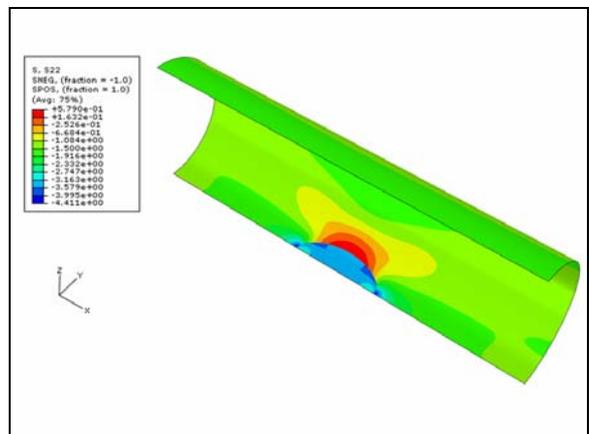
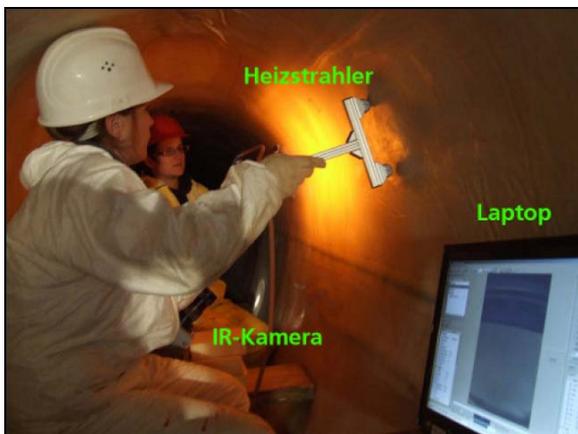


Kurzbericht

Abnahme von Liningmaßnahmen

- Materialnachweise und Bewertung der Liningqualität -



Auftraggeber:



Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz des
Landes Nordrhein-Westfalen

Bearbeitung:



IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

WISSENSCHAFTLICHE LEITUNG

Dr.-Ing. Bert Bosseler

PROJEKTLEITUNG UND BEARBEITUNG

Dipl.-Ing. Oliver Sokoll

Dipl.-Ing. Bianca Diburg

Dipl.-Ing. Sebastian Beck

BILDNACHWEIS FÜR DIE TITELSEITE

1. Reihe links: Einzug eines GFK-Schlauchliners [Foto: IKT]
rechts: Probenentnahmestelle in einer Kanalhaltung [Foto: IKT]
2. Reihe links: Messaufbau der Wärmefluss-Thermographie im Kanal [Foto: IKT]
rechts: Mit FE-Simulation ermittelte Umfangsspannung [Foto: FH Münster]

DANKSAGUNG

Den Vertretern der Netzbetreiber im IKT-Lenkungskreis danken wir für die zahlreichen Anregungen und die fachliche Diskussion:

- Stefan Berghaus, Stadt Monheim am Rhein
- Karl-Heinz Böhm, Abwasserwerk Stadt Altena
- Rüdiger Bremke, Stadtentwässerung Schwerte GmbH
- Dieter Drieschner (Sprecher), Stadt Hilden
- Uwe Dworaczek, IAB Immobilien- und Abwasserbetrieb Herford
- Thomas Feisel, Wuppertaler Stadtwerke AG
- Manfred Fiedler, Stadtentwässerung Göttingen
- Jörg Gisselmann, Technische Werke Emmerich am Rhein GmbH
- Nadine Groschupp, Stadt Alsdorf / Eigenbetrieb Technische Dienste
- Frank Großklags, Stadt Bochum
- Frank Hermanns, Stadtwerke Aachen AG
- Elke Hinrichs, Stadt Lemgo
- Volker Hülshorst, Stadtwerke Essen AG
- Beate Ihde, Stadtwerke Essen AG
- Ralph Imping, Stadt Dinslaken
- Thomas Klemm, Schwalmthalwerke AöR
- Dirk Koch, Stadtentwässerung Neuss
- Carsten Kornmaier, Stadt Herten
- Erich Kretzschmar, Stadtwerke Aachen AG
- Helmut Künnemeyer, Entsorgungsbetriebe der Stadt Warendorf
- Birgit Mucke, IAB Immobilien- und Abwasserbetrieb Herford
- Frank Restemeyer, Stadt Gladbeck
- Manfred Röttgers, Wuppertaler Stadtwerke AG
- Uwe Säck, Stadt Detmold
- Bernd Schäfer, Entwässerung Stadt Witten (ESW)
- Olaf Schmidt, Stadt Dortmund
- Andreas Schneider, Stadtentwässerungsbetrieb Düsseldorf
- Klaus Schultz, Umweltbetrieb der Stadt Bielefeld
- Georg Straff, Stadtentwässerung Köln AöR
- Andreas Vogel, Wasserverband Vorsfelde und Umgebung KdöR / Kooperation Wasser Aller Oker Leine (KOWA)
- Hermann-Josef Vogt, Entsorgungs- und Servicebetrieb Bocholt (ESB)
- Arnold Waldera, Stadt Datteln
- Thomas Wiedemann, Stadt Recklinghausen
- Olaf Wunsch, Deutsche Bahn AG

Darüber hinaus danken wir den Lenkungsmitgliedern und ihren Kommunen für die Möglichkeit zur Umsetzung der praktischen Untersuchungen in den Kanalnetzen. Ein besonderer Dank gilt Frau Dipl.-Ing. C. Körner, Stadtentwässerungsbetriebe Köln, die als Bauleiterin wesentlich zum Gelingen der in Kapitel 6 beschriebenen In-situ-Untersuchungen beigetragen hat.

Darüber hinaus danken wir den 22 süddeutschen Kommunen, die am IKT-Süd das Projekt begleitet haben, für das Einbringen ihrer besonderen Praxiserfahrungen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. B. Falter, FH Münster, danken wir für die Analyse der möglichen Auswirkungen von geometrischen Auffälligkeiten auf die Standsicherheit von Linern in Kapitel 7.

Herrn Prof. Dr. K.-U. Koch, FH Gelsenkirchen, danken wir für die Bewertung der prüftechnischen Möglichkeiten zur Werkstoffanalyse und Harzidentifikation in Kapitel 8.

Den Sanierungsunternehmen danken wir für die konstruktive Zusammenarbeit im Rahmen der Baustellenbegleitungen und Probenentnahmen.

Den im Rahmen der Inspektionsmaßnahmen beteiligten Fachunternehmen und -instituten danken wir für die Unterstützung bei der Interpretation der vor Ort erhobenen Daten in Kapitel 6.

INHALTSVERZEICHNIS

1	VERANLASSUNG UND ZIELSTELLUNG.....	1
2	MARKTÜBERBLICK SCHLAUCHLINERSYSTEME	2
3	ZUSTANDSKATALOG: AUFFÄLLIGKEITEN AN SCHLAUCHLINERN	8
4	BEWERTUNG VON LABORPRÜFUNGEN	24
5	BAUMAßNAHMEN UND NACHBEPROBUNGEN	27
6	INNOVATIVE INSPEKTIONSTECHNIKEN UND PRÜFVERFAHREN.....	33
7	STATISCHE BEWERTUNG VON AUFFÄLLIGKEITEN	37
8	WERKSTOFFANALYSE UND -IDENTIFIZIERUNG.....	40
9	SCHLUSSBETRACHTUNG UND EMPFEHLUNGEN	41
10	LITERATUR	52

1 Veranlassung und Zielstellung

Die Gesamtlänge des öffentlichen Kanalnetzes in Deutschland liegt laut einer Umfrage der DWA aus dem Jahre 2004 bei etwa 486.000 km, von denen ca. 20 % kurz- oder mittelfristig und weitere 21 % langfristig sanierungsbedürftig sind [1]. In Nordrhein-Westfalen (NRW) weisen die Kanäle, deren Zustand nach [2] auf einer Gesamtlänge von 49.873 km (57 %) erfasst wurde, auf mindestens 7.270 km wesentliche bauliche Schäden auf. Dies sind per Definition Kanäle, deren Schäden die Standsicherheit gefährden oder ein In- bzw. Exfiltrieren von Wasser befürchten lassen. Damit sind 14,6 % der Kanäle, für die nach den Angaben der Betreiber in NRW bis 2001 eine Zustandserfassung durchgeführt wurde, kurz- bis mittelfristig zu sanieren (vgl. RdErl. [3]). Geht man davon aus, dass auch für die verbleibenden 43 % der Kanäle eine durchschnittliche Schadensquote von 14,6 % gilt, so ergäbe sich auf Basis der bisherigen Angaben eine rechnerische schadhafte Kanalnetzlänge in NRW von insgesamt rund 12.700 km (vgl. [4]).

Zur Sanierung der schadhafte Kanäle werden in geschlossener Bauweise, d. h. ohne Störungen an der Oberfläche, insbesondere Renovierungsverfahren eingesetzt. Mit einem Anteil von 88 % sind Reliningverfahren die am häufigsten angewandten Renovierungsverfahren [1]. Als Marktführer gilt hier das Schlauchlining-Verfahren [5]. Informationen über die Qualität einer Sanierung mit dem Schlauchlining-Verfahren sind sowohl für die Bau- als auch die Gewährleistungsabnahme gefordert. Darüber hinaus bilden Erfahrungen mit der Qualität vergangener Baumaßnahmen auch die Grundlage für künftige Investitionsentscheidungen und eine Minimierung des Investitionsrisikos in der Zukunft. Fehler in der Ausführung können nur dann als zulässig oder tolerierbar gelten, wenn die Standsicherheit, Funktionsfähigkeit und Dichtheit des Bauwerkes nach der Sanierung weiterhin ausreichend gewährleistet sind (vgl. DIN EN 752 [6]). Vor diesem Hintergrund sind die methodischen Ansätze zur Bewertung von Schlauchlining-Maßnahmen im Zuge der Abnahmeprüfung zu hinterfragen. Dies betrifft u. a. die Bewertung von Auffälligkeiten und Abweichungen, wie sie aus [7], [8] z. B. als Vorverformungen, Falten, Beulen, Wellen, Ringspalte und Wanddickenschwankungen sowie fehlerhafte seitliche Anschlüsse bekannt sind.

Ziel des nachfolgend dargestellten Forschungsprojektes ist es, den Netzbetreibern in NRW eine zuverlässige, neutrale und unabhängige Orientierung zur Kontrolle der eingesetzten Linermaterialien und Bewertung von Ergebnissen aus der Abnahmeprüfung von Schlauchlining-Maßnahmen zu geben. Hierzu sollen sowohl optische Informationen aus der Begehung bzw. Kamerabefahrung als auch Erkenntnisse aus der Prüfung von Probekörpern dienen. Gegenstand sind Auffälligkeiten und Abweichungen in den Geometrie- und Materialeigenschaften sowie deren mögliche Auswirkungen auf die Standsicherheit, Funktionsfähigkeit, Dichtheit und Dauerhaftigkeit. Ergänzend sollen für weiterführende Maßnahmen zur Qualitätssicherung auch Hinweise zur Aussagekraft und Einsatzfähigkeit von zerstörungsfreien Prüfmethode gegeben werden.

2 Marktüberblick Schlauchlinersysteme

Nachfolgend wird auf der Basis einer umfangreichen Recherche ein Überblick über eine Auswahl typischer am deutschen Markt angebotener Schlauchliner-Systeme gegeben, die im Bereich von Hauptkanälen (> DN 500)¹ eingesetzt werden (Tab. 1 und Tab. 2). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden die Rechercheergebnisse nach zwei wesentlichen Kriterien strukturiert:

- Kriterium 1: **Art des verwendeten Trägermaterials**
(Glasfasern bzw. Polyester-Synthesefasern),
- Kriterium 2: **Vorliegen einer bauaufsichtlichen Zulassung des DIBt².**

Kriterium 1 wurde gewählt, da sich aus dieser Materialauswahl u. a. wesentliche Unterschiede ableiten, so z. B. hinsichtlich der Konstruktion des Wandaufbaus und des Einbauvorganges. Kriterium 2 gewinnt für öffentliche Kanalnetzbetreiber zunehmend an Bedeutung bei der Ausschreibung und Auftragsvergabe von Sanierungsmaßnahmen unter Einsatz von Schlauchlinern. So wird beispielsweise in [9] das Vorliegen einer derartigen Zulassung zwingend vorausgesetzt. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass eine bauaufsichtliche Zulassung rechtlich nur im Geltungsbereich der Landesbauordnungen, d. h. auf privatem Grund, verbindlich ist und ihre Anwendung im öffentlichen Bereich als besondere Qualitätsanforderung der Kommunen zu verstehen ist.

Insgesamt besitzen derzeit fünf Glasfaser-Schlauchliner-Systeme von fünf verschiedenen Herstellern eine gültige bauaufsichtliche Zulassung, für einen Einsatz im Nennweitenbereich > DN 500 (vgl. Tab. 1). Dies gilt gegenwärtig auch für sieben Synthesefaser-Schlauchliner von fünf unterschiedlichen Produzenten (vgl. Tab. 2). Weitere Produkte, die (bisher) über keine gültige bauaufsichtliche Zulassung verfügen, enthält die Langfassung des Endberichtes.

¹ Derzeit verfügen über 20 Schlauchlinersysteme über eine gültige DIBt-Zulassung. Einige dieser Produkte werden jedoch hauptsächlich im Bereich der privaten Kanalisation eingesetzt (DN 100 bis DN 300). Um den Marktüberblick auf den Bereich der öffentlichen Kanalisation einzugrenzen, werden nur Systeme dargestellt, die auch gemäß DIBt-Zulassung in Nennweiten > DN 500 eingesetzt werden können.

² DIBt – Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

Tab. 1: Glasfaser-Schlauchliner mit bauaufsichtlicher Zulassung, Stand Feb. 2009

Hersteller	BKP Berolina Polyester GmbH & Co. KG [10], [11]	Brandenburger Liner GmbH & Co. KG [12], [13]	iMPREG GmbH [14], [15]
Allgemeine Daten			
Schlauchlinersystem (Verfahrensbezeichnung)	Berolina-Liner bzw. Berolina-Liner "Lightspeed"	Brandenburger Liner (ADV75, ADV95, ADV120)	iMPREG-Liner GL01 * ⁸
Systemanbieter / Anwender	eigene Bauleistung: nein Dritt-Anwender: ja	eigene Bauleistung: ja Dritt-Anwender: ja	eigene Bauleistung: nein Dritt-Anwender: ja
RAL Gütezeichen (Güteschutz Kanalbau)	RAL-GZ 961 S27.09	RAL-GZ 961 S27.18	RAL-GZ 961 S27.20
Trägermaterial	Glasfaser (E o. E-CR)	Glasfaser (E o. E-CR)	Glasfaser (E-CR)
Folienbeschichtung* ¹ (Innenfolie* ² , Außenfolie* ³)	Innen: Material: k. A. Außen: PE/PA/PE	Innen: PA/PE Außen: PE/PA/PE	Innen: PA/PE Außen: PE/PA/PE
Harztyp	UP oder VE	UP oder VE	UP
Einbauvorgang			
Schutzfolie / Preliner	PVC- oder PE-Schutzfolie	PVC- oder PE-Schutzfolie	PE-Gleitfolie
Installation (Einbaumethode)	Einbau: Einzug Aufstellen: Druckluft	Einbau: Einzug Aufstellen: Druckluft	Einbau: Einzug Aufstellen: Druckluft
Aushärtung	UV	UV	UV oder Dampf
Anschlussanbindung	Hutprofil	Hutprofil und weitere Verfahren mit DIBt-Zulassung	zulässig sind nur Verfahren mit DIBt-Zulassung
Anwendungsbereich / Einsatzgrenzen			
Nennweitenbereich	DN 150 - DN 1000 * ⁹	DN 150 - DN 1000 Ei 200/300 - Ei 800/1200	DN 150 - DN 1200 Ei 250/375 - Ei 950/1425
Querschnittsform	Kreis- und Ei-Profile * ⁹	Kreis- und Ei-Profile	Kreis- und Ei-Profile
max. Einbaulänge [m]	230	300	300
Wandstärke [mm]	3 - 11	3 - 20	4 - 14
Altrohrmaterialien	STZ, B, STB, GFK, FZ, PVC-U, PE-HD, Guss	STZ, B, STB, FZ, GFK, PVC-U, PE-HD, Guss	STZ, B, STB, FZ, GFK, PVC-U, PE-HD, Guss
Mechanische Kennwerte gemäß DIBt-Zulassung			
Zulassungsnummer	Z-42.3-336 (25.01.2007)	Z-42.3-330 (28.04.2008)	Z-42.3-365 (30.06.2007)
E-Modul [N/mm ²] (Kurzzeit)	8000 * ⁴	7500 (ADV75), 9500 (ADV95), 10800 (ADV120) * ^{6,7}	9500 * ⁴
E-Modul [N/mm ²] (Langzeit) * ⁵	5500	4200 (ADV75), 5900 (ADV95), 8100 (ADV120) * ⁷	6300
Biegespannung [N/mm ²] (Kurzzeit) * ⁶	150	180 (ADV75), 200 (ADV95), 230 (ADV120)	180
Biegespannung [N/mm ²] (Langzeit) * ⁵	95	100 (ADV75), 125 (ADV95), 170 (ADV120)	120

Tab 1: Glasfaser-Schlauchliner mit bauaufsichtlicher Zulassung, Stand Feb. 2009 (Fortsetzung)

Hersteller	SAERTEX multiCom GmbH [16], [17]	INPIPE SWEDEN AB [18]
Allgemeine Daten		
Schlauchlinersystem (Verfahrensbezeichnung)	SAERTEX-Liner [M-Liner (1), S-Liner (2)]	INPIPE-Liner
Systemanbieter / Anwender	eigene Bauleistung: nein Dritt-Anwender: ja	eigene Bauleistung: ja Dritt-Anwender: nein
RAL Gütezeichen (Güteschutz Kanalbau)	RAL-GZ 961 S27.17	RAL-GZ 961 S27.07
Trägermaterial	Glasfaser (E-CR)	Glasfaser (E-CR)
Folienbeschichtung* ¹ (Innenfolie* ² , Außenfolie* ³)	Innen: PA/PE Außen: PE/PA/PE	Innen: PE/PUR Außen: PE/PUR
Harztyp	UP oder VE	UP oder VE
Einbauvorgang		
Schutzfolie / Preliner	PE-Gleitfolie	PVC-U- oder PE-Schutzfolie
Installation (Einbaumethode)	Einbau: Einzug Aufstellen: Druckluft	DN 150 - 400: Einbau per Druckluft-Inversion DN 150 - 800: Einbau per Einzug Aufstellen per Druckluft
Aushärtung	UV oder Dampf	UV
Anschlussanbindung	Hutprofil oder Injektionsverfahren	zulässig sind nur Verfahren mit DIBt-Zulassung
Anwendungsbereich / Einsatzgrenzen		
Nennweitenbereich	DN 100 - DN 1200 (2) Ei 250/375 - Ei 950/1425 (2) DN 150 - DN 400 (1)	DN 150 - DN 800
Querschnittsform	Kreis-, Ei-, Kasten- und Maulprofile* ⁹	Kreisprofile
max. Einbaulänge [m]	500	200
Wandstärke [mm]	4 - 12 (2) 3 und 4 (1)	3 - 15
Altrohrmaterialien	STZ, B, STB, FZ, GFK, PVC-U, PE-HD, Guss	STZ, B, STB, FZ, GFK, PVC-U, PE-HD, Guss
Mechanische Kennwerte gemäß DIBt-Zulassung		
Zulassungsnummer	Z-42.3-350 (11.09.2007)	Z-42.3-429 (05.08.2008)
E-Modul [N/mm ²] (Kurzzeit)	12000 (2)* ⁴ 7000 (1)	11000* ⁴
E-Modul [N/mm ²] (Langzeit)* ⁵	8800 (2) 3800 (1)	7700 (DN 150 - DN 375) 7900 (DN 375 - DN 800)
Biegespannung [N/mm ²] (Kurzzeit)* ⁶	250 (2) 200 (1)	280 (DN 150 - DN 375) 350 (DN 375 - DN 800)
Biegespannung [N/mm ²] (Langzeit)* ⁵	185 (2) 110 (1)	200 (DN 150 - DN 375) 250 (DN 375 - DN 800)

k. A.: keine Angabe

^{*1}: Mehrschichtverbundfolie

^{*2}: dient als Einbauhilfe und wird vor Inbetriebnahme entfernt

^{*3}: inkl. außenliegender UV-Schutzfolie

^{*4}: in Anlehnung an DIN EN 1228 (Scheiteldruckversuch)

^{*5}: in Anlehnung an DIN EN 761 (Ermittlung des Abminderungsfaktors A zur Bestimmung der Langzeitwerte)

^{*6}: in Anlehnung an DIN EN ISO 178 (3-Punkt-Biegeversuch)

^{*7}: in der DIBt-Zulassung werden abweichende Kennwerte für Prüfungen in Umfangsrichtung in Anlehnung an DIN EN 1228 (Scheiteldruckversuch) aufgeführt

^{*8}: nach Herstellerangaben ist eine DIBt-Zulassung für einen neuen Schlauchliner (Bez. FZ07) beantragt

^{*9}: laut Herstellerangabe, abweichend der Angaben gemäß DIBt-Zulassung

Tab. 2: Synthesefaser-Schlauchliner mit bauaufsichtlicher Zulassung, Stand Feb. 2009

