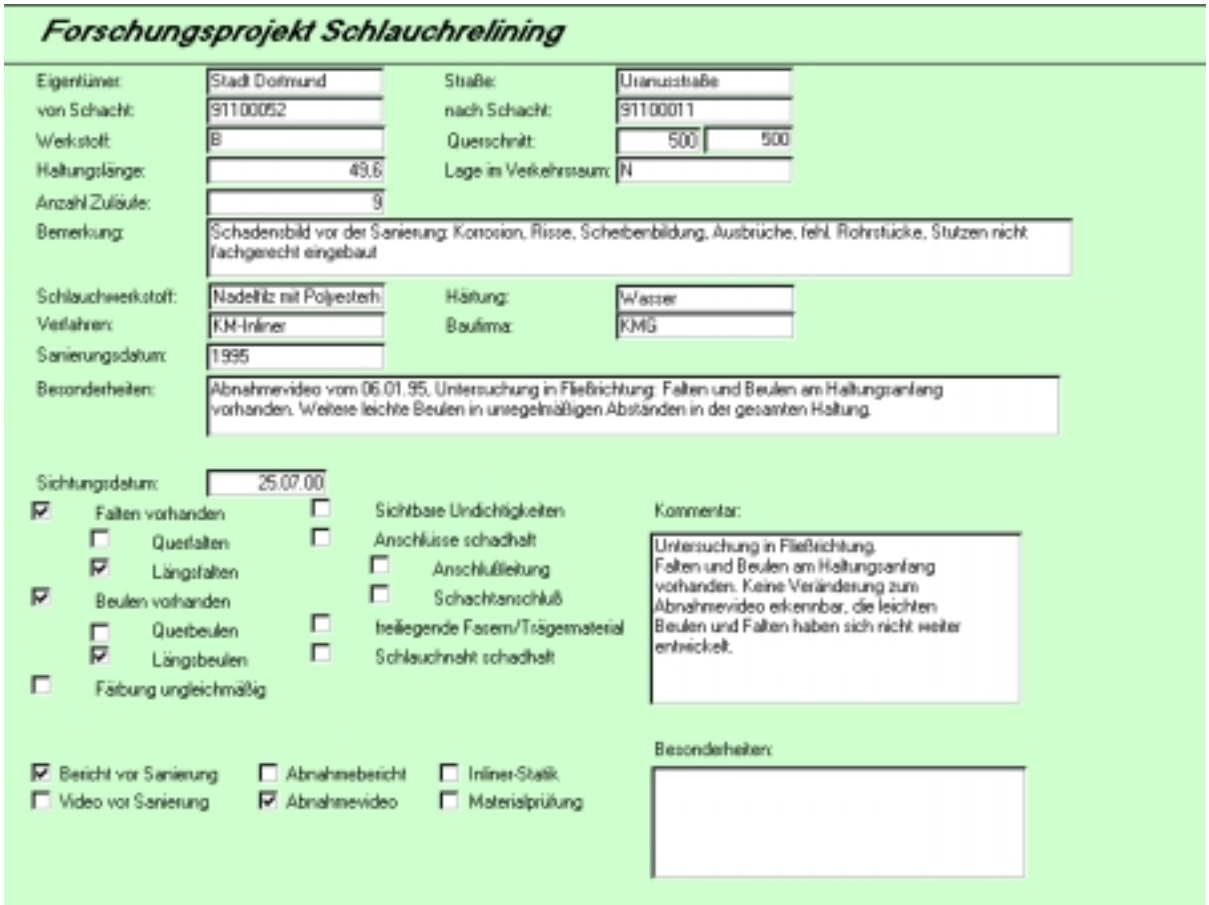
Das Linermaterial (Bild 33), welches nach dem herausschneiden der Probenkörper und den Werkstoffprüfungen übrig geblieben ist, muß entsorgt werden. Nach einer Preisanfrage wird das Material als Sondermüll deklariert und kann für 260 DM/to (netto) entsorgt werden.

Bild 33: Probenreste

©2001 All rights reserved by GEK mbH

3.6 Darstellung aller verfügbaren Daten in einer Datenbank

Sämtliche Daten, die zu den Sanierungsmaßnahmen recherchiert wurden, sind strukturiert in einer Datenbank aufgenommen worden. Weitere Untersuchungsergebnisse können durch die erarbeitete Struktur leicht ergänzt werden. Die Datenbank ermöglicht anwendungsorientierte Abfragen, die in Datenblättern dargestellt werden (Bild 34, Beispiel).



Forschungsprojekt Schlauchrelining

Eigentümer: Stadt Dortmund
Straße: Uranusstraße
von Schacht: 91100052
nach Schacht: 91100011
Werkstoff: B
Querschnitt: 500 500
Haltungslänge: 49,6
Lage im Verkehrsraum: N
Anzahl Zuläufe: 9
Bemerkung: Schadensbild vor der Sanierung: Korrosion, Risse, Scherbenbildung, Ausbrüche, fehl. Rohrstücke, Stutzen nicht fachgerecht eingebaut
Schlauchwerkstoff: Nadelfilz mit Polyesterh
Härtung: Wasser
Verfahren: KM-Inliner
Baufirma: KMG
Sanierungsdatum: 1995
Besonderheiten: Abnahmevideo vom 06.01.95. Untersuchung in Fließrichtung: Falten und Beulen am Haltungsanfang vorhanden. Weitere leichte Beulen in unregelmäßigen Abständen in der gesamten Haltung.

Sichtungsdatum: 25.07.00

- [x] Falten vorhanden
  - [ ] Querfalten
  - [x] Längsfalten
- [x] Beulen vorhanden
  - [ ] Querbeulen
  - [x] Längsbeulen
- [ ] Färbung ungleichmäßig
- [ ] Sichtbare Undichtigkeiten
- [ ] Anschlüsse schadhaft
  - [ ] Anschlußleitung
  - [ ] Schachtanschluß
- [ ] beiliegende Fasern/Trägermaterial
- [ ] Schlauchnaht schadhaft

Kommentar: Untersuchung in Fließrichtung. Falten und Beulen am Haltungsanfang vorhanden. Keine Veränderung zum Abnahmevideo erkennbar, die leichten Beulen und Falten haben sich nicht weiter entwickelt.

- [x] Bericht vor Sanierung
- [ ] Video vor Sanierung
- [ ] Abnahmebericht
- [x] Abnahmevideo
- [ ] Inliner-Statik
- [ ] Materialprüfung

Besonderheiten:

Bild 34: Auszug aus der erstellten Sanierungsdatenbank, Beispielabfrage

©2001 All rights reserved by GEK mbH

4 Schlussfolgerungen/Zusammenfassung

Die Bestandsaufnahme der verfügbaren Daten (Stammdaten, Schadensprotokolle, Ausschreibungsunterlagen, Abnahmeprotokolle u.a.) für die untersuchten Sanierungsmaßnahmen bei den Netzbetreibern hat gezeigt, dass oftmals nur eine lückenhafte Dokumentation vorliegt (insbesondere statische Nachweise). In der Regel wurde auf Qualitätsprüfungen und Baustellenproben verzichtet. In den Ausschreibungen fehlen darüber hinaus z.T. weitergehende Anforderungen an die Ausführung und Qualität der Sanierungsmaßnahme, z.B. hinsichtlich der Umweltverträglichkeit der einzusetzenden Harzkomponenten, der Materialkennwerte und der Ausbildung der Hausanschlüsse. Auch fehlen Protokolle über den Temperatur- und Druckverlauf der Wasserfüllung während der Aushärtung des Liners sowie über die angewendeten Einziehkräfte. Hier sind deutliche Unterschiede zu den heute geforderten Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Ausführung von Sanierungen mit dem Schlauchrelining zu verzeichnen (vgl. ATV, GSTT, RSV, Güteschutz Kanalbau u.a.). Da die zum Sanierungszeitpunkt erzielte Qualität nicht geprüft und dokumentiert worden ist, läßt sich auch die maximale Nutzungsdauer der betrachteten Sanierungsstrecken schwerlich einschätzen.