Hersteller	KMG Pipe Technologies GmbH *1 [19]	NORDITUBE Technologies AB *1 [20], [21]	Insituform Rohrspannungstechniken GmbH [22], [23]
Allgemeine Daten			
Schlauchlinersystem (Verfahrensbezeichnung)	KM INLINER	UniLiner	Insituform
Systemanbieter / Anwender	eigene Bauleistung: ja Dritt-Anwender: ja	eigene Bauleistung: k. A. Dritt-Anwender: ja	eigene Bauleistung: ja Dritt-Anwender: nein
RAL Gütezeichen (Güteschutz Kanalbau)	RAL-GZ 961 S27.02	RAL-GZ 961 S27.23	RAL-GZ 961 S27.01
Trägermaterial	Polyester-Synthesefaser	Polyester-Synthesefaser	Polyester-Synthesefaser
Folienbeschichtung (Innenfolie, Außenfolie)	Innen: PUR Außen *2: PE/PA/PE (Var. A), PE (Var. B)	Innen: PU Außen: keine Folie	Innen *3: PE (Var. A), PP (Var. B), PU (Var. C) Außen: keine Folie
Harztyp	UP oder VE	UP	UP, VE oder EP
Einbauvorgang			
Schutzfolie / Preliner	Außenfolie als Einbauschutz (s. o.)	PE-Preliner	PE-Preliner
Installation (Einbaumethode)	Hauptschlauch: Einzug *4 Kalibrierschlauch: Inversion *4	Inversion	Inversion
Aushärtung	Warmwasser oder Dampf	Warmwasser oder Dampf	Warmwasser oder Dampf
Anschlussanbindung	Hutprofil und weitere Verfahren mit DIBt-Zulassung	zulässig sind nur Verfahren mit DIBt-Zulassung	Hutprofil und weitere Verfahren mit DIBt-Zulassung
Anwendungsbereich / Einsatzgrenzen			
Nennweitenbereich	DN 150 - DN 1200 Ei 200/300 - Ei 800/1200	DN 100 - DN 1200	DN 100 - DN 1600 Ei 200/300 - Ei 1000/1500
Querschnittsform	Kreis- und Ei-Profile	Kreisprofile	Kreis- und Ei-Profile
max. Einbaulänge [m]	460	500	300
Wandstärke [mm]	3 - 45,6	3 - 25	3 - 50
Altrohrmaterialien	STZ, B, STB, FZ, GFK, PVC-U, PE-HD, Guss	STZ, B, STB, FZ, GFK, PVC, PE, PP, MW, Guss	STZ, B, STB, FZ, GFK, PVC-U, PE-HD, Guss
Mechanische Kennwerte gemäß DIBt-Zulassung			
Zulassungsnummer	Z-42.3-335 (11.06.2008)	Z-42.3-380 (15.08.2005)	Z-42.3-305 (24.11.2008)
E-Modul [N/mm ²] (Kurzzeit)	4700 *5; 2800 *7 (UP) 5200 *5; 2200 *7 (VE)	3000 *7 3500 *5	2800 *5*7 (UP) 2200 *5*7 (VE und EP)
E-Modul [N/mm ²] (Langzeit) *6	2350; 1400 (UP) 3040; 1290 (VE)	1470	1400 (UP) 1100 (VE und EP)
Biegespannung [N/mm ²] (Kurzzeit) *7	36 (UP und VE)	44	28 *8 (bis 9 mm) 32 *8 (> 9 mm)
Biegespannung [N/mm ²] (Langzeit) *6	18 *6 (UP) 21 *6 (VE)	18	14 *8 (bis 9 mm) 16 *8 (> 9 mm)

Tab. 2: Synthesefaser-Schlauchliner mit bauaufsichtlicher Zulassung, Stand Feb. 2009 (Fortsetzung)

Hersteller	RS Technik AG [24], [25], [26]	
Allgemeine Daten		
Schlauchlinersystem (Verfahrensbezeichnung)	CityLiner®	PolyLiner®
Systemanbieter / Anwender	eigene Bauleistung: nein Dritt-Anwender: ja	eigene Bauleistung: nein Dritt-Anwender: ja
RAL Gütezeichen (Güteschutz Kanalbau)	RAL-GZ 961 S27.16	RAL-GZ 961 S27.29
Trägermaterial	Polyester-Synthesefaser	Polyester-Synthesefaser
Folienbeschichtung (Innen-, Außenfolie)	Innen: PU Außen: keine Folie	Innen: PU Außen: keine Folie
Harztyp	EP	UP
Einbauvorgang		
Schutzfolie / Preliner	PVC-Preliner	PVC-Preliner
Installation (Einbaumethode)	Inversion	Inversion
Aushärtung	Warmwasser	Warmwasser
Anschlussanbindung	zulässig sind nur Verfahren mit DIBt-Zulassung	zulässig sind nur Verfahren mit DIBt-Zulassung
Anwendungsbereich / Einsatzgrenzen		
Nennweitenbereich	DN 150 - DN 600	DN 200 - DN 1400 Ei 200/300 - Ei 1000/1500
Querschnittsform	Kreisprofile	Kreis- und Ei-Profile
max. Einbaulänge [m]	300	300
Wandstärke [mm]	3 - 15	4,5 - 30
Altrohmaterialien	STZ, B, STB, FZ, GFK, PVC, PE, PP, Guss	STZ, B, STB, FZ, GFK, PVC, PE, PP, Guss
Mechanische Kennwerte gemäß DIBt-Zulassung		
Zulassungsnummer	Z-42.3-377 (03.06.2006)	Z-42.3-424 (26.03.2008)
E-Modul [N/mm ²] (Kurzzeit) * ⁵	2280 (DN 150 - DN 400) 2400 (> DN 400)	3200
E-Modul [N/mm ²] (Langzeit) * ⁶	1500 (DN 150 - DN 400) 1200 (> DN 400)	1550
Biegespannung [N/mm ²] (Kurzzeit) * ⁷	48 (DN 150 - DN 400) 55 (> DN 400)	36
Biegespannung [N/mm ²] (Langzeit) * ⁶	31 (DN 150 - DN 400) 21 (> DN 400)	17

Tab. 2: Synthesefaser-Schlauchliner mit bauaufsichtlicher Zulassung, Stand Feb. 2008 (Fortsetzung)

Hersteller	VFG - Vereinigte Filzfabriken AG [27], [28]	Per Aarsleff A/S [29]
Allgemeine Daten		
Schlauchlinersystem (Verfahrensbezeichnung)	lineTEC SP-Liner	PAA-S-Liner
Systemanbieter / Anwender	eigene Bauleistung: nein Dritt-Anwender: ja	eigene Bauleistung: k. A. Dritt-Anwender: k. A.
RAL Gütezeichen (Güteschutz Kanalbau)	k. A.	k. A.
Trägermaterial	Polyester-Synthesefaser	Polyester-Synthesefaser
Folienbeschichtung (Innen-, Außenfolie)	Innen: PU Außen: keine Folie	Innen: PE, PP o. PU Außen: keine Folie
Harztyp	EP	UP
Einbauvorgang		
Schutzfolie / Preliner	PE-Preliner	PE-Preliner
Installation (Einbaumethode)	Inversion	Inversion
Aushärtung	Warmwasser oder Dampf	Warmwasser oder Dampf
Anschlussanbindung	zulässig sind nur Verfahren mit DIBt- Zulassung	zulässig sind nur Verfahren mit DIBt- Zulassung
Anwendungsbereich / Einsatzgrenzen		
Nennweitenbereich	DN 150 - DN 750	DN 150 - DN 700
Querschnittsform	Kreisprofile	Kreisprofile
max. Einbaulänge [m]	200	k. A.
Wandstärke [mm]	4 - 18	mind. 3
Altrohrmaterialien	STZ, B, STB, FZ, GFK, PVC-U, PE-HD, Guss	STZ, B, STB, FZ, GFK, PVC-U, PE-HD, Guss
Mechanische Kennwerte gemäß DIBt-Zulassung		
Zulassungsnummer	Z-42.3-434 (06.02.2009)	Z-42.3-433 (05.01.2009)
E-Modul [N/mm ²] (Kurzzeit)	2700 ^{*7} 2900 ^{*5}	2800 ^{*5*7}
E-Modul [N/mm ²] (Langzeit) ^{*6}	1600	1250
Biegespannung [N/mm ²] (Kurzzeit) ^{*7}	63	28 ^{*8} (bis 9 mm) 32 ^{*8} (> 9 mm)
Biegespannung [N/mm ²] (Langzeit) ^{*6}	34	12 ^{*8} (bis 9 mm) 14 ^{*8} (> 9 mm)

k. A.: keine Angabe

*1: KMG Pipe Technologie GmbH und NORDITUBE Technologies AB sind Unternehmen der SEKISUI CPT GmbH

*2: Außenfolie aus PE (Variante B) ist gemäß DIBt-Zulassung integraler Bestandteil des Liners (gilt nicht für Mehrschichtverbundfolie, Var. A)

*3: Innenfolien aus PE (Variante A) und PP (Variante B) sind gemäß DIBt-Zulassung integraler Bestandteil des Liners (gilt nicht für Innenfolie aus PU, Var. C)

*4: System besteht aus zwei Schläuchen, die nacheinander eingebaut werden

*5: in Anlehnung an DIN EN 1228 (Scheiteldruckversuch)

*6: in Anlehnung an DIN EN 761 (Ermittlung des Abminderungsfaktors A zur Bestimmung der Langzeitwerte)

*7: in Anlehnung an DIN EN ISO 178 (3-Punkt-Biegeversuch)

*8: Die Biegespannung ist abhängig von der Wanddicke, aber unabhängig vom Harztyp

3 Zustandskatalog: Auffälligkeiten an Schlauchlinern

Im Zuge der Abnahme von Schlauchlining-Maßnahmen lassen sich zwei wesentliche Möglichkeiten zum Erkennen von Auffälligkeiten unterscheiden:

- die optische Zustandserfassung durch TV-Inspektion oder Begehung (i. d. R. bei der Bau- und Gewährleistungsabnahme) als Standard-Verfahren für den Kanalbau und die Kanalsanierung und
- die labortechnische Prüfung an vor Ort gewonnenen Schlauchlinerproben (i. d. R. nur bei der Bauabnahme) als spezielle Abnahmeprüfung für diese Sanierungstechnik.

Die Beurteilung der Inspektionsergebnisse hängt in hohem Maße von den Kenntnissen über die örtlichen Randbedingungen (Altrohrzustände, Sanierungsziele, eingesetzte Sanierungstechnik) ab. Allein aufgrund der optischen Informationen lässt sich kein abschließender Nachweis erbringen, dass die Sanierungsziele, wie Standsicherheit, Funktionsfähigkeit, Dichtheit und Dauerhaftigkeit, zuverlässig und vollständig erreicht worden sind. Die ergänzenden Laborprüfungen liefern hier weitere Informationen hinsichtlich der zu erwartenden mechanischen Kennwerte und der Dichtheit der Schlauchliner. Erst durch Vergleich dieser Prüfergebnisse mit den Soll-Werten aus Zulassungen, statischen Berechnungen und den konkreten Qualitätsanforderungen der Einzelmaßnahme kann die Qualität der Sanierungsleistung nachvollziehbar beurteilt werden.

Vor diesem Hintergrund bietet es sich an, als Grundlage für die Zustandserfassung bei der Bau- und Gewährleistungsabnahme die bisherigen Beobachtungen zu Auffälligkeiten an Schlauchlinern auszuwerten und in einem Zustandskatalog zusammenzufassen. Dieser Zustandskatalog kann als Orientierung für das Erkennen von Auffälligkeiten und für die einheitliche Zustandsbeschreibung dienen. Auf Grundlage dieser Zustandsbeschreibung und ggf. weiterer Untersuchungs- und Prüfergebnisse sind dann mögliche Ursachen für Auffälligkeiten zu identifizieren und die Auswirkungen mit Blick auf evtl. Mängel der Sanierungsleistung zu bewerten. Ursachenermittlung und Bewertung hängen wiederum in hohem Maße von den örtlichen Randbedingungen ab, d. h. insbesondere von den jeweiligen Sanierungszielen und den eingesetzten Sanierungstechniken und -materialien.

Ein grundsätzlicher Vorschlag für die Zuordnung möglicher Ursachen, Bewertungen und hieraus folgender Maßnahmen und ggf. ergänzender Prüfungen ist derzeit Gegenstand der Diskussion mit Netzbetreibern, Herstellern und Fachverbänden. Die Ergebnisse dieses Abstimmungsprozesses lagen bei Abschluss des hier vorgestellten Projektes noch nicht vor, so dass sich der im vorliegenden Kapitel dargestellte Zustandskatalog bestimmungsgemäß zunächst auf die Zusammenstellung und Beschreibung der in der Praxis beobachteten Auffälligkeiten beschränkt. Im Einzelnen umfasst der Zustandskatalog eine Katalogisierung von Auffälligkeiten mit Beschreibungen und fotografischen Beispielen. Hierbei handelt es sich ausdrücklich um eine Momentaufnahme von beobachteten Auffälligkeiten in den Netzen der beteiligten Betreiber, unabhängig von deren Häufigkeit und Relevanz für das gewählte Sanierungsziel.

Datenbasis

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes wurde zunächst anhand einer umfangreichen Recherche untersucht, welche **optischen Auffälligkeiten** in der Praxis überhaupt

auffreten. Die Untersuchung umfasste sowohl die Sichtung und Analyse von Bildmaterial abgeschlossener Schlauchlining-Maßnahmen der beteiligten Netzbetreiber als auch die systematische Auswertung der Datenbasis der IKT-Prüfstelle für Bauprodukte. Zum **Rechercheumfang** zählte die Auswertung von ca. 200 Inspektionsvideos und ca. 500 Fotos, die 25 beteiligte Kanalnetzbetreiber zur Verfügung stellten. Die Recherche von Auffälligkeiten an Linerprobestücken der IKT-Prüfstelle basiert auf Sichtungen von Prüfberichten aus dem Zeitraum von November 2002 bis November 2008. Hierzu wurden ca. 1.800 Prüfberichte mit etwa 5.000 Schlauchlinerproben herangezogen, digitale Fotos betrachtet sowie eine Inaugenscheinnahme der archivierten Rückstellproben (Probe- und Reststücke) durchgeführt.

Die festgestellten optischen Auffälligkeiten wurden in einem ersten Schritt nach ihrem dominierenden Merkmal, z. B. geometrische Abweichung, Auffälligkeit an der Linerinnenwand, in Zustandsgruppen zusammengefasst und dann als einzelne Zustandsbilder mit Zustandsbeschreibungen katalogisiert. Den beteiligten Kanalnetzbetreibern wurden diese Ergebnisse im Rahmen der Projektsitzungen vorgestellt und mögliche Ursachen und Auswirkungen diskutiert. Hierbei wurde deutlich, dass die Netzbetreiber in unterschiedlicher Art und Weise mit Abweichungen von den festgelegten Anforderungen bzw. Sanierungsfehlern umgehen. Die Ansichten zur Tolerierbarkeit von Abweichungen differieren sowohl hinsichtlich der Art als auch der Ausprägung und hängen maßgeblich von den durch die Betreiber zugelassenen Einsatzbereichen für das Sanierungsverfahren sowie vom jeweiligen Sanierungsziel der Einzelmaßnahme ab.

Inhalte und Aussagekraft

Grundsätzlich wurden im Zuge der Recherche drei verschiedene **Erfassungstiefen für Auffälligkeiten** identifiziert. Zum einen wurden Abweichungen und Auffälligkeiten vorgefunden, die bereits ohne eine detaillierte Erfassungstiefe – d. h. mit einer einfachen Inaugenscheinnahme der Linerinnenseite – erkennbar sind (Verfärbungen, Falten, Ausbeulungen usw.). Diese Auffälligkeiten werden laut Aussage der beteiligten Netzbetreiber im Rahmen von optischen Kanaluntersuchungen mittels **TV-Inspektion bzw. Begehung** erkannt. Zum zweiten wurden Auffälligkeiten bzw. Abweichungen vorgefunden, die bei der optischen Inspektion im Kanal möglicherweise nur eingeschränkt bzw. erst bei detaillierter Betrachtung erkannt werden können, allerdings unter **Laborbedingungen** stets zum Vorschein kommen (unzureichende Tränkungen und Aushärtungen etc.). Drittens werden einige Auffälligkeiten erst im Rahmen der eigentlichen **Laborprüfungen** erkannt, wenn z. B. auch der Wandaufbau inspiziert wird.

Der Zustandskatalog fasst vor diesem Hintergrund die im Rahmen von In-situ-Untersuchungen und Laborprüfungen beobachteten Auffälligkeiten an Schlauchlinern entsprechend Tab. 3 zusammen. Er umfasst sowohl Auffälligkeiten im Rohrstrang als auch in den Anbindungsbereichen und basiert auf einer umfassenden Erhebung auch äußerst seltener Auffälligkeiten.

Tab. 3: Gliederung des Zustandskataloges „Schlauchlinerauffälligkeiten“

Zustandsgruppe	Zustandsbeschreibung
1. Geometrische Abweichungen	a) Wellige Oberflächenstruktur
	b) Querfalten
	c) Längsfalten (harzhinterfüllt)
	d) Örtlich begrenzte Vorverformungen
	e) Nachträgliche Ausbeulungen
2. Auffälligkeiten an der Linerinnenwand	a) Verfärbungen an der Linerinnenseite
	b) Nahtbereiche
	c) Innenfolien und -beschichtungen
	d) Blasen
	e) Ablösungen von Wandungsteilen
3. Offensichtliche Undichtigkeiten	a) Infiltrationen durch die Linerwand
	b) Fehlfräsungen
	c) Linerrisse
4. Lineranbindungen	a) Auffällige seitliche Zuläufe
	b) Undichte Schachtanbindungen
5. Unzureichende Tränkung	a) Unzureichend imprägnierte Fasern
6. Unzureichende Aushärtung	a) Farbänderungen an der Linerwand
7. Wandaufbau	a) Lufteinschlüsse
	b) Reinharzschichten / Harzüberschuss
	c) Unregelmäßiger Wandaufbau

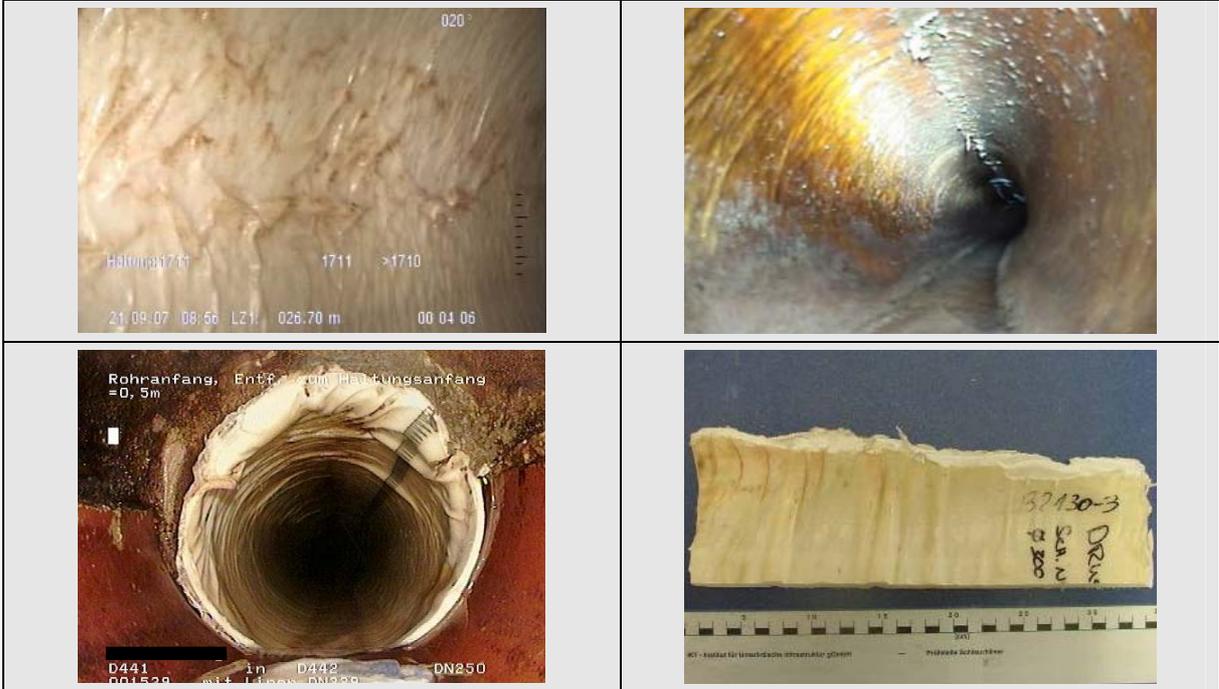
Ausdrücklich sei darauf hingewiesen, dass der Zustandskatalog auf einer außerordentlich breiten Datenbasis gründet und zahlreiche der dargestellten Zustandsbilder nach Aussagen beteiligter Netzbetreiber nur selten bzw. nur in Einzelfällen auftreten. Der Zustandskatalog stellt somit das Ergebnis einer gezielten Recherche nach optischen Auffälligkeiten dar.

Zustandskatalog

1. Geometrische Abweichungen

a) Wellige Oberflächenstruktur

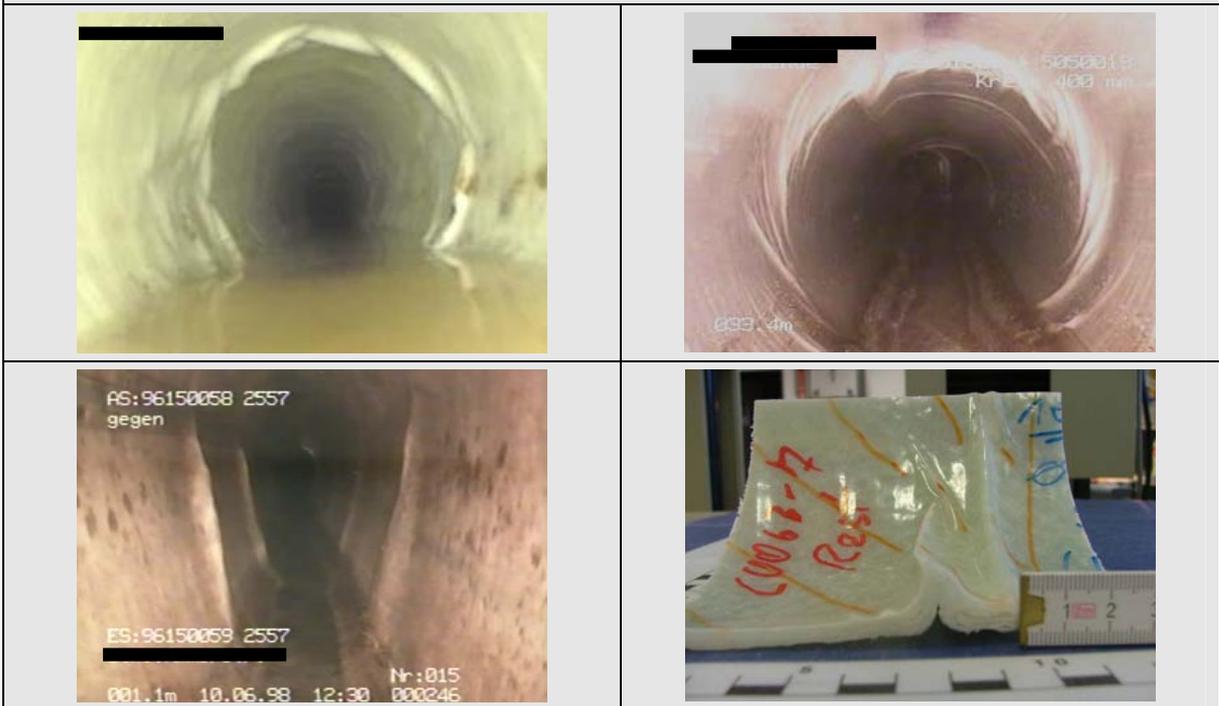
Beschreibung:
 Strukturierte, i. d. R. faltige Innenbeschichtungen (NF), die mit Harz gefüllt sind (keine Hohlstellen), in unterschiedlicher Form, Größe, Lage und Dichte; keine Faltenbildung im Sinne von geometrischen Imperfektionen (vgl. Katalog-Nr. 1d „Örtlich begrenzte Vorverformungen“); Abgrenzung von deutlich ausgeprägteren Falten in Quer- und Längsrichtung; i. d. R. bei der Bauabnahme schon vorhanden (vgl. Bild l. o., Bild r. o., Bild l. u. und Bild r. u.)