Der gegenwärtige Zustand der mit Schlauchrelining sanierten Kanalhaltungen wurde auf Basis von aktuellen, im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten TV-Inspektionen und Dichtheitsprüfungen bewertet. An allen untersuchten Haltungen wurden Schäden festgestellt. Diese waren in der Regel örtlich begrenzt und ließen sich in den meisten Fällen, wie z.B. bei Faltenbildung in Längs- und Ringrichtung und fehlerhafter Einbindung seitlicher Zuläufe, eindeutig auf einzelne Ausführungsfehler zurückführen. Für acht der fünfzehn untersuchten Haltungen wurde zum Sanierungszeitpunkt ein Abnahmevideo erstellt, auf dem die Mehrzahl dieser Schäden bereits erkennbar waren. Bei dem Vergleich mit den neuen Inspektionsdaten konnten keine nennenswerten Veränderungen des Liners durch betrieblichen Einfluß (Dauer 2 bis 5 Jahre) festgestellt werden.

Nach Angaben der Netzbetreiber wurden bei den betrachteten Sanierungsfällen durch die ausführenden Firmen gesonderte Maßnahmen zur Einbindung der seitlichen Zuläufe nicht angeboten und dementsprechend auch nicht ausgeführt. 74 %

©2001 All rights reserved by GEK mbH

der seitlichen Zuläufe wurden nur aufgefräst. Die Folge sind Undichtigkeiten durch Hinterläufigkeiten im Ringspalt zwischen Linerwand und Altrohr. Bei 6 mit Mörtel verpressten Anschlußstutzen wurde eine Dichtheitsprüfung des Anschlussbereiches mit einem speziellen 3- Packer-Prüfsystem durchgeführt. Keiner der sanierten Anschlußstutzen erfüllte jedoch die Prüfkriterien der Dichtheitsprüfung mit Luft nach DIN EN 1610.

Im Bereich der Schachteinbindung wurde der Liner lediglich bündig mit der Schachtwandung abgeschnitten. Dies kann zu einer Schwachstelle werden, die Folgeschäden aufgrund betrieblicher Beanspruchungen begünstigt. Bei zwei Schachteinbindungen wurde der Liner auf einer Länge von ca. 0,5 m komplett abgerissen, vermutlich infolge der Beanspruchung durch Hochdruckwasserstrahlen aus der Kanalreinigung.

Wie bei den Anschlussstutzen kann es auch bei der Schachteinbindung zu Undichtigkeiten infolge von Hinterläufigkeiten im Ringspalt zwischen Linerwand und Altrohr kommen. Dies belegen zahlreiche aktuelle Inspektionsdaten. So wurde der Einwuchs von Baumwurzeln festgestellt, die über Risse oder undichte Zuläufe im Altrohr in den Ringspalt eingedrungen und über die Schachteinbindung in den Schacht eingewachsen sind.

Mit Blick auf die Schäden im Bereich der Schachteinbindung und der seitlichen Zuläufe wird empfohlen, die Sanierung dieser Bereiche in jedem Falle auch in der Ausschreibung zu berücksichtigen, die Ausführungqualität zu überwachen und durch Inspektion und Dichtheitsprüfung zu kontrollieren.

Eine abschnittsweise Dichtheitsprüfung der Haltungsbereiche zwischen den seitlichen Zuläufen mit Luftüberdruck führte in zwei Fällen ebenfalls zu *nicht* zufriedenstellenden Ergebnissen. In den geprüften Abschnitten wurden die Dichtheitskriterien des ATV –M 143 T.6 nicht erfüllt. Eine erneute Dichtheitsprüfung - jedoch mit Wasser als Prüfmedium - ist zwar zulässig, für den beschriebenen Anwendungsfall existieren derzeit allerdings noch keine marktreifen Prüfsysteme.

Erwartungsgemäß zeigten die ältesten Sanierungsstrecken aus dem Jahre 1989 den schlechtesten Zustand. Hier wurden neben den o.a. Schäden zusätzlich Lufteinschlüsse (Lunker) und über fehlerhaft ausgeführte Schachteinbindungen eindringen-

©2001 All rights reserved by GEK mbH

des Fremdwasser festgestellt. Die vorgefundenen Schadensarten sind mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Fehler während der Bauausführung zurückzuführen. Dies bestätigt auch ein Vergleich der Ergebnisse der ersten TV-Inspektion aus dem Jahre 1995 mit den aktuellen Erhebungen. So konnte keine optisch feststellbare Zustandsänderung nachgewiesen werden, die auf betriebliche Beanspruchungen als maßgebende Schadensursache zurückzuführen wäre. Da ähnliche Schadensbilder bei neueren Baumaßnahmen nur in deutlich geringerem Umfang beobachtet wurden, könnte von einer Verbesserung der Schlauchverfahren infolge technischer Weiterentwicklungen sowie intensiveren Qualtätssicherungsmaßnahmen ausgegangen werden.