1. Geometrische Abweichungen

b) Querfalten

Beschreibung:
 In Umfangsrichtung verlaufende Falten, umlaufend oder auf Sohl-, Kämpfer- und/oder Scheitelbereich beschränkt; mit unterschiedlichen geometrischen Ausprägungen (vgl. Bild l. o., Bild r. o., Bild l. u. und Bild r. u.); Faltenbildung deutlich ausgeprägter als bei welligen Oberflächenstrukturen; i. d. R. bei der Bauabnahme schon vorhanden



1. Geometrische Abweichungen

c) Längsfalten (harzhinterfüllt)

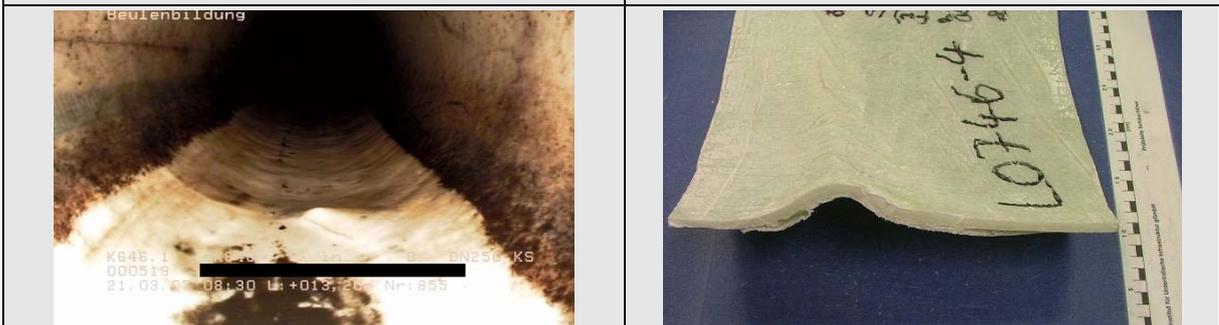
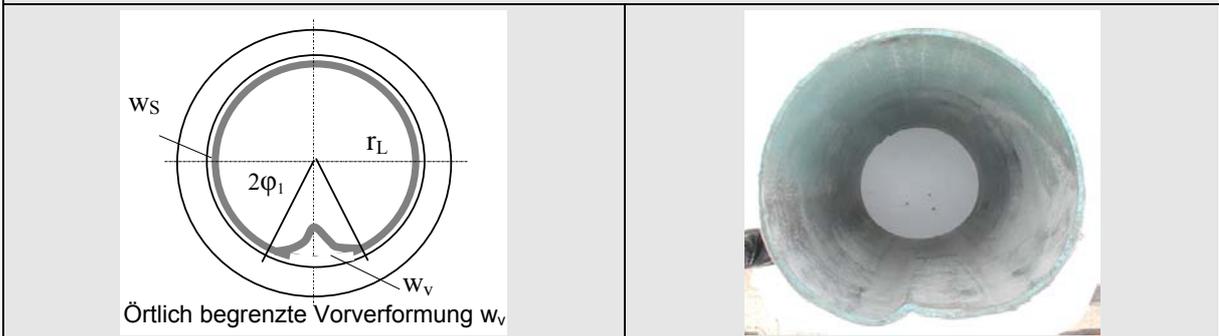
Beschreibung:
 Axial verlaufende Falten (harzhinterfüllt), unterschiedlich ausgeprägt, Verlauf in Sohl-, Kämpfer- und/oder Scheitelbereich möglich (vgl. Bild l. o., Bild r. o. und Bild l. u.); keine Faltenbildung im Sinne von geometrischen Imperfektionen (vgl. Katalog-Nr. 1d „Örtlich begrenzte Vorverformungen“) ⇒ keine Hohlstellen, Trägermaterial (scheinbar) nicht beeinträchtigt (vgl. Bild r. u.); i. d. R. bei der Bauabnahme schon vorhanden



1. Geometrische Abweichungen

d) Örtlich begrenzte Vorverformungen (geometrische Imperfektionen)

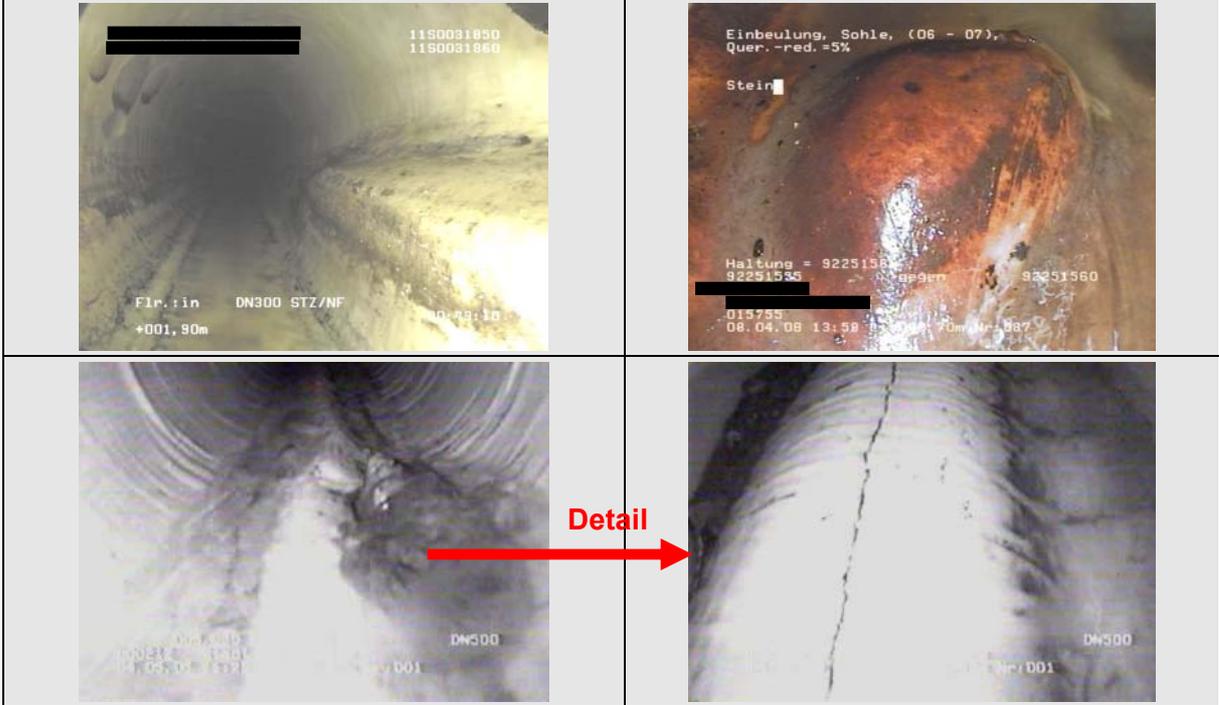
Beschreibung:
 Statisch relevante einbaubedingte Vorverformungen, wie z. B. örtlich begrenzte (nicht harzhinterfüllte) Falten und Beulen mit Hohlräumen (vgl. Bild l. o., Bild r. o., Bild l. u. und Bild r. u.); unmittelbar nach Einbau vorhanden
Anmerkung: Zu den geometrischen Imperfektionen zählt auch ein vorhandener Ringspalt, jedoch liegen für die Bildung eines auffälligen Ringspalts keine Beispiele vor, da eine In-situ-Vermessung nach derzeitigem Kenntnisstand nahezu unmöglich ist



1. Geometrische Abweichungen

e) (Nachträgliche) lokale oder durchgängige Ausbeulungen

Beschreibung:
 Ausbeulungen des Liners, im Laufe der Betriebsdauer entstanden (z. B. erkennbare Veränderung zwischen Bau- und Gewährleistungsabnahme), daher Abgrenzung von geometrischen Imperfektionen; Ausprägung der Beulen lokal (vgl. Bild l. o. und Bild r. o.) und durchgängig (vgl. Bild l. u. und Bild r. u.), d. h. auch über die gesamte Haltung möglich

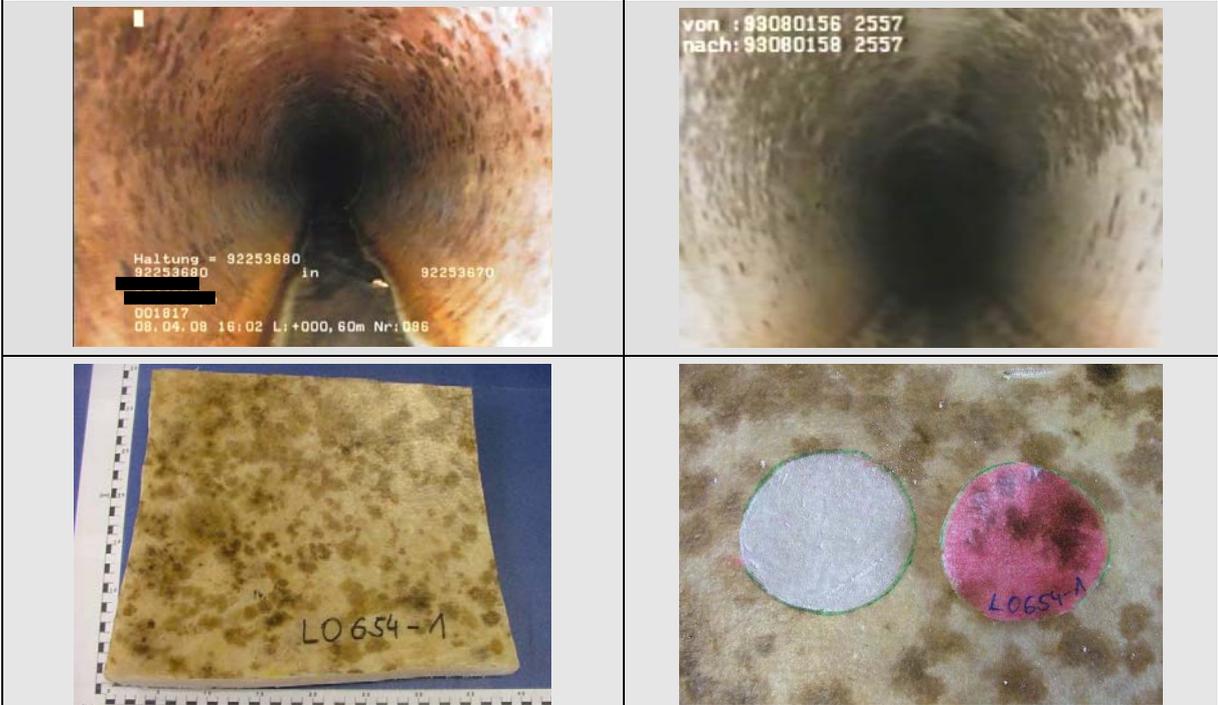


2. Auffälligkeiten an der Linerinnenwand

a) Verfärbungen an der Linerinnenseite

Beschreibung:

Fleckenartige Verfärbungen im Bereich der Innenbeschichtung in unterschiedlicher Form, Größe, Lage und Dichte, die farblich vom restlichen Linermaterial abweichen (vgl. Bild l. o., Bild r. o., Bild l. u. und Bild r. u); nur bei in Betrieb befindlichen Linern vorgefunden (z. B. im Rahmen von Gewährleistungsabnahmen); i. d. R. nur bei NF, da die Innenbeschichtung im Kanal verbleibt

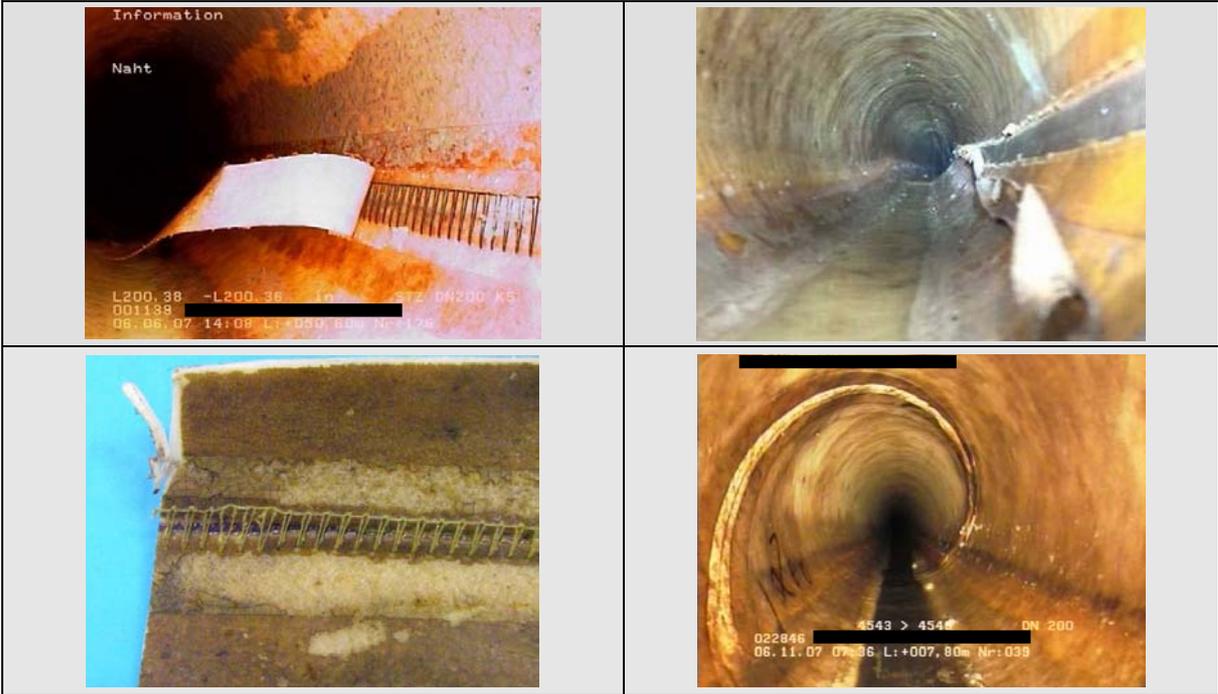


2. Auffälligkeiten an der Linerinnenwand

b) Nahtbereiche

Beschreibung:

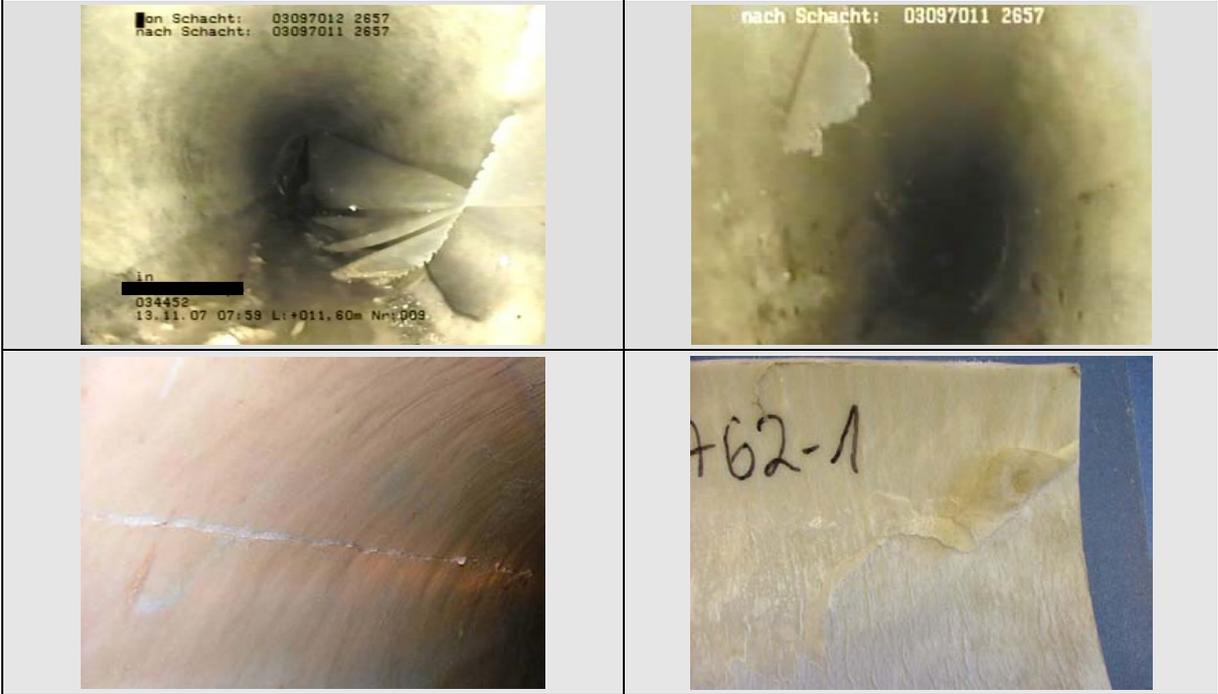
Nahtstellen kommen zum Vorschein (nur bei NF-Linern), teilweise Ablösungen der Nahtüberdeckung (vgl. Bild l. o.) und der Innenbeschichtung (vgl. Bild r. o., Bild l. u.); i. d. R. nur bei in Betrieb befindlichen Linern zu beobachten (z. B. im Rahmen von Gewährleistungsabnahmen); aber auch: spiralförmig verlaufende Nähte bei NF-Linern unmittelbar nach Einbau feststellbar (vgl. Bild r. u.)



2. Auffälligkeiten an der Linerinnenwand

c) Innenfolien und -beschichtungen

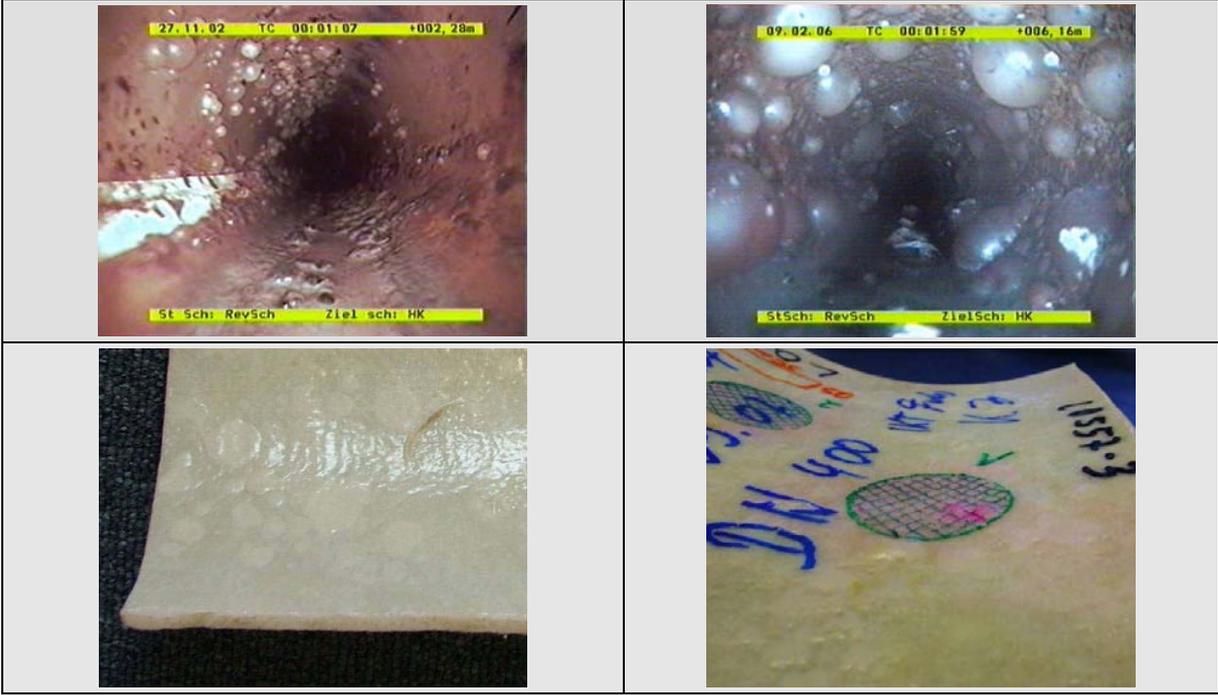
Beschreibung:
 Fall 1 (Innenfolie wird nach Linereinbau entfernt, z. B. bei GFK-Linern):
 Innenfolie unvollständig bzw. gar nicht entfernt (vgl. Bild l. o. und Bild r. o.), Folienreste frei liegend im Kanal
 Fall 2 (Innenbeschichtung verbleibt im Kanal, z. B. bei NF-Linern):
 Risse und Ablösungen sind zu erkennen (vgl. Bild l. u. und Bild r. u.)



2. Auffälligkeiten an der Linerinnenwand

d) Blasen

Beschreibung:
 Blasenbildung im Bereich der Innenbeschichtung in unterschiedlicher Form, Größe, Lage und Dichte; z. T. deutlich ausgeprägt (vgl. Bild l. o. und Bild r. o.); aber auch: feine Blasenbildung, die z. T. nur an Probekörpern im Labor erkennbar sind (vgl. Bild l. u. und Bild r. u.); i. d. R. bei der Bauabnahme schon vorhanden



2. Auffälligkeiten an der Linerinnenwand

e) Ablösungen von Wandungsteilen

Beschreibung:
 Ablösungen von Glasfaserschichten aus der Linerwand, i. d. R. im Sohlbereich (vgl. Bild l. o., Bild l. u. und Bild r. u.) und z. T. im Kämpferbereich (vgl. Bild r. o.) beobachtet; nur bei in Betrieb befindlichen Linern vorgefunden (z. B. im Rahmen von Gewährleistungsabnahmen)

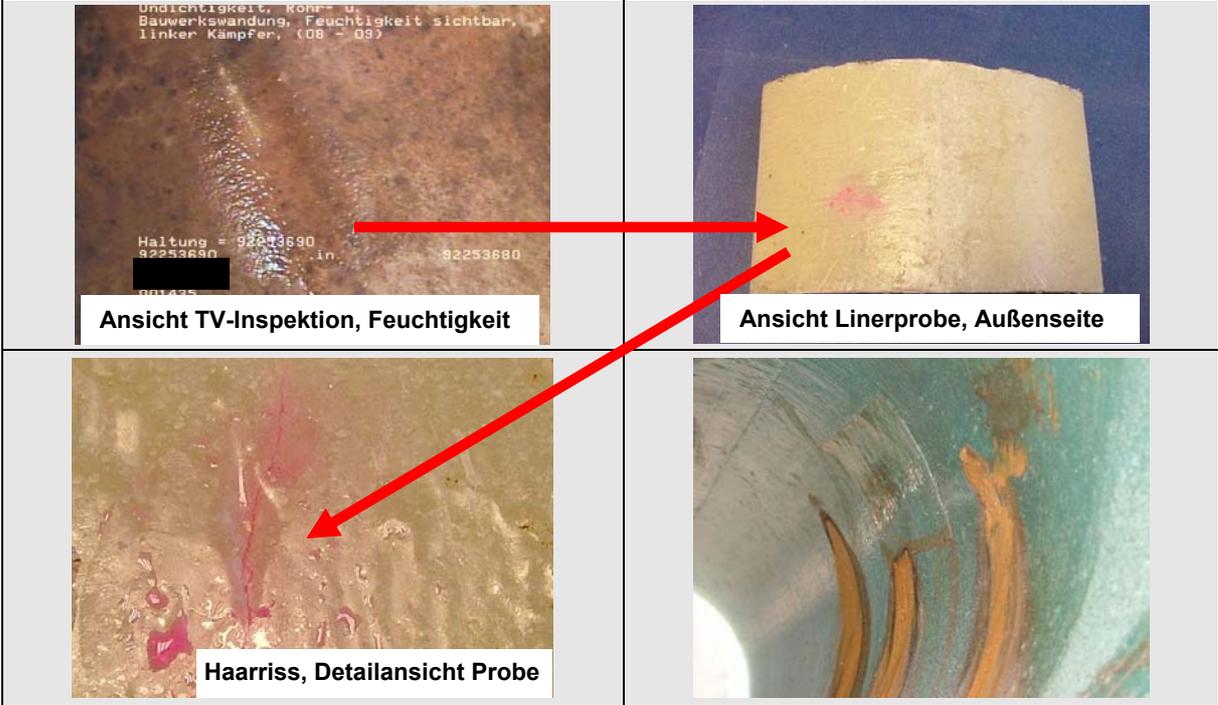


3. Offensichtliche Undichtigkeiten

a) Infiltrationen durch die Linerwand

Beschreibung:

Eindringendes Wasser durch die Linerwandung, mit unterschiedlicher Ausprägung, wie z. B. eine Tropfenbildung an der Linerinnenwand (Fallbeispiel: Vermutete Undichtigkeit infolge eines Haarrisses im Labor nachgewiesen, vgl. Bild l. o., vgl. Bild r. o. und Bild l. u.); aber auch Infiltrationen mit deutlich erkennbaren Wasserstrahl sind möglich (vgl. Bild r. u. – braune Ablagerungen als deutliches Anzeichen für massive Undichtigkeiten)



3. Offensichtliche Undichtigkeiten

b) Fehlfräsungen

Beschreibung:

Altrohr kommt hinter falsch eingemessenen, gefrästen Bereichen zum Vorschein; bei anstehendem Grundwasser sind Infiltrationen möglich (vgl. Bild l. o. und Bild r. o.); tritt in der Praxis selten auf, laut Aussagen ausführender Fachfirmen aber nicht immer zu vermeiden; i. d. R. treten Fehlfräsungen vereinzelt auf, aber auch Extrembeispiele sind dokumentiert (vgl. Bild l. u. und Bild r. u.)



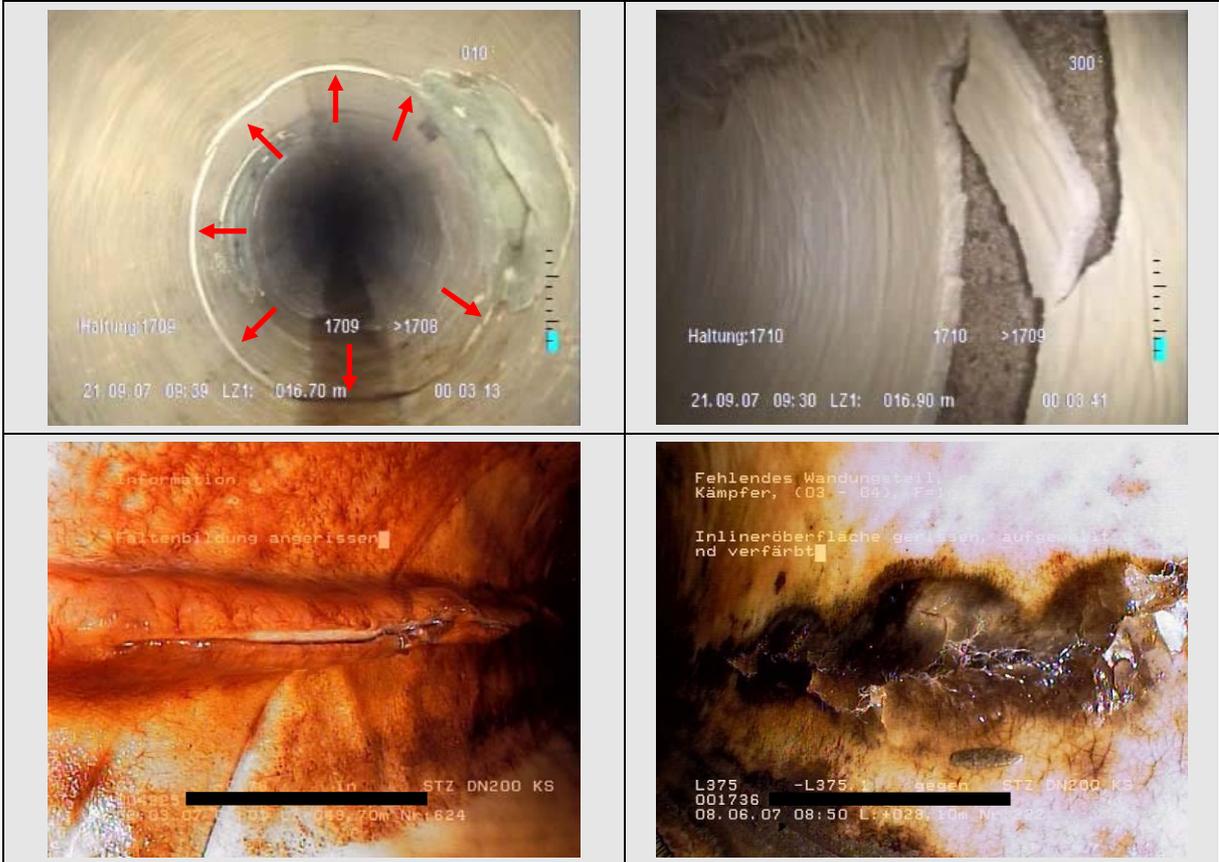
3. Offensichtliche Undichtigkeiten

c) Linerrisse

Beschreibung:

Fall 1: In Umfangsrichtung verlaufender Riss, Altrohr sichtbar (vgl. Bild l. o. und Bild r. o.)

Fall 2: Lokal auftretende Risse, in Längs- und Querrichtung möglich (vgl. Bild l. u. und Bild r. u.)



4. Lineranbindungen

a) Auffällige seitliche Zuläufe

Beschreibung:

Auffälligkeiten an seitlichen Zuläufen treten in unterschiedlichen Erscheinungen auf, wie z. B. Rückstände von Verpressharz als einragendes Hindernis in den Kanal (vgl. Bild l. o.), deutlich erkennbare Faltenbildungen im Anschlusskanal (vgl. Bild r. o.), Fehlfürsungen in unmittelbarer Nähe zum seitlichen Zulauf (vgl. Bild l. u.), fehlende Hutprofile bzw. Anbindungen mittels Verpresstechnik (vgl. Bild r. u.)

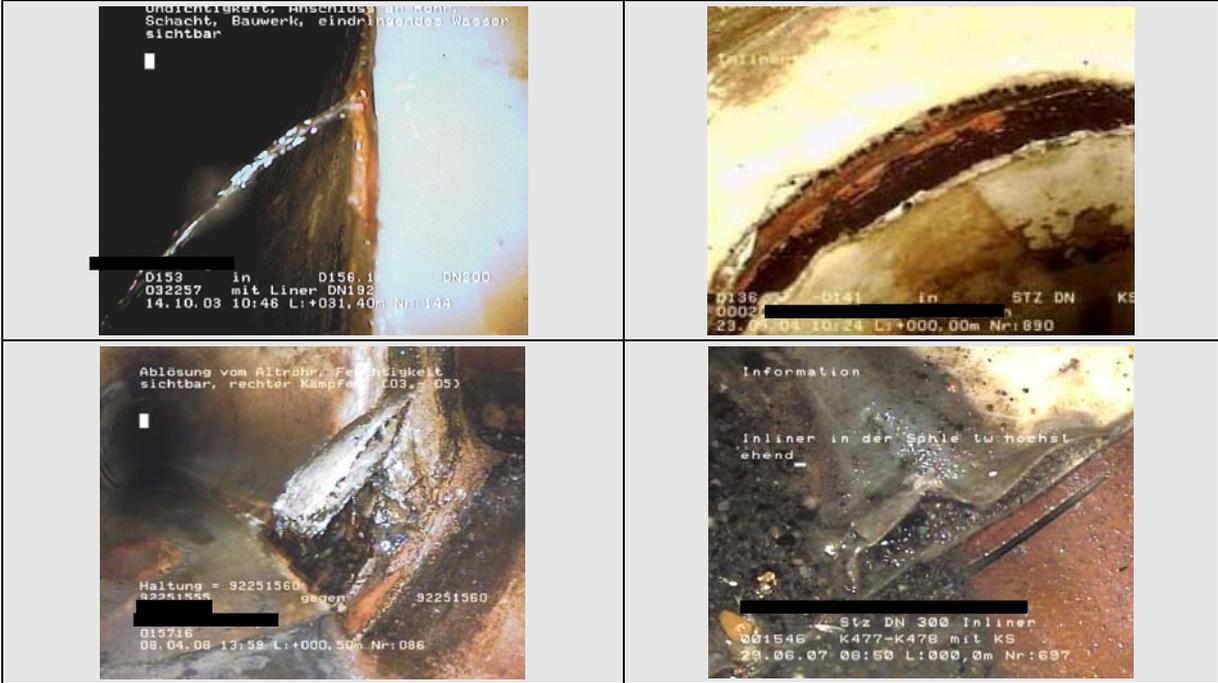


4. Lineranbindungen

b) Undichte Schachtanbindungen

Beschreibung:

Auffälligkeiten treten in unterschiedlichen Erscheinungen auf, wie z. B. Infiltrationen infolge Linerhinterläufigkeiten (vgl. Bild l. o.), Risse im Anbindungsbereich sowohl in Querrichtung (vgl. Bild r. o.) als auch in Längsrichtung, Ablösungen der Anbindungen vom Altröhr (vgl. Bild l. u.) und Ablösungen des Liners (vgl. Bild r. u.); i. d. R. nur bei in Betrieb befindlichen Linern vorgefunden (z. B. im Rahmen von Gewährleistungsabnahmen)

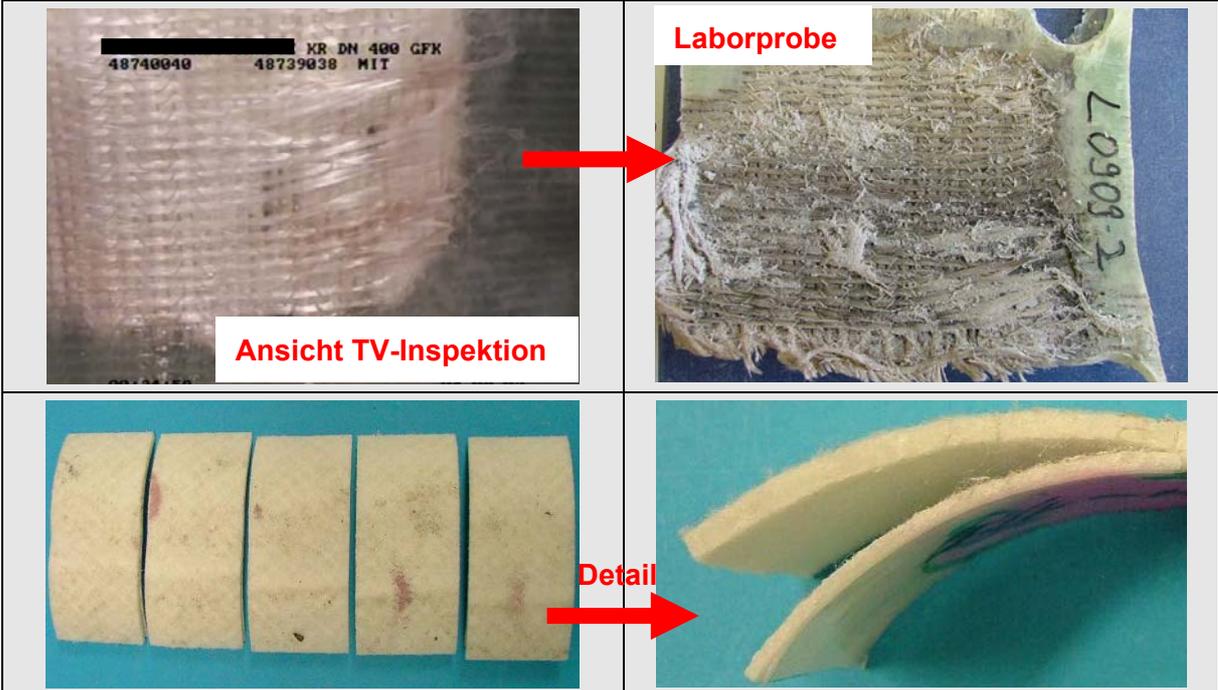


5. Unzureichende Tränkungen

a) Unzureichend imprägnierte Fasern

Beschreibung:

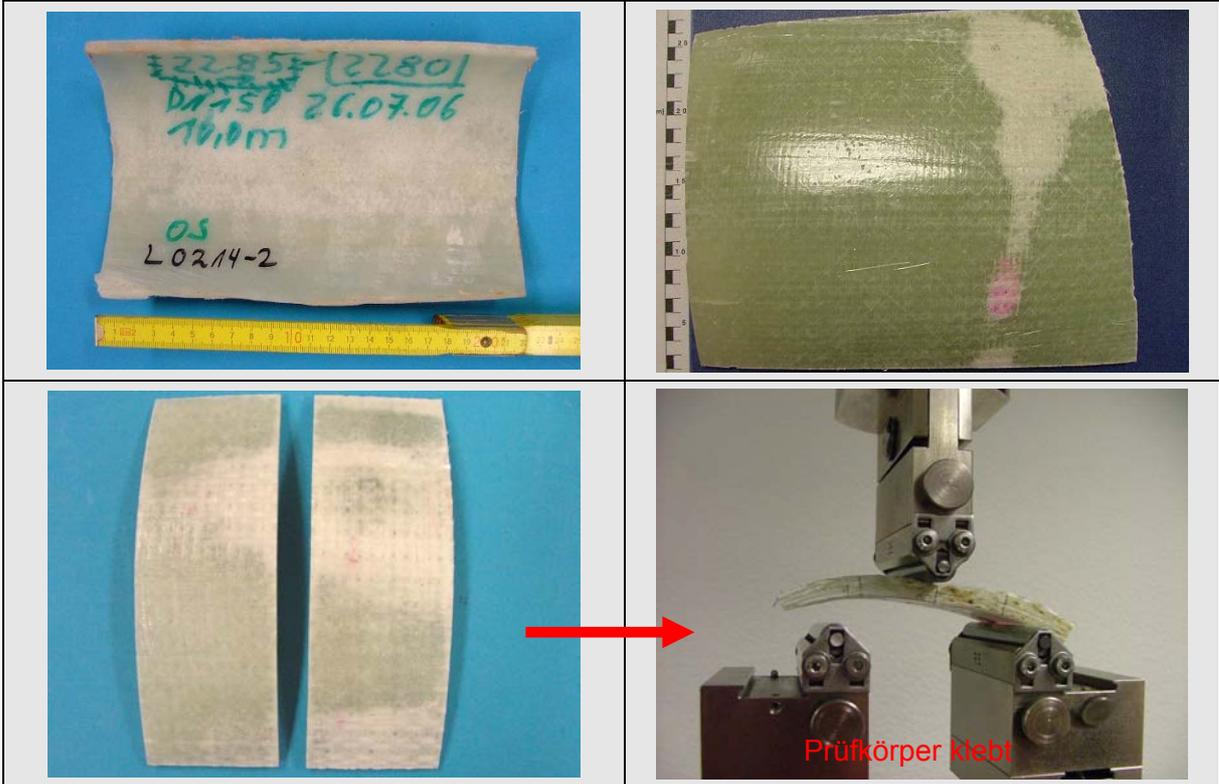
- Fall 1: GFK-Liner: Bei glasfasergetragenen Systemen können unzureichend imprägnierte Fasern im Rahmen von optischen Kanalinspektionen erkennbar sein (vgl. Bild l. o., Detail vgl. Bild r. o.), ein weiteres Indiz für unzureichend getränkte Fasern ist eine hell schimmernde Verfärbung der Linerrinnenwand, die von der üblichen Farbe eines ausgehärteten Liners abweicht; häufig nur unter Laborbedingungen erkennbar
- Fall 2: NF-Liner: Bei Schlauchlinersystemen mit einem Trägermaterial bestehend aus Nadelfilz sind unzureichend getränkte Abschnitte im Rahmen von Kanalinspektionen kaum zu erkennen, da aufgrund der vorhandenen Innenbeschichtungen und eingeschränkter Lichtverhältnisse das Laminat nahezu nicht sichtbar ist; bei Probekörpern im Labor ist eine mangelnde Imprägnierung deutlich im Wandaufbau und auf der Linerrückseite (z. B. nach dem Entfernen des Preliners) zu erkennen (vgl. Bild l. u. und Bild r. u.)



6. Unzureichende Aushärtung

a) Farbänderungen an der Linerwand

Beschreibung:
 Unzureichend ausgehärtete Linerabschnitte sind im Rahmen von Kanalinspektionen kaum erkennbar; ein Indiz für diese Auffälligkeit kann – unabhängig vom System – eine farbliche Veränderung der Linerinnenwand sein (vgl. unzureichende Tränkungen); bei UP-Harz getränkten Systemen kann darüber hinaus vorhandener Styrolgeruch ein Anzeichen für Aushärtingsdefizite sein; bei Probekörpern im Labor sind die farblichen Abweichungen deutlicher zu erkennen (vgl. Bild l. o., Bild r. o. und Bild l. u.); nicht vollständig ausgehärtete Liner zeichnen sich durch ein vom Standard (NF o. GFK) abweichendes Bruchverhalten bei Belastung im 3-Punkt-Biegeversuch aus (vgl. Bild r. u.)

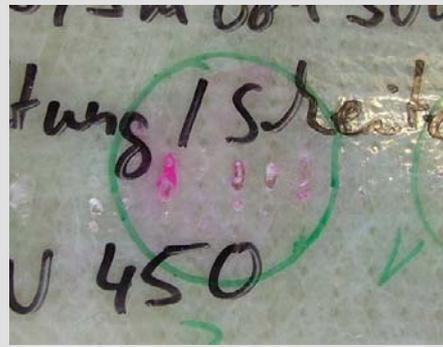


7. Auffällige Wandaufbauten

a) Lufteinschlüsse

Beschreibung:

Lufteinschlüsse (Lunker, Poren und Hohlräume) im Liner, die in unterschiedlicher Form, Größe, Lage und Dichte sowohl auf der Linerrinnenseite (vgl. Bild l. o., Bild r. o. und Bild l. u.), der Lineraußenseite und im Wandaufbau (vgl. Bild r. u.) zum Vorschein kommen; im Kanal kaum erkennbar, jedoch unter Laborbedingungen bei entsprechender Größe deutlich sichtbar

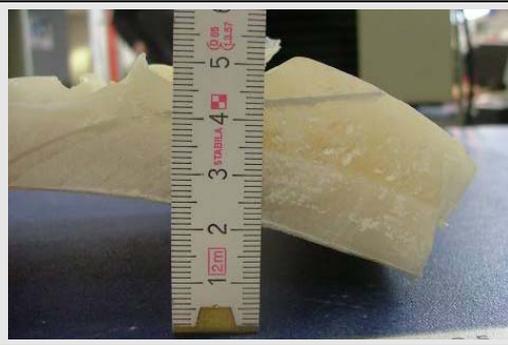
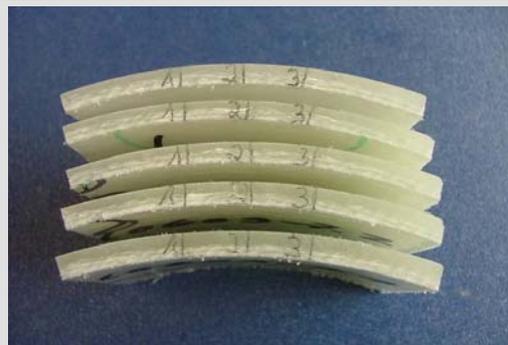


7. Auffällige Wandaufbauten

b) Reinharzschichten und lokaler Harzüberschuss

Beschreibung:

1. Extrem ausgeprägte, durchgängige Reinharzschichten auf der Linerrückseite (vgl. Bild l. o. und Bild r. o.); bei GFK-Linern zählt diese Schicht nicht zur statisch tragenden Wanddicke
2. Lokaler Harzüberschuss auf der Linerrückseite (vgl. Bild l. u. und Bild r. u.)