Bei drei der fünfzehn untersuchten Haltungen wurden durch Aufgrabungen 2 m lange, sanierte Rohrabschnitte entnommen und Werkstoffprüfungen zur Bestimmung der Materialkennwerte des Schlauchliners sowie Systemprüfungen an Liner und Altrohr durchgeführt. Die drei ausgewählten Sanierungsfälle erfüllten die Dichtheitskriterien der abschnittsweisen Luftüberdruckprüfung. Zusätzlich konnte die Linerwand anhand von Einzelausschnitten im Labor untersucht werden. Es wurden Linerausschnitte mit Lufteinschlüssen (Lunkern), Bereichen unvollständiger Aushärtung und freiliegenden Fasern herausgeschnitten und mit 0,5 bar Unterdruck geprüft. Durchlässigkeiten wurden bei keiner Prüfung beobachtet. Die Laboruntersuchungen bestätigten die Ergebnisse der abschnittsweisen Dichtheitsprüfungen.

Zur Bestimmung des statischen Tragverhaltens des Liners wurden bei den o.a. drei ausgewählten Sanierungsfällen die Materialkennwerte ermittelt und mit den Ansätzen in der statischen Berechnung und ggf. mit den Ergebnissen der damals durchgeführten Werkstoffprüfungen verglichen. In einem Fall wurden die in der statischen Berechnung getroffenen Annahmen für die Materialkennwerte erheblich unterschritten. Die im statischen Nachweis geforderte Sicherheit wurde nicht mehr erfüllt. In einem zweiten Fall wurde eine Verformung des Liners von nahezu 12 % gegenüber dem ursprünglichen Rohrdurchmesser festgestellt, die in der damaligen statischen Berechnung nicht berücksichtigt worden ist. Auch hier muss davon ausgegangen werden, dass die geforderte Sicherheit nicht mehr gegeben ist. In dem dritten Fall wurden unter der Außenfolie des Liners zahlreiche Lufteinschlüsse (Lunker) sowie eine klebrige Oberfläche festgestellt. Nach dem Entfernen der Folie dünstete das

©2001 All rights reserved by GEK mbH

Harz trotz des Probenalters von 11 Jahren unter starkem Lösungsmittelgeruch aus. Darüber hinaus wurden unterschiedliche Wanddicken über den Linerquerschnitt festgestellt. Dieses ist ein Hinweis dafür, das Materialzusammensetzung und Anpressdruck nicht optimal abgestimmt waren und so der Aushärtungsvorgang gestört wurde.

Die Untersuchungsergebnisse und insbesondere die Werkstoff- und Systemprüfungen zeigen, dass funktionsfähige und dichte Schlauchliner die statisch erforderlichen Materialkennwerte u.U. nicht erreichen. Es ist nicht auszuschließen, dass die Nutzungsdauer von Schlauchlinern dadurch erheblich verringert wird. Zur Klärung dieses Sachverhaltes sind weitere vergleichende Untersuchungen erforderlich.

Die abschnittsweisen Dichtheitsprüfungen mit Luft erforderten einen hohen technischen und zeitlichen Aufwand. Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung erzielten Prüfergebnisse legen jedoch die Überprüfung der Dichtheit des Liners sowie der Schachteinbindung und der seitlichen Zuläufe nahe - beispielsweise im Rahmen der Gewährleistungsabnahme.

©2001 All rights reserved by GEK mbH

5 Literatur

[1] Deutsche Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen (GSTT): GSTT-Informationen Nr. 1: Grabenlose Verfahren der Schadensbehebung in nicht begehbaren Abwasserleitungen.

[2] Rothe, K.: Die Werkstoffauswahl für das Rohr - ein wesentliches Element der Planung am Beispiel der Ortskanalisation. Steinzeug-Information (1983/84), S. 35-38.

[3] DIN EN 752-1: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 1: Allgemeines und Definitionen (01.96).

[4] DIN 31051: Instandhaltung, Begriffe und Maßnahmen (01.85).

[5] Stein, D.: Sanierung von Abwasserkanälen, Korrespondenz Abwasser (1999), H 7, S. 1058-1067.

[6] DIN EN 752-5: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden; Teil 5: Sanierung (11.97).