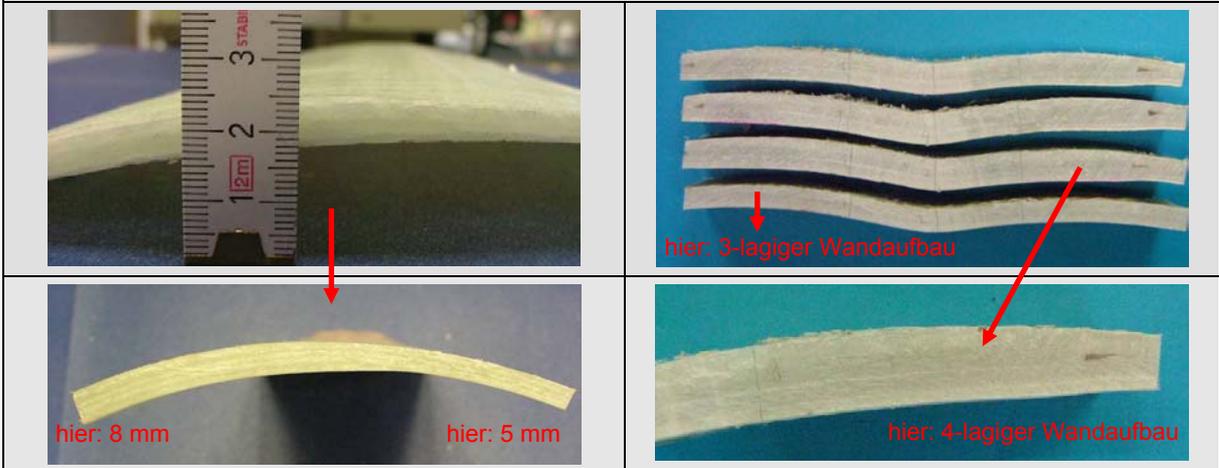


7. Auffällige Wandaufbauten

c) Unregelmäßiger Wandaufbau

Beschreibung:

Schwankungen der Wanddicke eines Querschnitts in Längs- und/oder Umfangsrichtung von z. T. deutlich über 50 % (vgl. Bild l. o. und Bild l. u.); Wechselnde Anzahl der Filzlagen in Teilbereichen einer Probekörperserie (vgl. Bild r. o. und Bild r. u.)



4 Bewertung von Laborprüfungen

Die Auswertung von Inspektionsvideos der Netzbetreiber und die Recherche von optischen Auffälligkeiten an Schlauchlinerproben liefern erste Anhaltspunkte zur vorliegenden Linnerqualität. Allerdings können im Kanal nur grobe Auffälligkeiten auf der Innenseite der Linnerwandung erkannt werden; eine Entscheidung, inwieweit es sich um einen Mangel oder lediglich um eine unbedeutende Auffälligkeit handelt, ist allein auf dieser Basis nur selten möglich. Dies bestätigen auch die Erfahrungen aus den abnahmebegleitenden Laborprüfungen.

Dichtheitsprüfung

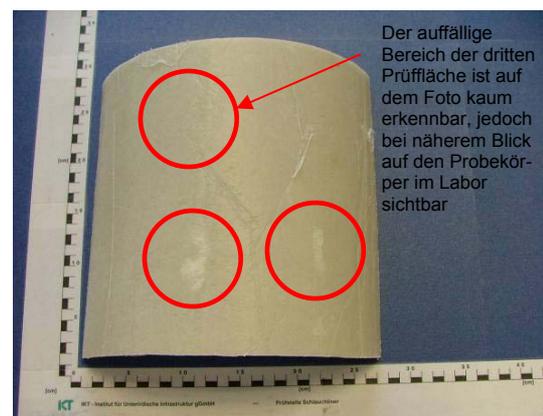
Nach der APS-Prüfrichtlinie werden zur Dichtheitsprüfung grundsätzlich drei Prüfflächen (Prüfstellen) eines Probekörpers ausgewählt. Diese sollen möglichst die Schwachstellen im Probekörper darstellen [30]. Falls keine optisch auffälligen Bereiche, die u. U. auf Schwachstellen im Probekörper hinweisen, vorhanden bzw. zu erkennen sind, werden drei willkürlich gewählte Prüfflächen bestimmt.

In der Fachwelt wird verstärkt diskutiert, inwieweit Prüfergebnisse unterschiedlicher Prüfinstitute, die naturgemäß an unterschiedlichen Probekörpern durchgeführt werden, voneinander abweichen können und dürfen (vgl. [31], [32], [33], [34], [35], [36]). Diese besondere Problematik sei nachfolgend anhand eines anschaulichen Beispiels erläutert.

In Abb. 1 ist ein Probekörper eines Nadelfilz-Schlauchliners der Nennweite DN 300 dargestellt. Die Baumaßnahme wurde im Jahr 2007 ausgeführt, der Probekörper wurde im Rahmen der Bauabnahme zwecks Materialprüfungen von der Prüfstelle für Bauprodukte des IKT untersucht. Bei dem Wareneingang im Labor scheint der Probekörper auf den ersten Blick **keine optischen Auffälligkeiten** aufzuweisen (vgl. Abb. 1 a). Bei näherer Betrachtung sind jedoch auf der Außenseite kleinere hellere Stellen zu erkennen, die ein Indiz auf eine **unzureichende Harzimprägnierung** sein können (vgl. Abb. 1 b). Drei dieser Stellen, bei denen ein Anfangsverdacht auf mögliche Undichtigkeiten vorlag, wurden daher zunächst für die Dichtheitsprüfung ausgewählt.



a) Innenseite des Probekörpers



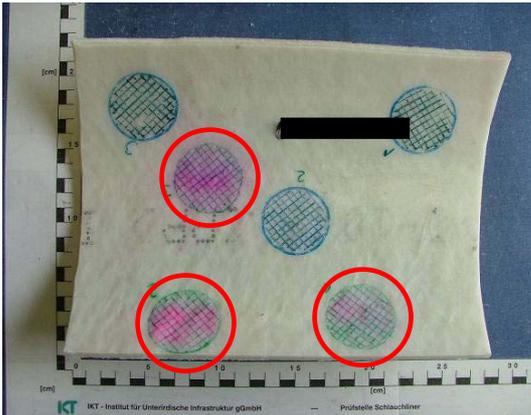
b) Außenseite des Probekörpers

Abb. 1: Beispiel eines Nadelfilz-Schlauchliners (NF-UP, DN 300, Bj. 2007), Wareneingang

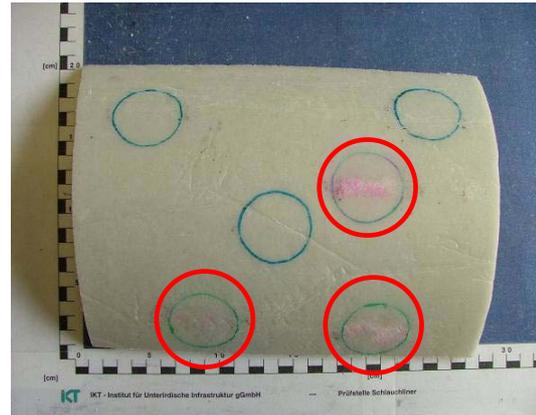
Im Ergebnis dieser ersten Dichtheitsprüfung wurde festgestellt, dass an allen **drei Prüfflächen** bereits nach sehr geringer Prüfzeit ($\ll 1$ min) Tropfenbildung der roten Prüfflüssigkeit auf der Außenseite zu beobachten war. Die Bewertung des Ergebnisses lautete somit „**undicht**“. In Abb. 2 a und b ist der Prüfkörper nach der Dichtheitsprüfung dargestellt. Die als

undicht erkannten Prüfflächen, sowohl auf der Linerinnen- als auch auf der Lineraußenseite, sind durch Kreise markiert.

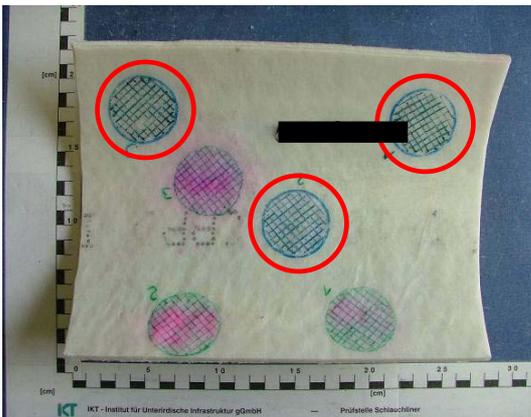
Die **Dichtheitsprüfung** wurde anschließend an **drei** willkürlich gewählten **weiteren Prüfflächen** an demselben Probekörper wiederholt. Im Ergebnis der Wiederholungsprüfung zeigte sich, dass alle drei Prüfstellen nach einer 30-minütigen Unterdruckprüfung keine Undichtigkeiten zeigten. Auch eine rötliche Verfärbung der Innenseiten ohne Tropfenbildung – wie sie im Übrigen zulässig ist – konnte nicht beobachtet werden (vgl. Abb. 2 c und d). Das Prüfergebnis würde somit „**dicht**“ lauten.



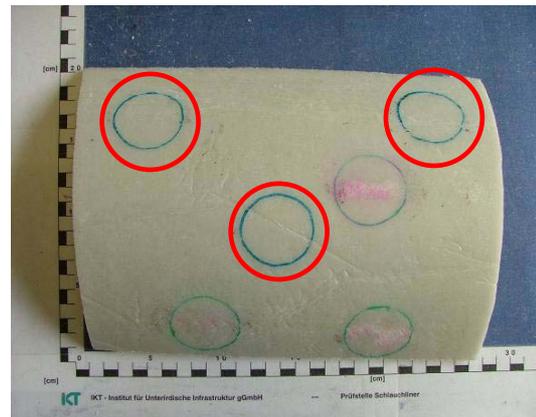
a) Innenseite nach erster Prüfung



b) Außenseite nach erster Prüfung



c) Innenseite nach zweiter Prüfung



d) Außenseite nach zweiter Prüfung

Abb. 2: *Beispiel eines Nadelfilz-Schlauchliners (NF-UP, DN 300), nach Dichtheitsprüfung*

Schon dieses Beispiel belegt, dass die Bestimmung der Schlauchlinerqualität von erfahrenen Prüfsingenieuren bzw. -technikern durchgeführt werden muss, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Darüber hinaus zeigt der Versuch, dass rein theoretisch eine (massiv) undichte Probe dennoch formal als „dicht“ bewertet werden kann, wenn die Streuung der Materialeigenschaften innerhalb einer Probe hoch ist und nur augenscheinlich gute Prüfflächen untersucht werden. Allerdings bleibt festzustellen, dass dies im umgekehrten Fall – ein flächenhaft dichter Probekörper wird undicht bewertet – nicht möglich ist.

Mechanische Prüfungen

Bereits vor der Prüfung im Drei-Punkt-Biegeversuch lassen sich plausible Annahmen treffen, ob mit unzulässigen Abweichungen der mechanischen Kennwerte von den geforderten Sollwerten zu rechnen ist. In der Prüfpraxis können beispielsweise folgende Anhaltspunkte auf eine Materialschwächung hinweisen:

- Veränderte Farbstrukturen des Liners z. B. als Anzeichen für unregelmäßige Harzverteilung bzw. -tränkung,
- Styrolgeruch bzw. bei Abtasten weiche Probekörperoberflächen z. B. als Anzeichen für unvollständige Aushärtungen,
- Blasenbildungen z. B. als Anzeichen für Überhitzungen im Härtingsprozess,
- Lufteinschlüsse z. B. als Indiz für eine Laminatschwächung.

Auch für den Fall, dass vor der Prüfung keine der o. a. Auffälligkeiten an den Probekörpern festgestellt wurden, existieren Beispiele für Sollwertunterschreitungen der mechanischen Kennwerte. Hier liegt die Ursache insbesondere in mikroskopisch kleinen Auffälligkeiten, die mit bloßem Auge nicht zu erkennen sind. Mit Blick auf die Streuungen der Materialeigenschaften ist auch in den mechanischen Prüfungen mit großen Schwankungen der Ergebnisse zu rechnen, die lediglich über die normgemäße Mittelwertbildung (vgl. [37], [38]), bei Prüfung an mehreren Prüfkörpern eines Probekörpers, scheinbar ausgeglichen werden.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Ergebnisse aus der optischen Inspektion allein nicht ausreichen, um die Qualität einer Schlauchlining-Maßnahme im Zuge der Abnahmeprüfung zu bewerten. Viele Auffälligkeiten sind darüber hinaus im Kanal bei einer rein optischen Begutachtung noch nicht zu erkennen; sie kommen erst unter Laborbedingungen zum Vorschein, z. B. durch Begutachtung von Linerrückseiten und Wandaufbauten³.

³ Als Ursachen für im Labor nachgewiesene Qualitätsabweichungen können u. a. unzureichende Aushärtungen, unregelmäßige bzw. unzureichende Imprägnierungen und Harzverteilungen sowie Lufteinschlüsse (Poren) genannt werden. Diese Auffälligkeiten sind z. T. jedoch selbst unter Laborbedingungen nur mikroskopisch erkennbar.

5 Baumaßnahmen und Nachbeprobungen

Vor dem Hintergrund der in Kapitel 3 dargestellten Auffälligkeiten und möglichen Mängel an Schlauchlinern stellt sich die Frage, inwieweit Ort und Zeitpunkt von Probenentnahmen im Rahmen der Qualitätssicherung und Bauabnahme bei der Bewertung der Ergebnisse zu berücksichtigen sind. Zur Beantwortung dieser Frage wurden sowohl aktuelle Baumaßnahmen, die während des Projektzeitraums bei den beteiligten Netzbetreibern ausgeführt wurden, begleitet als auch Nachbeprobungen an seit mehreren Jahren in Betrieb befindlichen Schlauchlinern durchgeführt.

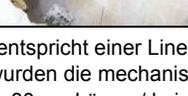
Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung von zwölf aktuellen Baumaßnahmen⁴ wurde insbesondere die gängige Praxis bei der Probenentnahme hinterfragt. So z. B. war zu klären, ob die Entnahme einer Probe im Schacht „repräsentativ“ für die gesamte Sanierungsstrecke ist. Zur Klärung dieser Fragestellung wurden die Entnahmeorte variiert, d. h. sowohl Proben aus dem Schacht als auch aus der Haltung und aus unterschiedlichen Querschnittsbereichen (Scheitel, Kämpfer, Sohle) entnommen, und die Ergebnisse der Laborprüfungen hinsichtlich der Dichtheit und der mechanischen Kennwerte vergleichend gegenübergestellt. Weiterhin wurde stichprobenhaft untersucht, ob der Zeitpunkt der Prüfung einen signifikanten Einfluss auf die Prüfergebnisse der mechanischen Kurzzeit-Eigenschaften haben kann.

Zur Nachbeprobung von Schlauchlinern nach mehrjährigem Betrieb wurden zunächst Liner mit typischen Auffälligkeiten, Abweichungen und Veränderungen im Rahmen einer Recherche identifiziert. Ziel der Nachbeprobungen war die Untersuchung der Linerqualität an diesen charakteristischen Auffälligkeiten. Mit Blick auf die Erfassung der Streuung der Materialeigenschaften wurden auch Nachbeprobungen an Schlauchlinern durchgeführt, die optisch keine Auffälligkeiten aufwiesen. Dies wurde z. B. durchgeführt, um auch mögliche Einflüsse aus dem Betrieb im Rahmen von Gewährleistungsabnahmen berücksichtigen zu können. Bei den Nachbeprobungen wurden sowohl Dichtheitsprüfungen als auch mechanische Werkstoffuntersuchungen an den entnommenen Linerproben durchgeführt.

In Tab. 4 bis Tab. 7 werden der Untersuchungsumfang und die Ergebnisse der Laborprüfungen der begleiteten aktuellen Baumaßnahmen und der Nachbeprobungen nach mehrjährigem Betrieb zusammengefasst.

⁴ Bei einer der zwölf Baumaßnahmen war der Einbau gescheitert, da eine Beschädigung der Innenfolie beim Aufstellvorgang festgestellt wurde.

Tab. 4: Untersuchungsumfang der Begleitung und Beprobung aktueller Baumaßnahmen bei Kanalnetzbetreibern in NRW

Nr. / Anz. Liner	Fotografisches Beispielbild	Schlauchlinersystem	Sanierungs-firma	Einbau-verfahren	Profil und Nennweite Altrrohr	Anzahl der Schacht-proben * ¹	Anzahl der Haltungs-proben * ¹	Anzahl der Dichtheits-prüfungen	Anz. d. Drei-Punkt-Bie-geversuche * ²
BM - 01 / 2 Liner		Brandenburger, (GFK-UP)	Kanalsanierung Friedrich	Einzug / UV-Härtung	Kreis DN 300	2	6	8	12
BM - 02 / 3 Liner		Brandenburger, (GFK-UP)	Brandenburger	Einzug / UV-Härtung	Kreis DN 250, DN 300, DN 400	2	6	8	14
BM - 03 / 1 Liner		Brandenburger, (GFK-UP)	Brandenburger	Einzug / UV-Härtung	Kreis DN 300 u. DN 400	0	4	3	6
BM - 04 / 2 Liner		Brandenburger, (GFK-UP)	Frisch und Faust	Einzug / UV-Härtung	Kreis DN 300 u. DN 400	4	2	6	9
BM - 05 / 1 Liner		Insituform, (NF-UP)	Insituform	Inversion / Warmwasser-Härtung	Ei 400/600	0	2	2	2
BM - 06 / 1 Liner		RS CityLiner, (NF-EP)	Diringer und Scheidel	Inversion / Warmwasser-Härtung	Kreis DN 500	2	6	8	8
BM - 07 / 4 Liner		Norditube Uni-liner, (NF-UP)	Rainer Kiel	Inversion / Warmwasser-Härtung	Kreis DN 250 u. DN 300	4 * ³	0	4	4 * ³
BM - 08 / 2 Liner		BKP Berolina, (GFK-UP)	Arkil Inpipe	Einzug / UV-Härtung	Kreis DN 250 u. DN 400	2	2	4	6
BM - 09 / 1 Liner		Insituform, (NF-UP)	Insituform	Inversion / Warmwasser-Härtung	Kreis DN 500	1 * ⁴	4	5	5
BM - 10 / 1 Liner		iMPREG, (GFK-UP)	Stümges Kanaltechnik	Einzug / Dampf-Härtung	Kreis DN 450	1	2	3	2
BM - 11 / 1 Liner		Insituform, (NF-UP)	Insituform	Inversion / Warmwasser-Härtung	Ei 1000/1500	0	2	2	2

*¹: Eine Probe entspricht einer Linerhalbschale mit einer nennweitenabhängigen Breite und einer Länge von mind. 30 cm bzw. 60 cm. / *²: Bei ausreichendem Proben-Umfang (mind. zwei prüffähige Probekörper) wurden die mechanischen Prüfungen zeitlich versetzt wiederholt (t=0d und t=28d). / *³: Die mechanischen Kurzzeit-Eigenschaften wurden bei 3 von 4 Probekörpern (komplette Linerabschnitte von ca. 30 cm Länge / keine Linerhalbschalen) im Scheiteldruckversuch in Anlehnung an DIN EN 1228 bzw. mit der Ringbiegefestigkeitsprüfung in Anlehnung an DWA-M 143-20 ermittelt. / *⁴: Die Schachtprobe wurde durch ein anderes Prüfinstitut untersucht.

Tab. 5: Untersuchungsumfang der Nachbeprobung von Schlauchlinern nach mehrjährigem Betrieb

Nr. / Bj.	Fotografisches Beispielbild	Schlauchlinersystem	Sanierungs-firma	Profil und Nennweite Altrohr	Hintergrund der Nachbeprobung	Anzahl der Proben u. der Liner	Anzahl der Dichtheitsprüfungen	Anz. d. Drei-Punkt-Biegeversuche
NB - 01 / Bj. 2000		Saertex, (GFK-UP)	Brochier	Kreis DN 400	Kl. Falten / Einschätzung der Materialalterung	4 Proben aus einem Liner	4	8* ¹
NB - 02 / Bj. 2002		Euroliner, (GFK-UP)	Scheiff	Kreis DN 400	Frei liegende Faserschichten	2 Proben aus einem Liner	2	1
NB - 03 / Bj. 2001 u. 2002		Brandenburger, (GFK-UP)	Win-line	Kreis DN 200 u. DN 250	Ablösungen der Linerwandung	7 Proben aus drei Linern	4	0
NB - 04 / Bj. 2002		Inpipe, (GFK-UP)	R+S Rohrtechnik	Ei 275/375	Frei liegende Faserschichten	2 Proben aus einem Liner	3	1
NB - 05 / Bj. 2005		Euroliner, (GFK-UP)	Linertec	Kreis DN 300 u. DN 500	Gewährleistungsabnahme	3 Proben aus zwei Linern	3	3
NB - 06 / Bj. 2003		KM Inliner, (NF-UP)	KMG	Kreis DN 400	Flecken, off. Undichtigkeiten / Gewährleistungsabnahme	2 Proben aus zwei Linern	2	2
NB - 07 / Bj. 1995 bis 2004		Insituform, KM Inliner, (NF-UP) / RS CityLiner (NF-EP)	Insituform, KMG, Diringer und Scheidel	Ei 300/450 bis Ei 900/1350	Falten und Beulen / Einschätzung der Materialalterung	6 Proben aus fünf Linern	6	4
NB - 08 / Bj. 2004		Saertex, (GFK-UP)	k. A.	Kreis DN 400	Kl. Falten u. Beulen / Gewährleistungsabnahme	4 Proben aus drei Linern	4	4
NB - 09 / Bj. 1998		KM Inliner, (NF-UP)	KMG	Kreis DN 400	Einschätzung der Materialalterung	2 Proben aus zwei Linern	2	2
NB - 10 / Bj. 2002 bis 2004		Insituform (NF-UP), Brandenburger (GFK-UP)	k. A.	Kreis DN 200 bis DN 600	Gewährleistungsabnahme	25 Proben aus 17 Hal-tungen * ²	25	25

k. A. = keine Angabe / *¹: Die mechanischen Prüfungen wurden in diesem Fall zeitlich versetzt wiederholt (t=0d und t=28d). / *²: Die 25 entnommenen Proben entstammen aus 17 verschiedenen Kanalhaltungen. Die Anzahl der beprobten Liner ist nicht bekannt.

Tab. 6: Aktuelle Baumaßnahmen, Ergebnisse der Laborprüfungen

Liner Nr.	Sollwerte	Ergebnisse Schacht	Ergebnisse Haltung
Nr. 1 (BM 01) DN 300 GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 9.500 Biegespannung [MPa]: 220 Wanddicke [mm]: 2,45 mm	dicht 13.823 350,88 4,47	2 x dicht 12.510; 13.246; 13.258; 11.607 250,92; 266,72; 286,12; 255,04 4,78; 4,68; 4,64; 5,10
Nr. 2 (BM 01) DN 300 GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 9.500 Biegespannung [MPa]: 220 Wanddicke [mm]: 2,45	dicht 15.655 329,44 4,03	4 x dicht 11.950; 12.117; 15.177; 12.471; 13.499; 14.098 156,45; 236,53; 298,85; 224,10; 293,69; 246,77 4,40; 4,87; 4,57; 4,86; 4,68; 4,09
Nr. 3 (BM 02) DN 250 GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 9.500 Biegespannung [MPa]: 220 Wanddicke [mm]: 3,5	dicht 13.112 294,82 3,89	2 x dicht 12.013; 13.525; 12.258; 11.219 221,26; 235,12; 245,40; 225,23 4,15; 4,00; 4,19; 4,39
Nr. 4 (BM 02) DN 300 GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 9.500 Biegespannung [MPa]: 220 Wanddicke [mm]: 3,5	keine Schachtprobe entnommen	2 x dicht 10.722; 12.054; 12,491; 13,142 183,50; 202,59; 225,69; 229,72 4,35; 4,24; 4,19; 4,04
Nr. 5 (BM 02) DN 400 GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 9.500 Biegespannung [MPa]: 220 Wanddicke [mm]: 4,2	dicht 13.113 196,24 5,56	2 x dicht 10.128; 11.731; 11.467; 11.798 125,13; 169,89; 142,89; 172,43 6,04; 6,04; 5,92; 5,90
Nr. 6 (BM 03) DN 300 GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 9.500 Biegespannung [MPa]: 220 Wanddicke [mm]: 4,00	keine Schachtprobe entnommen	3 x dicht 10.098; 8.943; 10.267; 11.007; 15.237; 15.229 146,48; 118,91; 158,50; 146,70; 324,61; 334,91 4,78; 4,83; 4,74; 4,53; 4,48; 4,26
Nr. 7 (BM 04) DN 400 GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 9.500 Biegespannung [MPa]: 220 Wanddicke [mm]: 5,6	2 x dicht 15.809; 15.161; 15.052; 18.867 340,56; 347,86; 332,32; 369,14 5,60; 5,56; 5,62; 5,40	dicht 15.847 342,65 5,74
Nr. 8 (BM 04) DN 300 GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 9.500 Biegespannung [MPa]: 220 Wanddicke [mm]: 5,6	2 x dicht 14.273; 13.222; 15.058 271,02; 295,51; 306,25 4,80; 4,86; 4,83	undicht 13.595; 303,27 4,94
Nr. 9 (BM 05) Ei 400/600 NF-UP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 2.800 Biegespannung [MPa]: 28 Wanddicke [mm]: 9,00	keine Schachtprobe entnommen	1 x dicht / 1 x undicht 3.284; 3.251 33,17; 31,82 11,03; 10,39
Nr. 10 (BM 06) DN 500 NF-EP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 2.400 Biegespannung [MPa]: 55 Wanddicke [mm]: 6,00	2 x dicht 2.140; 2.491 59,49; 67,84 9,78; 9,78	5 x dicht / 1 x undicht 2.433; 2.591; 2.456; 2.403; 1.839; 2.641 68,79; 76,02; 66,26; 66,53; 46,17; 78,17 9,85; 9,73; 9,71; 9,28; 9,76; 9,72
Nr. 11 (BM 07) DN 250 NF-UP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 3.500 Biegespannung [MPa]: 44 Wanddicke [mm]: 6,50	undicht 5.317 45,49 4,65	keine Haltungsprobe entnommen
Nr. 12 (BM 07) DN 250 NF-UP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 3.000 Biegespannung [MPa]: 44 Wanddicke [mm]: 6,50	dicht 4.409 51,37 4,92	keine Haltungsprobe entnommen
Nr. 13 (BM 07), DN 300, NF-UP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 3.500 Biegespannung [MPa]: 44 Wanddicke [mm]: 6,50	undicht 6.922 48,02 4,61	keine Haltungsprobe entnommen
Nr. 14 (BM 07) DN 250 NF-UP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 3.500 Biegespannung [MPa]: 44 Wanddicke [mm]: 6,50	undicht 6.365 52,60 4,64	keine Haltungsprobe entnommen
Nr. 15 (BM 08) DN 400 GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 7.985 Biegespannung [MPa]: 170 Wanddicke [mm]: 3,32	dicht 13.352; 13.416 359,81; 301,22 5,03; 4,47	dicht 13.198; 13.545 319,35; 296,38 4,86; 5,18
Nr. 16 (BM 08) DN 250 GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 7.985 Biegespannung [MPa]: 170 Wanddicke [mm]: 2,07	dicht 11.352 228,79 5,31	dicht 11.476 236,32 5,35
Nr. 17 (BM 09) DN 500 NF-UP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 2.800 Biegespannung [MPa]: 28 Wanddicke [mm]: 7,20	dicht * 4.359 * 48,1 * 7,67 *	3 x dicht / 1 x undicht 3.386; 3.603; 3.772; 3.377 34,86; 37,29; 34,96; 31,76 8,25; 7,97; 7,52; 7,87
Nr. 18 (BM 10) DN 450 GFK-UP Dampf-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 9.500 Biegespannung [MPa]: 180 Wanddicke [mm]: 4,00	dicht 16,619 307,96 4,36	1 x dicht / 1 x undicht 12.776 307,96 4,36
Nr. 19 (BM 11) Ei 1000/1500 NF-UP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 2.800 Biegespannung [MPa]: 32 Wanddicke [mm]: 29,10	keine Schachtprobe entnommen	2 x dicht 3.650; 3.489 39,00; 37,00 32,62; 31,95

* Die Schachtprobe wurde durch ein anderes Prüfinstitut untersucht.

Tab. 7: Nachbeprobungen nach mehrjährigem Betrieb, Ergebnisse der Laborprüfungen

Baujahr, Liner	Sollwerte	Ergebnisse Haltung
NB - 01, Bj. 2000 DN 400 GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: k. A.* ¹ Biegespannung [MPa]: k.A.* ¹ Wanddicke [mm]: k. A.	4 x dicht 10.098; 10.393; 10.267; 11.596; 15.237; 12.028; 10.166; 10.094 146,48; 188,99; 158,50; 224,65; 324,61; 251,37; 141,00; 137,84 4,78; 3,55; 4,74; 4,43; 4,48; 2,66; 4,06; 3,38
NB - 02, Bj. 2002 DN 300 GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 8.500 Biegespannung [MPa]: 200 Wanddicke [mm]: 4,20	1 x undicht ^{*2} / 1 x dicht n. p. ^{*2*3} ; 16.368 n. p. ^{*2*3} ; 423,47 n. p. ^{*2*3} ; 3,06
NB - 03, Bj. 2001 / 2002 DN 200 u. DN 250 GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 9.500 Biegespannung [MPa]: 220 Wanddicke [mm]: k. A.	4 x dicht 4 x n. p. ^{*3*4} 4 x n. p. ^{*3*4} 4 x n. p. ^{*3*4}
NB - 04, Bj. 2002 Ei 250/375 GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: ~7.800 Biegespannung [MPa]: 130 Wanddicke [mm]: 4,60	1 x dicht / 2 x undicht ^{*2*8} 6,378; n. p. ^{*2*3} 253,39; n. p. ^{*2*3} 5,76; n. p. ^{*2*3}
NB - 05, Bj. 2005 DN 300 u. DN 500 ^{*5} GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 8.500 Biegespannung [MPa]: 200 Wanddicke [mm]: 3,50 u. 5,0	3 x dicht 11.124; 10.751; 15.589 243,83; 242,21; 295,50 5,81 (gef. 3,5); 5,85 (gef. 5,0); 4,04 (gef. 5,0)
NB - 06, Bj. 2003 DN 400 NF-UP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 2.800 Biegespannung [MPa]: 36 Wanddicke [mm]: 6,00	1 x undicht ^{*6} / 1 x dicht 4,495; 4,229 49,15; 50,39 7,40; 7,99
NB - 07, Bj. 2004 Ei 900/1350 NF-UP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 2.800 Biegespannung [MPa]: 36 ^{*7} Wanddicke [mm]: 19,00	2 x dicht 4.111; 3.592 37,05; 35,17 18,85; 18,29
NB - 07, Bj. 1995 Ei 350/525 NF-UP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 2.800 Biegespannung [MPa]: k. A. Wanddicke [mm]: k. A.	1 x dicht n. p. n. p. n. p.
NB - 07, Bj. 1999 Ei 300/450 NF-EP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 2.800 Biegespannung [MPa]: k. A. Wanddicke [mm]: k. A.	1 x dicht n. p. n. p. n. p.
NB - 07, Bj. 1996 Ei 400/600 NF-UP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 2.800 Biegespannung [MPa]: 36 Wanddicke [mm]: k. A.	2 x dicht 3.881; 2.914 60,04; 31,35 12,83; 11,25
NB - 08, Bj. 2004 DN 400 GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 12.000 Biegespannung [MPa]: 350 ^{*7} Wanddicke [mm]: 4,00	4 x dicht 15.834; 14.564; 16.651; 15.232 398,23; 340,69; 344,35; 351,37 4,26; 4,43; 4,62; 4,22
NB - 09, Bj. 1998 DN 400 NF-UP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: k. A. Biegespannung [MPa]: k. A. Wanddicke [mm]: k. A.	1 x dicht / 1 x undicht 2,300; 2,720 31,91; 58,75 8,52; 10,49
NB - 10, Bj. 2003 DN 250 GFK-UP UV-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 9.500 Biegespannung [MPa]: 150 Wanddicke [mm]: 4,20	4 x dicht 14.119; 13.649; 11.760; 10.352 256,16; 240,94; 205,43; 210,97 4,51 (gef. 4,90); 3,75; 4,49; 4,22
NB - 10, Bj. 2004 DN 200 NF-UP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 2.800 Biegespannung [MPa]: 36 ^{*7} Wanddicke [mm]: 4,70	4 x undicht / 1 x dicht 2,067; 2,713; 3,082; 3,733; 3,187 38,85; 27,46; 33,17; 33,90; 31,32 4,00 (gef. 2,30); 6,69; 7,33; 7,25; 7,56
NB - 10, Bj. 2002 DN 200 u. DN 250 NF-UP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 2.800 Biegespannung [MPa]: 36 ^{*7} Wanddicke [mm]: 4,50	7 x undicht / 1 x dicht 2,563; 3,863; 3,921; 3,376; 3,047; 2,618; 3,423; 3,910 33,09; 48,32; 42,26; 38,69; 32,64; 34,86; 42,07; 37,33 7,60 (gef. 6,0); 6,10; 5,61; 6,20; 6,23; 5,72; 5,59; 9,79 (gef. 7,50)
NB - 10, Bj. 2003 DN 250 u. DN 400 NF-UP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 2.800 Biegespannung [MPa]: 36 ^{*7} Wanddicke [mm]: 4,50 u. 6,0	1 x undicht / 3 x dicht 3,333; 3,027; 4,130; 4,432 37,13; 36,69; 44,85; 46,33 6,25 (gef. 4,50); 5,49 (gef. 4,50); 7,26 (gef. 6,00); 7,07 (gef. 6,00)
NB - 10, Bj. 2002 DN 200 (Hausanschluss-Liner) NF-UP Warmwasser-Härtung	Dichtheit: dicht E-Modul [MPa]: 2.800 Biegespannung [MPa]: 36 ^{*7} Wanddicke [mm]: k. A.	4 x undicht 3,516; 3,501; 3,190; 3,408 45,78; 44,91; 48,91; 47,01 4,91; 4,35; 4,68; 4,95

k. A. = keine Angabe (Sollwerte liegen nicht vor)

n. p. = nicht prüfbar (Aufgrund der Probenstruktur bzw. -geometrie war kein 3-Punkt-Biegeversuch möglich)

*¹: Es konnte nicht ermittelt werden, welches Linersystem des Herstellers eingesetzt wurde. Jedoch ist bekannt, dass die Kennwerte beim E-Modul mindestens 7.000 MPa bzw. 12.000 MPa und bei der Biegespannung mindestens 200 MPa oder 350 MPa, je nach eingesetztem System, betragen.

*²: Die Probekörper weisen deutlich zu erkennende unzureichend imprägnierte Bereiche auf.

*³: Es kann davon ausgegangen werden, dass die mechanischen Kennwerte signifikant unterschritten werden, da die Probekörper händisch biegsam sind.

*⁴: Die Probekörper weisen abgelöste Faserschichten auf.

*⁵: Während der Probenentnahme wurde festgestellt, dass ein zweiter Liner (DN 500) über den ersten verbaut war.

*⁶: Die Probe wurde aus einem Bereich entnommen, in dem eine Undichtigkeit im Rahmen der TV-Inspektion vermutet wurde (Tropfenbildung im Laminat). Im Labor zeigte sich ein Haarriss auf der Linerrückseite.

*⁷: Die Werte für die Kurzzeit-Biegespannung waren zum Einbaupunkt 350 MPa bzw. 36 MPa; die Werte wurden in der Zwischenzeit auf 250 MPa bzw. 32 (28 für Wanddicken ≤ 9 mm) MPa abgemindert.

*⁸: Es wurde sowohl eine Unterdruck als auch eine drucklose Dichtheitsprüfung durchgeführt. In beiden Prüfungen lautet das Prüfergebnis „undicht“.

Im Ergebnis zeigte sich, dass bei neun von 15 im Haltungsbereich beprobten Linern aktueller Baumaßnahmen mindestens eine Sollwert-Unterschreitung (Dichtheit, Wanddicke, E-Modul oder Biegespannung) im Haltungsbereich festgestellt wurde, wenn auch z. T. nur mit geringer Ausprägung. Es konnten ferner Gegenbeispiele für die Hypothese gefunden werden, dass Schachtproben grundsätzlich schlechtere Materialkennwerte liefern als Haltungsproben (vgl. [31], [32]). Mehrfach beprobte Liner zeigten des Weiteren z. T. erhebliche Streuungen von mehr als 20 % der mechanischen Kennwerte und unterschiedliche Ergebnisse bei der Dichtheitsprüfung sowohl unter Variation des Ortes (Schacht, Haltungsanfang, Haltungsmitte, Haltungsende) als auch der Querschnittsposition (Sohle, Kämpfer, Scheitel). Auch die Ergebnisse der Prüfung innerhalb einer Prüfkörperserie einer einzelnen Materialprobe zeigten zum Teil untereinander signifikante Streuungen.

Im Ergebnis der Nachbeprobungen lassen sich optische Auffälligkeiten nicht zuverlässig mit einer Veränderung der mechanischen Kennwerte bzw. der Dichtheit in Verbindung bringen. Die Bewertung von Auffälligkeiten ist entsprechend als Einzelfallbetrachtung anzusehen (vgl. Zustandskatalog). Tendenzen sind jedoch vorhanden, so sind z. B. fleckenartige Verfärbungen scheinbar ohne Einfluss auf die Dichtwirkung und mechanischen Kennwerte, während frei liegende Fasern als Hinweis für mangelnde Harztränkung und daraus folgend mangelnde Dichtheit und mechanische Widerstandsfähigkeit angesehen werden können. Im Zuge der Nachbeprobungen von optisch unauffälligen Altlinern zeigte sich, dass auch hier z. T. Streuungen und Inhomogenitäten der Materialeigenschaften vorliegen.

Im Gesamtblick der dargestellten Ergebnisse aus In-situ-Untersuchungen und der Auswertung der Datenbasis der IKT-Prüfstelle lässt sich feststellen, dass die Materialeigenschaften einzelner Schlauchliner-Rohre stark streuen können. Dies betrifft sowohl die Eigenschaften in Längsrichtung als auch über den Querschnittsumfang. Es wurden darüber hinaus z. T. starke Streuungen in kleinräumigen Strukturen erkannt, dass sogar innerhalb desselben Probekörpers deutlich unterschiedliche Materialeigenschaften nachgewiesen wurden. Die Qualität des Liners kann darüber hinaus nicht allein durch die optische Inspektion bewertet werden, so dass sich die Frage stellte, inwieweit der Einsatz innovativer zerstörungsfreier Prüfmethoden weitere Qualitätsaussagen zulässt.

Ausführliche Dokumentationen, Ergebnisse der Bauabnahmen sowie der Nachbeprobungen sind der Langfassung des Endberichtes zu entnehmen.

6 Innovative Inspektionstechniken und Prüfverfahren

Ein innovativer Weg zur Überprüfung des Sanierungsergebnisses ergibt sich durch den Einsatz zerstörungsfreier Prüfverfahren. Ziel hierbei ist es u. a., mögliche Schwachstellen der Schlauchlinersanierung mit Hilfe von zerstörungsfreien Prüfverfahren zu identifizieren und ggf. gezielt zu beproben und zerstörend zu prüfen. Im Rahmen des Vorhabens wurden Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung recherchiert und in Laboruntersuchungen sowie in einem Praxiseinsatz getestet. Folgende zerstörungsfreie Prüfverfahren kamen in situ zum Einsatz (vgl. Abb. 3 bis Abb. 8):

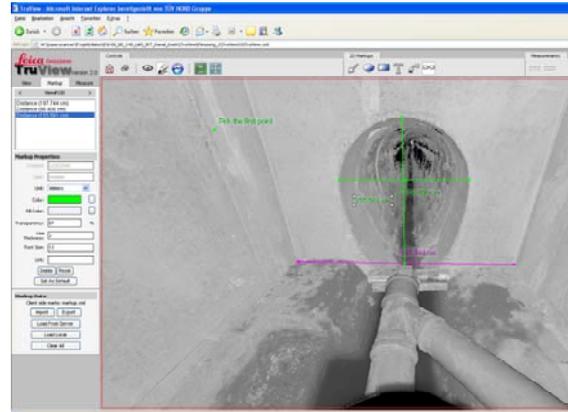
- 3D-Laserscanning (DMT, Essen),
- Temperaturmessung mittels Glasfaserkabeln (OSSCAD, Bergisch Gladbach),
- Wärmefluss-Thermographie (Fraunhofer Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut, Braunschweig),
- Impact-Echo-Verfahren (Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart),
- Lokale Resonanzspektroskopie (Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart),
- Ultraschall-Echo-Verfahren (Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart),
- Ultraschall-Echo-Verfahren (Fraunhofer Institut für Biomedizinische Technik IBMT, St. Ingbert).

Der Einsatz von zerstörungsfreien Prüfverfahren in Labor- und In-situ-Tests zeigte, dass diese Verfahren ein hohes Potential für eine Anwendung an Schlauchlinersystemen besitzen. Allerdings stellen die zerstörungsfreien Prüfverfahren zum jetzigen Stand der Gerätetechnik (noch) keine Alternative zur Probenentnahme für eine Überprüfung der erreichten Sanierungsqualität dar. Für einen standardmäßigen Einsatz sind die Verfahren hinsichtlich der erzielten Ergebnisse zu validieren, weiterzuentwickeln und größtenteils die Gerätetechnik zu verkleinern bzw. zu automatisieren. Die Prüfverfahren könnten dann eine sinnvolle Ergänzung zur bisherigen Qualitätssicherung und Abnahme in Form der optischen Inspektion und der Laborprüfung an entnommenen Linerproben darstellen. Tab. 8 stellt abschließend die Bewertung der zerstörungsfreien Prüfverfahren dar. Ausführliche Informationen sind der Langfassung des Endberichtes zu entnehmen.