[7] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisationen. 3. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin 1998.

[8] Dilg, R.: Sanierung eines Hauptsammlers unter der Weißeritz. tis (1999), Heft 4, S 13 – 17.

[9] ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und –leitungen, Teil 3: Relining (04.93).

[10] DIN 18820: Laminate aus textilfaserverstärkten ungesättigten Polyester- und Phenacrylatharzen für tragende Bauteile (GF-UP, GF-PHA); Teil 1: Aufbau, Herstellung, Eigenschaften (03.91); Teil 2: Physikalische Kennwerte der Regellaminate (03.91); Teil 3: Schutzmaßnahme für das tragende Laminat (03.91); Teil 4: Prüfung und Güteüberwachung (03.91).

[11] Erhaltung nichtbegehbarer Kanäle. Bundesamt für Konjunkturfragen, Schweiz (1993).

©2001 All rights reserved by GEK mbH

[12] Dilg, R.: Insituform Schlauchrelining-Verfahren, Anwendungsbereiche, Entwicklungen. Dokumentation Wolfsburger Bautage, 2. Ausstellungskongreß „Abwasserbehandlung“, Wolfsburg 1991.

[13] DIN 16945: Reaktionsharze, Reaktionsmittel und Reaktionsharzmassen; Prüfverfahren (03.89).

[14] DIN 16946: Reaktionsharzformstoffe, Gießharzformstoffe; Teil 1: Prüfverfahren (03.89); Teil 2: Typen (03.89).

[15] Wagner, V.: Korrosionsschutzarbeiten für ein Vorflutsiel in Hamburg. Tiefbau Ingenieurbau Straßenbau (TIS) 26 (1984), H. 2, S. 85-88.

[16] Firmeninformation Rausch GmbH & Co., Siegmarzell.

[17] Firmeninformation Iseki Polytech Inc., Tokio, Japan.

[18] Dilg, R.: Instandhaltung von Anschlusskanälen und Grundleitungen - Technische Möglichkeiten und Grenzen von Verfahren. 3R international 37 (1998), H. 1, S. 40-47.

[19] New Variety of Soft Lining. Underground (1986), H. 3, S. 31.

[20] Hoppe, F.; Brüchmann, D.: Sanierung von gemauerten Klasse-Sielen; Schlauchrelining für Ei-Profile. Bauwirtschaftliche Informationen (1993), H. 5.

[21] Moll, R.: Entwicklung eines Schlauchrelining-Verfahrens mit Hausanschlussherstellung. Dokumentation 5. Internationaler Leitungsbau Kongreß Hamburg 1996, S. 249-258.

[22] ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und –leitungen, Teil 2: Optische Inspektion (06.91).

[23] Firmeninformation DMT GmbH, Essen

[24] ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und –leitungen, Teil 6: Dichtheitsprüfungen bestehender, erdüberschütteter Abwasserleitungen und –kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck (06.98).

©2001 All rights reserved by GEK mbH

[25] DIN 53479: Prüfung von Kunststoffen und Elastomeren, Bestimmung und Dichte (07.96).

[26] DIN EN ISO 14125: Faserverstärkte Kunststoffe. Bestimmung der Biegeeigenschaften (06.98).

[27] DIN EN ISO 179: Kunststoffe; Bestimmung der Charpy-Schlagzähigkeit (03.97).

[28] Kanalsanierung mit Schlauchrelining – Qualitätssicherung. Schriftenreihe aus dem Institut für Rohrleitungsbau an der Fachhochschule Oldenburg, Meinert. Hrsg.: Hans Jürgen John und Joachim Lenz. Essen, Vulkan-Verlag 1999.

[29] Siebert, S.: Stand der Technik – Qualitätssicherung, Vortrag SKZ-Seminar Halle 1999.

[30] ATV A 127: Statische Berechnung von Abwasserkanälen und –leitungen (12.88).

[31] Fehler in der Kanalsanierung. Schriftenreihe aus dem Institut für Rohrleitungsbau an der Fachhochschule Oldenburg, Band 14. Hrsg.: Hans Jürgen John und Joachim Lenz. Essen, Vulkan-Verlag 1998.

[32] Landesgewerbeanstalt Bayern (LGA): Merkblatt Qualitätssicherung von Schlauchlinern. Entwurf, 1998.

©2001 All rights reserved by GEK mbH