Getestete zerstörungsfreie Prüfverfahren, Fotografische Beispiele



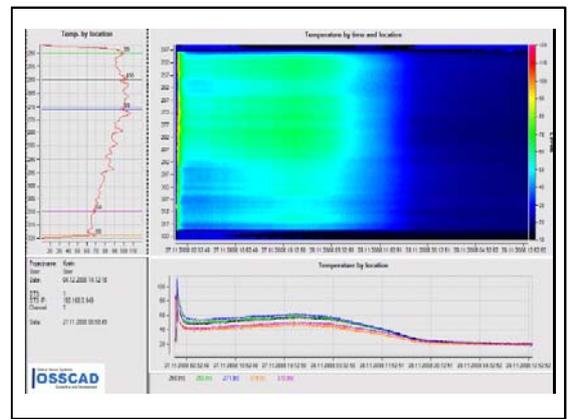
a) Vermessen des Startschachtes
Abb. 3: 3D-Laserscanning (DMT, Essen)



b) Visualisierung der Messdaten, Beispiel



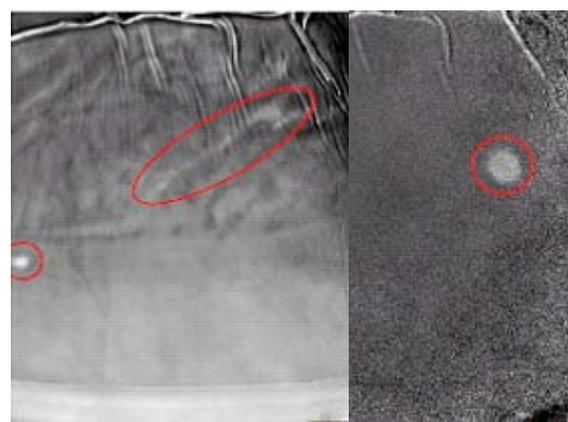
a) Installierte Messkabel am Altröhre
Abb. 4: Baubegleitende Temperaturmessung (OSSCAD, Bergisch Gladbach)



b) Ergebnisgrafik, Beispiel



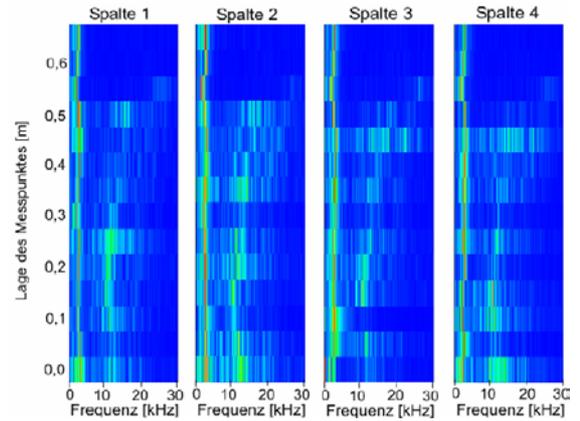
a) Messung im Kanal
Abb. 5: Wärmefluss-Thermographie (Fraunhofer WKI, Braunschweig)



b) Messergebnisse, Beispiel



a) Messung im Kanal

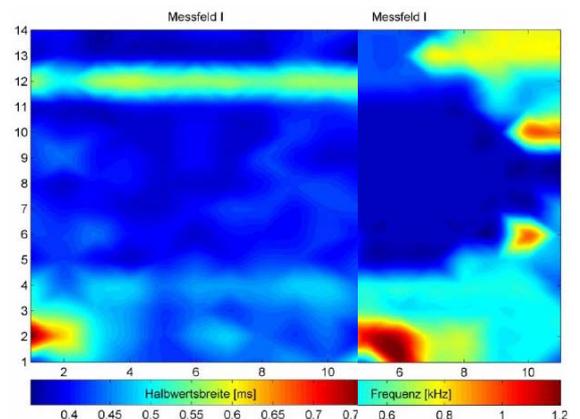


b) Messergebnisse, Beispiel

Abb. 6: *Impakt-Echo-Verfahren (MPA Stuttgart)*



a) Messung im Kanal

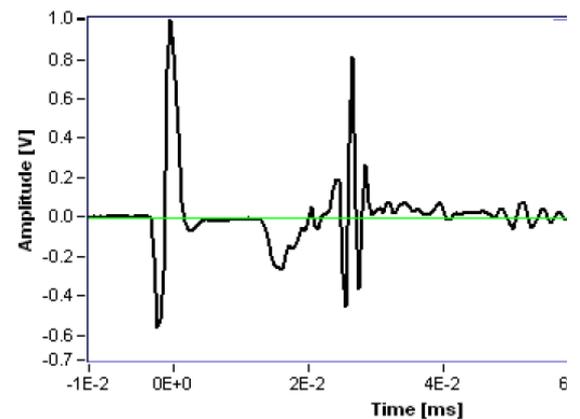


b) Messergebnisse, Beispiel

Abb. 7: *Lokale Resonanzspektroskopie (MPA Stuttgart)*



a) Messung im Kanal (IBMT)



b) Messergebnisse, Beispiel (MPA Stuttgart)

Abb. 8: *Ultraschall-Echo-Verfahren (Fraunhofer IBMT, St. Ingbert; MPA Stuttgart)*

Tab. 8: Bewertung der zerstörungsfreien Prüfverfahren auf Basis des Testeinsatzes im begehbaren Bereich

Verfahren	Theoretische Aussagekraft	Praxis-tauglichkeit	Aufwand/ Kosten	Verbesserungs-potential	Bemerkungen
Standard-Proben-entnahme	+++	-	+++	+	Entnahme durch Sanierungsfirma (i. d. R. im Beisein des Auftraggebers)
	mech. Kennwerte Dichtigkeit	i.d.R. nur 1 x Schachtprobe Streuung nicht erfasst	ger. Aufwand f. Entnahme Standard-Laborprüfung einschließlich Auswertung < 300 €/Probe	Materialstreuung erfassen Entnahme-/Reparaturmeth. für Haltungsproben	
Baubegl. Temperatur-messung	+	++	-	+++	3-4 ausführende Personen automatische Messung ca. 4 Tage Vorbereitung ca. 4 Tage Messung
	Temperatur-verlauf Wärmeeintrag	etabliertes Messverfahren Einsatz in allen Nennweiten zahlreiche Messpunkte Ergebnisvalidierung unklar	Vorbereitung aufwändig hoher Personalaufwand geringer Messaufwand aufwändige Auswertung ca. 6.750 €/Messeinsatz	Lagesicherung Kabel Integration Kabel in Liner Validierung	
Ultraschall-Echo	++	-	-	+++	nur nach Linereinbau einsetzbar 2 ausführende Personen ca. 5 Messraster/Tag
	Wanddicke	nur begehbare Kanäle Prüfung ausgew. Stellen Ergebnisvalidierung unklar	mittl. Personalaufwand große Messdauer aufwändige Auswertung ca. 2.400 - 3.500 €/Messtag	(Geräteweiterentwicklung) Automatisierung Validierung	
Impakt-Echo	++	-	-	++	nur nach Linereinbau einsetzbar 2 ausführende Personen ca. 5 Messraster/Tag
	Ringspalt detektierbar (Wanddicke)	nur begehbare Kanäle Prüfung ausgew. Stellen Ergebnisvalidierung unklar	mittl. Personalaufwand große Messdauer aufwändige Auswertung ca. 3.500 €/Messtag	Automatisierung Validierung	
Thermo-graphie	+	-	--	+++	nur nach Linereinbau einsetzbar 3 ausführende Personen ca. 7 Messfelder/Tag
	Inhomo-genitäten	nur begehbare Kanäle Prüfung ausgew. Flächen Ergebnisvalidierung unklar	hoher Personalaufwand große Messdauer aufwändige Auswertung ca. 6.000 €/Messtag	Miniaturisierung Automatisierung Validierung	
3D-Laser-scanning	++	--	--	++	nur nach Linereinbau einsetzbar 4 ausführende Personen 4 h Messung für 1 Haltung
	Vollständige Erfassung der Schalen-oberfläche	etabliertes Messverfahren nur begehbare Kanäle Messgenauigkeit für Wand/Ringspalt zu gering	hoher Personalaufwand geringe Messdauer aufwändige Auswertung ca. 10.000 €/Messtag	Miniaturisierung Automatisierung Messgenauigkeit	
Resonanz-spektroskopie	+	-	-	++	nur nach Linereinbau einsetzbar 2 ausführende Personen ca. 5 Messraster/Tag
	Inhomo-genitäten	nur begehbare Kanäle Prüfung ausgew. Stellen Ergebnisvalidierung unklar	mittl. Personalaufwand große Messdauer aufwändige Auswertung ca. 3.500 €/Messtag	Automatisierung Validierung	

7 Statische Bewertung von Auffälligkeiten

Die Bemessung für Schlauchliner nach dem ATV Merkblatt 127-2 [39] geht von einem zwei-dimensionalen Kreisringmodell aus, in dem geometrische und strukturelle Imperfektionen ebenfalls zweidimensional erfasst und wie folgt vorgeschrieben werden: Amplitude = 2 % des Radius und Ausdehnung = 40° in der Linersohle (*Standardmodell*). Da die Imperfektionen in Längsrichtung konstant sind, werden günstig wirkende räumliche Tragwirkungen auf der sicheren Seite vernachlässigt. Mit Hilfe der Finite Element Methode kann dagegen das dreidimensionale Tragverhalten von Linern mit beliebiger räumlicher Verteilung der Imperfektionen erfasst werden (vgl. [40]). Im Rahmen der statischen Berechnungen durch die Fachhochschule Münster, Prof. Dr.-Ing. B. Falter, wurden mögliche räumliche verteilte Abweichungen geometrischer und werkstofflicher Art auf die Linerqualität mit Hilfe von 3D-Simulationen (vgl. [41]) untersucht. Die Imperfektionen wurden als örtliche Vorverformung (vgl. Abb. 9), als Längsfalte, als Querfalte (sowohl harzhinterfüllt als auch hohl), als bereichsweise verringerter E-Modul und als bereichsweise verringerte Wanddicke exemplarisch für einen Liner aus Synthesefaserlaminat unter Wasseraußendruck in einem Altrohr der Nennweite DN 300 (Altrohrzustand I) untersucht.

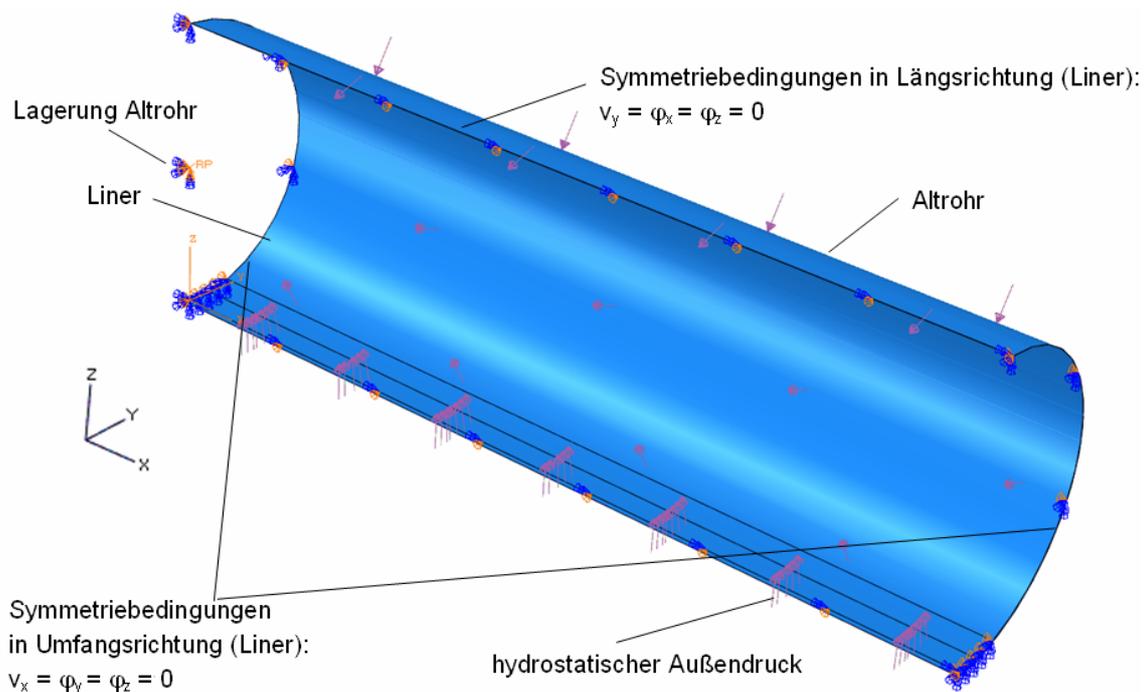


Abb. 9: FE-Modell DN 300 mit örtlicher Vorverformung und Ringspalt, Liner hier simuliert durch Shell-Elemente; aus [41]

Die untersuchten Längs- und Querfalten hatten eine Höhe von jeweils 20 mm Höhe (= 13 % des Linerradius), die Ausdehnung betrug 10° bzw. 30 mm. Alle Berechnungen wurden für einen äußeren Druck aus 5 m Wassersäule durchgeführt.

Für einige Imperfektionen (z. B. Längsfalten) wurden Längen ermittelt, für die die räumliche Berechnung (FE-Modell) und eine ebene Berechnung nach dem Standardmodell in ATV-M 127-2 [39] mit ungünstig verteilter Vorverformung von 3 mm Höhe (= 2 % des Radius) gleiche Ergebnisse lieferten. Bei 20 mm hohen Längsfalten, die eine Länge von ca.

100 mm (inklusive Übergangsbereich mit linear abnehmender Faltenhöhe) unterschreiten oder niedriger sind, folgen geringere Beanspruchungen - in diesen Fällen enthält der im Standardmodell für lokale Vorverformungen vorgesehene Ansatz ausreichend Reserven. Bei Quersalten mit 20 mm Höhe traten für alle untersuchten Varianten geringere Spannungen auf als im Standardmodell. Das Gleiche gilt für Unterschreitungen des E-Moduls um 50%, wenn diese auf 40° Öffnungswinkel begrenzt bleiben und keine weiteren Vorverformungen hinzukommen. Unter den gleichen Bedingungen beträgt die Grenzlänge bei Wanddickenunterschreitungen um 50 % ca. 800 mm (vgl. Tab. 9).

Mit Hilfe des vorgestellten FE-Modells ist es damit möglich, räumlich verteilte Abweichungen der Linerqualität hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Standsicherheit genauer als bisher zu beurteilen. Ausführliche Informationen zu den statischen Berechnungen sind der Langfassung des Endberichtes zu entnehmen.

Tab. 9: Ergebnisse, Altrohrzustand I, Wasseraußendruck, Grundmodell: keine Imperfektionen, Standardmodell: Imperfektionen nach ATV-M 127-2 [39]

Imperfektion	Parameter/Variation	Vergleich der Spannungen mit dem Grundmodell ($w_v = 0$)	Vergleich der Spannungen mit dem Standardmodell ($w_v = 2\%$)	Gültigkeit des 2-D Modells / Grenzlänge
		Abweichung [%]	Abweichung [%]	
1. Örtliche Vorverformung	$w_v = 2\%$ Öffnungswinkel $\alpha = 40^\circ$ konstant	0	0	+
	$w_v = 0 - 2\%$ Öffnungswinkel $\alpha = 40^\circ$ in Rohrlängsrichtung veränderlich	↑	↓	+ / $L_v / DN \geq 4^5$
2. Längsfalte	Höhe $h_F = 0 - 20$ mm Öffnungswinkel $\alpha_F = 10^\circ$ in Rohrlängsrichtung veränderlich	↑	↑ -14 bis + 525	+ / $L_v / DN \geq 3^5$
3. Querfalte	a) Höhe $h_F = 0 - 20$ mm, ungefüllt Öffnungswinkel $\alpha_F = 10^\circ$	↑ + 143 bis + 653	↓ - 50 bis + 75	-
	b) Höhe $h_F = 0 - 20$ mm, ungefüllt Öffnungswinkel $\alpha_F = 10^\circ$	↑ + 95 bis + 228	↓ - 64 bis - 33	-
	c) Höhe $h_F = 0 - 20$ mm, gefüllt Öffnungswinkel $\alpha_F = 10^\circ$	↑ - 12 bis + 84	↓ - 84 bis - 62	-
4. bereichsweise verringerter E-Modul	$0,5 \cdot E_L$ und $1 \cdot E_L$ Stufe, ellipsenförmig	↑ + 28 bis + 97	↓ - 76 bis - 60	-
5. bereichsweise verringerte Wanddicke	a) $0,5 \cdot s_L$ bis $1 \cdot s_L$ Umfangsrichtung	↑ + 27 bis + 202	↓ - 76 bis - 38	+
	b) $0,5 \cdot s_L$ bis $1 \cdot s_L$ Längsrichtung	↑ + 69 bis + 132	↓ - 69 bis - 52	-
	c) $0,5 \cdot s_L$ und $1 \cdot s_L$ Stufe, ellipsenförmig	↑ - 108 bis + 412	↓ - 62 bis + 4	-

↑ = erhöhte Spannungen, ↓ = geringere Spannungen, 0 = näherungsweise gleiche Spannungen
+ = gültig, - = nicht gültig

⁵ 2-D-Modell liegt i. d. R. auf der sicheren Seite

8 Werkstoffanalyse und -identifizierung

Eine einfache Identifikation der gelieferten Schlauchlinermaterialien bietet z. B. ein Vergleich der IR-Spektralanalyse von dem auf der Baustelle verwendeten Harz mit einer Reinharzprobe des im Angebot beschriebenen Materials. Ziel im Rahmen des Forschungsvorhabens war es, marktübliche Linermaterialien sowohl als Reinharz- als auch als Baustellenprobe zusammenzustellen und auf der Basis der Untersuchungsergebnisse eine Linerdatenbank zur Identitätskontrolle von Linern aufzubauen. Ergänzend war auch die Aussagekraft der Untersuchungsmethode DSC näher zu hinterfragen. Dieser Methode wird nachgesagt, dass auf Grund von temperaturabhängigen Messungen der Energieaufnahme Aussagen über den Aushärtegrad des Materials und die mechanische Stabilität des eingebauten Liners getroffen werden können. Durch die Fachhochschule Gelsenkirchen, Prof. Dr. K.-U. Koch, wurden hierzu entsprechende Untersuchungen zur Werkstoffanalyse und -identifizierung durchgeführt [42].

Im Ergebnis wurde eine IR-Datenbank mit unterschiedlichen Harztypen aufgebaut, mit der eine sehr gute Zuordnung von unbekanntem Baustellenproben zum jeweiligen Harztyp möglich ist (vgl. Beispiel in Abb. 10). Aus einer Reihe von Baustellenproben können nun von einer Ausschreibung abweichende Harztypen identifiziert und zugeordnet werden [42].

Die Ergebnisse einer DSC-Analyse bieten darüber hinaus sehr gute Anhaltspunkte für die Qualitätskontrolle im Rahmen der Produktentwicklung und -verbesserung. Bei diesen Messungen werden gezielt Rezepturänderungen (Harzrezeptur, Füllstoffanteil etc.) herbeigeführt und die sich daraus ergebenden Kennwerte (mechanische Kennwerte, T_G etc.) bestimmt. Die Grenzen ihrer Aussagekraft bezüglich der mechanischen Kennwerte des Liners erlauben für In-situ-Proben allerdings keine gerichtsfeste Abnahmeuntersuchung der Ausführungsqualität von Schlauchlinern [42].

Ausführliche Erläuterungen zur Werkstoffanalyse und -identifizierung sind der Langfassung des Endberichtes zu entnehmen.

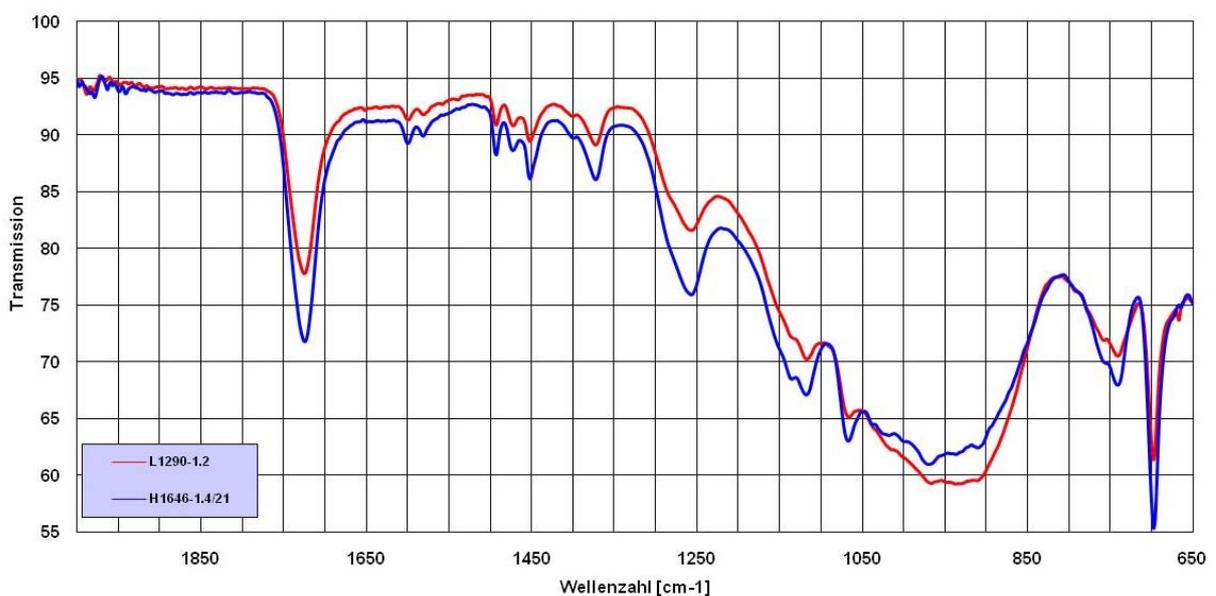


Abb. 10: Vergleich des IR-Spektrums einer Linerprobe mit einer Referenzprobe [42]

9 Schlussbetrachtung und Empfehlungen

Die in dieser Arbeit dargestellten Praxisbeobachtungen und Baustellenuntersuchungen unterstreichen, dass bei zufälliger Auswahl von Baustellenproben an neu eingebauten Linern die daraus gewonnenen Prüfkörper zum Teil erhebliche abnahmerelevante Schwankungen der Produktqualität aufwiesen. Bei neun von 15 unmittelbar nach Einbau im Haltungsbereich beprobten Linern zeigte sich mindestens eine – wenn auch z. T. geringe – Sollwertunterschreitung. Bei Nachbeprobungen an älteren Linern verschärfte sich dieser Eindruck noch. Auch wurden zum Teil Sollwertunterschreitungen an Haltungsproben beobachtet, obwohl die entsprechenden Schachtproben die Qualitätsprüfungen bestanden hatten. Materialstreuungen zeigte auch der Vergleich zwischen Probekörpern desselben Rohrquerschnitts (z. B. Kämpfer links/rechts). Eine weitergehende Auswertung von ca. 200 Inspektionsvideos und 1.800 Prüfberichten zu ca. 5.000 Schlauchlinerproben zeigte darüber hinaus, dass erhebliche Unterschiede zwischen dem optischen Eindruck und der labortechnisch überprüfbareren Qualität bestehen können. Piloteinsätze zerstörungsfreier Prüfverfahren ließen allerdings erkennen, dass diese Verfahren noch keine zuverlässige Alternative zum bisherigen Vorgehen der Abnahme mit Probenentnahme und Laborprüfung bieten.

Vor diesem Hintergrund stellt sich nun die Frage, wie bei der Abnahme von Lining-Maßnahmen grundsätzlich vorgegangen werden sollte, und welche Schlussfolgerungen im Einzelfall aus der Dokumentation von Auffälligkeiten und Mängeln bzw. Schwankungen in den Qualitätseigenschaften gezogen werden können. Nachfolgend soll hierzu ein methodischer Ansatz vorgeschlagen werden, mit dem die Problemstellung beschrieben und Handlungsalternativen abgeleitet werden können.

Rohrproduktion als zweistufiger Produktionsprozess

Die intensive Baustellenbegleitung von zwölf Schlauchlining-Maßnahmen bestätigte, dass die Produktion eines Schlauchliner-Rohres für den Einsatz in Hauptkanälen i. d. R. aus zwei wesentlichen, nahezu unabhängigen Produktionsschritten besteht. Zunächst wird der Schlauchliner im Werk als konfektioniertes, kunstharzgetränktes Trägermaterial in Schlauchform gefertigt und auf die Baustelle geliefert⁶. Im zweiten Schritt wird der Schlauchliner in das Altrohr eingebracht, dort unter Wasser- oder Luftdruck aufgestellt und zu einem Rohr ggf. auch unter Einsatz von Dampf- oder UV-Strahlung ausgehärtet. Erst im Zuge der Aushärtung erhält das Schlauchliner-Rohr seine endgültigen Geometrie- und Werkstoffeigenschaften als Neurohr im Altrohr-Boden-System, so dass Qualitätsabweichungen bzw. -auffälligkeiten, die ggf. erst in der zweiten Prozessphase entstehen, auch erst im eingebauten Zustand am fertiggestellten Produkt erkannt werden können. Ein ähnliches Fertigungsrisiko findet sich auch im Neubau, wenn z. B. in offener Bauweise das gesamte Rohr-Boden-System neu erstellt wird und Undichtigkeiten oder Verlegefehler erst an der überschütteten Leitung erkannt werden. Eine stets vollständig mängelfreie Herstellung („Null-Ausschuss“) eines Schlauchliner-Rohres bzw. neugebauten Rohr-Boden-Systems ist allerdings in industrieller Fertigung schon allein aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen nie zu erwarten⁷.

⁶ Dies gilt bei Einsatz von UP- und VE-Harzen. In Hauptkanälen stellt dies den Regelfall dar.

⁷ Ziel ist es i. d. R., die Mängelquote mit vertretbarem Aufwand zu senken, weil diese mit entsprechenden Kosten für die Mängelbeseitigung verbunden ist. Je niedriger die angestrebte Mängelquote, desto mehr Aufwand ist für die Qualitätssicherung zu erwarten. Die Kosten für eine Reduzierung von Mängeln (z. B. durch erhöhte Qualitätssicherung) sollten daher die Kosten für die ansonsten notwendige Mängelbeseitigung unterschreiten.

Größere Schwankungen im Herstellungsprozess eines Schlauchliner-Rohres als bei Herstellung von Neurohren im Werk mit anschließendem Einbau als Rohr-Boden-System sind insbesondere aufgrund der äußeren Produktionsbedingungen und hier insbesondere der ungleichmäßigen Altrohr-Bedingungen zu erwarten⁸. Bei Rohrherstellung im Werk wird Mängeln i. d. R. durch Qualitätsprüfung im Werk mit Aussonderung minderwertiger Erzeugnisse begegnet. Spät erkannte Einbaufehler lassen sich aber auch hier meist nur mit großem Aufwand beheben.

Somit muss das Erkennen und Beseitigen von Fehlern in der Schlauchliner-Rohrproduktion auch den zweiten Teil der Rohr-Produktion, den Einbauprozess vor Ort, umfassen. Entsprechende Maßnahmen sind grundsätzlich bereits im Rahmen der internen Qualitätssicherung der ausführenden Firmen zu erwarten. Dies betrifft neben der eigentlichen Verhinderung bzw. Beseitigung von Mängeln auch die Ausbesserung der ggf. betroffenen Linerabschnitte mit dem Ziel einer durchgängigen Neurohrqualität.

Sanierungsziele und Qualitätsanforderungen

Die Diskussion des Zustandskatalogs mit den Mitgliedern des Lenkungskreises der Netzbetreiber zeigte deutlich, dass die an einen vor Ort aushärtenden Liner zu stellenden Qualitätsanforderungen in engem Zusammenhang zu Wirtschaftlichkeitsüberlegungen zu sehen sind. Dies betrifft z. B. die zu erwartende Nutzungsdauer des Kanals und den bisherigen Altrohr-Zustand. So können sich im Einzelfall die Forderungen gemäß DIN EN 752 [6] nach vollständiger Wiederherstellung des Sollzustandes relativieren, wenn z. B. die Beseitigung von Muffenversätzen nicht als Gegenstand der Sanierungsaufgabe vereinbart wird und hieraus evtl. resultierende Querfalten als geometrische Imperfektion akzeptiert werden. Orientierung zu konkreten Kennwerten und Maßzahlen für Qualitätsanforderungen geben hier insbesondere die Regelwerke von DIN und DWA (vgl. [6], [39], [38], [43], [44], [45], [46], [47]) sowie ergänzende Dokumente von Verbänden und Interessengruppen (vgl. [9], [48], [49]).

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass die Sanierungsziele und Qualitätsanforderungen eng mit den örtlichen Randbedingungen verbunden sein können und der Zustand eines Schlauchliners bei Bauabnahme oder späterer Zustandserfassung im Betrieb auch stets vor diesem Hintergrund zu bewerten ist.

Zustandskatalog

Grundlage für die Zustandsbewertung bei Bauabnahme, Gewährleistungsabnahme oder während des späteren Betriebs sind die Ergebnisse einer Erfassung des Schlauchliner-Zustands und die Kenntnisse besonderer Qualitätsanforderungen oder -einschränkungen. Der in Kapitel 3 dargestellte Zustandskatalog kann dabei als Orientierung für das Erkennen von Auffälligkeiten und für die einheitliche Zustandsbeschreibung dienen. Auf Grundlage dieser Zustandsbeschreibung und ggf. weiterer Untersuchungs- und Prüfergebnisse sind dann mögliche Ursachen für Auffälligkeiten zu identifizieren und die Auswirkungen mit Blick auf evtl. Mängel der Sanierungsleistung zu bewerten. Ursachenermittlung und Bewertung hängen in hohem Maße von den örtlichen Randbedingungen bzw. jeweiligen Sanierungszielen ab.

⁸ Besondere Parallelen zeigen sich hier auch zum Neubau in geschlossener Bauweise, denn auch dort wird das endgültige Rohr-Boden-System u. a. durch die von Außen vorgegebenen, möglicherweise ungleichmäßigen Bodenbedingungen bestimmt.

Ein grundsätzlicher Vorschlag für die Zuordnung möglicher Ursachen, Bewertungen und hieraus folgender Maßnahmen und ggf. ergänzender Prüfungen zu den einzelnen Zustandsbildern des Zustandskatalogs ist Gegenstand aktueller Diskussion mit Netzbetreibern, Herstellern und Fachverbänden. Die Ergebnisse dieses Abstimmungsprozesses lagen bei Abschluss des hier vorgestellten Projektes noch nicht vor, so dass sich der in Kapitel 3 dargestellte Zustandskatalog bestimmungsgemäß zunächst auf die Zusammenstellung und Beschreibung der in der Praxis beobachteten Auffälligkeiten beschränkt, unabhängig von deren Häufigkeit und Relevanz für das gewählte Sanierungsziel.

Auffälligkeiten und Mängel

Ca. 4 % der untersuchten Laborproben zeigten optische Auffälligkeiten. Zum Teil waren diese mit erheblichen Qualitätsabweichungen verbunden. Einige waren nur unter Laborbedingungen feststellbar. Die Qualität des Liners ist bei Abnahme der Baumaßnahme somit unbedingt stichprobenhaft zu untersuchen. Hierzu bietet sich die Laborprüfung von einzelnen oder mehreren Schachtproben⁹ bzw. Proben an optischen Auffälligkeiten (Begehung/TV-Befahrung) an. Bei unzureichenden Ergebnissen werden ggf. ergänzende Maßnahmen erforderlich. Folgende Betrachtungsfälle werden unterschieden:

- **Auffälligkeit:** Auffälligkeiten zeigen Eigenschaften, die von den grundsätzlich erwarteten Produkteigenschaften abweichen. Sie können vertraglich zugelassen sein (vgl. Vorverformungen nach dem ATV Merkblatt 127-2 [39] oder Faltenbildung nach DIN EN 13566-4¹⁰ [38]) und auch tolerierbare Auswirkungen auf die Erreichung einzelner oder mehrerer Sanierungsziele, d. h. Dichtheit, Funktionsfähigkeit, Standsicherheit und Dauerhaftigkeit, haben.
- **Mangel:** Führen die Auswirkungen einer Auffälligkeit zu nicht tolerierbaren Abweichungen von einem oder mehreren vertraglichen Sanierungszielen, so liegt ein Mangel vor. In Abhängigkeit seines Ausmaßes kann ggf. unterschieden werden zwischen einem nur wertmindernden Mangel, mit hinnehmbaren geringeren Sicherheiten bzw. höheren Versagenswahrscheinlichkeiten oder Einschränkungen der Dauerhaftigkeit, und einem schädlichen Mangel, bei dem ein Sanierungsziel vollständig verfehlt wird und Maßnahmen zur Mängelbehebung unbedingt erforderlich sind, z. B. Reparatur oder erneute Renovierung.

Die Auswirkungen einer Auffälligkeit bzw. eines Mangels lassen sich für die einzelnen Sanierungsziele wie folgt betrachten:

- **Funktionsfähigkeit**

Insbesondere geometrische Auffälligkeiten, wie Falten oder Beulen, können zu einer Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit führen. Als Abflusshindernisse reduzieren sie z. B. die hydraulische Leistungsfähigkeit und führen möglicherweise zu erhöhten Ablagerungen. Für die üblicherweise zulässigen Verformungen sind diese Effekte jedoch meist vernachlässigbar. So zeigten Untersuchungen in [50], dass mit Blick auf das Ablagerungsverhalten bei einer Einschnürung von 2,5 % und einem Teilfüllungs-

⁹ Als Schachtproben gelten Liner-Proben, die nach Abschluss des Aushärtungsprozesses im Schachtbereich gewonnen werden. Die eigentliche Sanierungsstrecke wird hierbei nicht geschädigt.

¹⁰ Auf geraden Strecken dürfen nach DIN 13566-4 [38] keine Faltenbildungen entstehen, die größer als 6 mm oder 2 % des Kanaldurchmessers sind, der größere Wert ist maßgebend.

grad von 50 % (Gefälle 2,5 ‰) die kritischen Sohlschubspannungen noch überschritten werden. Auch ist die Verminderung der hydraulischen Leitungsfähigkeit nahezu proportional zur Querschnittsverengung und somit i. d. R. vernachlässigbar. Im Zweifel kann z. B. durch Vergleich strömungstechnischer 1D-Simulationen mit den Anforderungen aus der Netzhydraulik entschieden werden, inwieweit es sich um einen wertmindernden oder sogar schädlichen Mangel handelt. In Grenzfällen können die geometrischen Auffälligkeiten auch als Grundlage für die Berechnung vermessen werden.

- **Dichtheit**

Insbesondere eine unzureichende Harztränkung und -verteilung im Linermaterial, Lufteinschlüsse (Poren) sowie Fehlfräsungen und fehlerhafte Anbindungen können die Dichtfunktion des Liners beeinträchtigen. In der Folge sind Ex- und Infiltrationen zu erwarten, mit Auswirkungen auf Boden, Grundwasser bzw. die Abwasserreinigung.

Für Linersysteme reicht eine Strangprüfung nach DIN EN 1610 [51] auf der Baustelle zum Nachweis der Dichtheit grundsätzlich nicht aus, da der Strang i. d. R. durch andere, nicht dauerhafte Systemkomponenten bzw. Einbauhilfen (Preliner, nicht-integrierte Innen-/Außenbeschichtung, zusätzliche Vliesschichten) vorübergehend abgedichtet werden kann. Undichtigkeiten der eigentlichen Dichtkonstruktionen können so nicht erkannt werden. Zur Bauabnahme der Dichtfunktion des sanierten Kanalabschnittes wird eine getrennte Betrachtung von Systemen mit bzw. ohne integrierte Folienbeschichtung (innen/außen) vorgeschlagen:

- a) Linersysteme ohne integrierte¹¹ Folienbeschichtung

Für Linersysteme ohne integrierte Folienbeschichtung sollte eine Dichtheitsprüfung nach der APS-Richtlinie [30] durchgeführt werden. Undichtigkeiten belegen einen Mangel. Inwieweit es sich um einen wertmindernden oder sogar schädlichen Mangel handelt, ist im Einzelfall aufgrund des tatsächlichen Gefährdungspotentials zu entscheiden.

- b) Linersysteme mit integrierter Folienbeschichtung

Linersysteme mit integrierter Folienbeschichtung erhalten bereits durch die dauerhafte, abdichtende Wirkung der Folienbeschichtung eine nennenswerte Dichtwirkung gegen Außen- und Innenwasserdruck. Das Maß der erforderlichen Haftzugfestigkeit zwischen Liner- und Folienbeschichtung hängt unmittelbar mit den zu erwartenden Bau- und Betriebsbelastungen zusammen. Die Folie darf sich während des Einbaus, aber auch durch die späteren Außen- oder Innenwasserdrücke nicht vom Liner lösen. Innenfolien können ansonsten Abflusshindernisse bilden; auch bei Außenfolien ist es denkbar, dass die Folie an Fehlstellen im Altrohr unter Innendruck überdehnt und reißt.

Vor diesem Hintergrund ist zu hinterfragen, welche Verfahren sinnvoller Weise zur Überprüfung des Haftverbundes zwischen einer Polyolefin-Folienbeschichtung und dem Laminat eingesetzt werden sollten. In Anlehnung an die Erfahrungen mit der Be-

¹¹ Als integrierte Folien gelten Folien, deren Beständigkeit gegenüber Bau- und Betriebsbelastungen über die erwartete Nutzungsdauer entsprechend nachgewiesen ist.

schichtung von Abwasserschächten (vgl. [52]) liegt es nahe, Haftzugprüfungen an ausgewählten Prüfflächen durchzuführen und die Ergebnisse mit vertraglichen Vereinbarungen bzw. den Annahmen der statischen Berechnung zu vergleichen (z. B. 0,5 bar Innendruck, 0,1 bar Außenwasserdruck).

Die Dichtheitsprüfung sollte nach der APS-Richtlinie [30] durchgeführt werden. Die integrierte Folienbeschichtung wird dabei nicht durchtrennt. Undichtigkeiten belegen einen Mangel. Inwieweit es sich um einen wertmindernden oder sogar schädlichen Mangel handelt, ist im Einzelfall aufgrund des tatsächlichen Gefährdungspotentials zu entscheiden.

- **Standicherheit**

Insbesondere Abweichungen in den geplanten Geometrie- und Werkstoffeigenschaften, wie Wanddickenschwankungen, Faltenbildung oder Tränkungsfehler, können die Standicherheit eines Liners beeinträchtigen. Zur Bewertung der Standicherheit eines Liners sollten zunächst anhand der Inspektionsergebnisse optische Auffälligkeiten von Geometrie und Oberflächeneigenschaften identifiziert werden. Ggf. sind zusätzliche Probekörper aus besonders auffälligen Bereichen zu gewinnen. Hinsichtlich der Bewertung von Imperfektionen sei auf Kapitel 7, bezüglich der Bewertung mechanischer Kennwerte auf unten aufgeführte Ausführungen zur Streuung der Materialqualität verwiesen.

- **Dauerhaftigkeit**

In [53] werden für Maßnahmen der Wasserversorgung und Abwasserableitung Basis-Untersuchungszeiträume bzw. Rechenwerte für die durchschnittliche Nutzungsdauer von 60 Jahren vorgeschlagen. Für den vorliegenden Anwendungsfall ist zu hinterfragen, inwieweit Auffälligkeiten des Liners möglicherweise langfristig zu einer Beeinträchtigung der Standicherheit, Dichtheit oder Funktionsfähigkeit führen können. Dies betrifft insbesondere Angriffspunkte für betriebsbedingte oder zeitabhängige Beanspruchungen, wie z. B. Abrieb und Geräteeinsatz bei Reinigungs- und Reparaturmaßnahmen sowie Wurzelwuchs. Insbesondere mögliche Werkstoffveränderungen durch Hochdruckreinigung sind hier zu beachten (vgl. [54]).

Streuung der Materialqualität

Die Auswertung von ca. 1.800 Prüfberichten mit etwa 5.000 Schlauchlinerproben sowie die Begleitung von zwölf aktuellen Baumaßnahmen und die Nachbeprobungen an zehn älteren Baumaßnahmen zeigten, dass in der Praxis teilweise starke Streuungen der Linerrohr-Qualität festzustellen sind. In Einzelfällen zeigten sich sogar innerhalb einzelner Probekörper (ca. DIN A4-Größe) derart unterschiedliche Werkstoffeigenschaften, dass die mechanischen Kennwerte der entnommenen Prüfstücke um 100 % voneinander abwichen und mehrere dichte und undichte Materialbereiche unmittelbar nebeneinander lagen. Vor diesem Hintergrund sind insbesondere die Auswirkung von Streuungen auf die Zuverlässigkeit der Abnahme zu bewerten und mögliche Handlungsalternativen zu erörtern.

Zuverlässigkeit der Abnahme

Für die Bemessung von Tragwerken, Bauwerken und Rohrleitungen im konstruktiven Ingenieurbau, der Geotechnik und im Pipelinebau ist die Betrachtung der Zuverlässigkeit von Be-

messungswerten für Einwirkungen und Auswirkungen traditionell von hoher Bedeutung. Sie hat Eingang in die europäischen und internationalen technischen Regeln gefunden (vgl. [55], [56], [57]) und ist auch Gegenstand von Forschung und Lehre im Bauwesen [58], [59]. Für den Fall der Bemessung von Produkten und Verfahren für den unterirdischen Leitungsbau und die Leitungsinstandhaltung wurden entsprechende Sicherheitskonzepte in [39] und [60] unter Berücksichtigung der Arbeiten von Fuchs [61], [62] zur probabilistischen Zuverlässigkeitstheorie und ihre Anwendung auf im Erdboden verlegte Leitungen berücksichtigt. Die wesentlichen Zusammenhänge aus [61] und [62] können auch im vorliegenden Fall berücksichtigt werden.

Die bei der Abnahme beobachteten Unterschiede in den Materialeigenschaften mehrerer Liner-Proben einer Baumaßnahme lassen sich aufgrund der Laborergebnisse auf Streuungen der Materialeigenschaften bzw. auf Inhomogenitäten der Bauteileigenschaften zurückführen. Die Begriffe Streuungen und Inhomogenitäten werden für den vorliegenden Anwendungsfall wie folgt voneinander abgegrenzt:

- Streuungen** sind verfahrenstechnisch bedingte Schwankungen einzelner Materialeigenschaften, wie z. B. des E-Moduls und der Biegespannung beim ersten Bruch („Biegespannung“), und grundsätzlich unvermeidlich. Das Maß der Streuungen spiegelt sich in der Breite der Zufallsverteilung der Gesamtproduktion des Herstellers wider. Abb. 11 verdeutlicht dies anhand der Normalverteilung der Qualitätseigenschaften, z. B. E und σ_{fB} . Der angestrebte Mittelwert der Rohreigenschaften m_R wird teilweise über- und teilweise unterschritten. Vom Hersteller wird erwartet, dass der Sollwert in einem ausreichenden Sicherheitsabstand so festgelegt ist, dass z. B. nur 0,5 % oder 5 % der Rohrproduktion die Dichtheitskriterien nicht erfüllen bzw. den Sollwert der mechanischen Kennwerte unterschreiten (sog. 0,5 %- bzw. 5 %-Fraktile)¹².

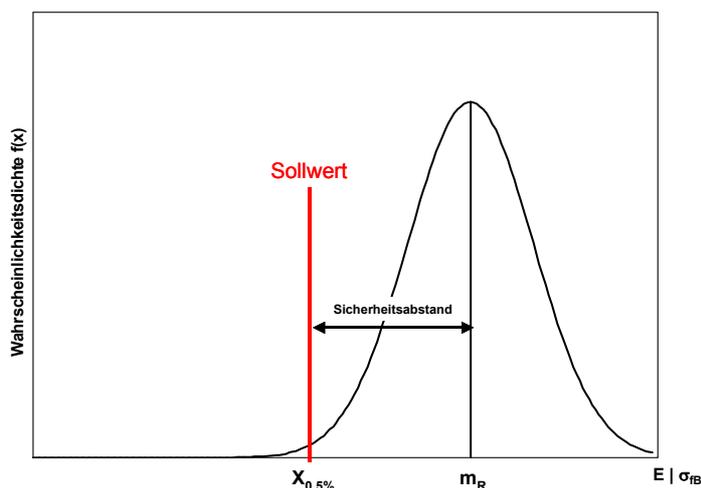


Abb. 11: Streuung der Materialeigenschaften für E bzw. σ_{fB} am Beispiel einer Normalverteilung, mit Mittelwert der Rohrqualität der Gesamtproduktion m_R und Sollwert bei 0,5 %-Fraktile¹²

¹² Die 5 %-Fraktile wird üblicherweise in DIBt-Zulassungen für die Zuverlässigkeit der mechanischen Kennwerte angesetzt. Eine 0,5 %-Fraktile könnte z. B. in Anlehnung an die 3/3-Regel der Dichtheitsprüfung an Probestücken angenommen werden.

Einflüsse auf die Streuungen der Materialeigenschaften können sich z. B. durch Schwankungen im Verfahrensablauf, Qualitätsschwankungen der Ausgangsmaterialien und die Empfindlichkeit von Prozess und Material gegenüber schwankenden Umweltbedingungen ergeben und sollten den Herstellern bekannt sein.

- Inhomogenitäten** sind Ungleichförmigkeiten mit Blick auf das Erreichen der vorgegebenen Qualitätsanforderungen. Es handelt sich um eine zweiwertige Qualitätsbetrachtung, d. h. eine ausschließliche Unterscheidung in das Überschreiten oder Unterschreiten der vertraglich vereinbarten Sollwerte bzw. das Erfüllen oder Nichterfüllen der vereinbarten Dichtheitskriterien. Kommt es zu einer Unterschreitung der Sollwerte, liegt ein Mangel vor.

Besteht seitens des Auftraggebers Vertrauen in den Hersteller und seine Produktion, z. B. weil aus eigener Erfahrung oder aufgrund externer Informationen ausreichende Sicherheit hinsichtlich der Güte der Qualitätsverteilung besteht, und geht von Mängeln kein außergewöhnliches Gefährdungspotential aus, so wird in der Regel auf umfassende Abnahmeprüfungen beim Einbau verzichtet. Meist beschränkt sich der Auftraggeber auf eine einfache stichprobenartige Kontrolle der eingebauten Qualität, z. B. durch Prüfung einer einzelnen Schachtprobe. Liegt das Prüfergebnis dieser Stichprobe über dem Sollwert, wird der Produktion auch in diesem Fall vertraut.

Problematisch wird die Situation erst, wenn der Auftraggeber häufiger als erwartet Stichprobenergebnisse erzielt, die unter dem Sollwert liegen. Im Fall der in Kapitel 5 dargestellten Baustellenanalysen waren z. B. schon innerhalb einzelner Chargen, d. h. einzelner Halbstrecken, auch ohne optische Qualitätsunterschiede nennenswerte Schwankungen mit echten Inhomogenitäten, d. h. parallele Sollwertüber- und -unterschreitungen, zu beobachten. Abb. 12 skizziert diesen Zusammenhang beispielhaft.

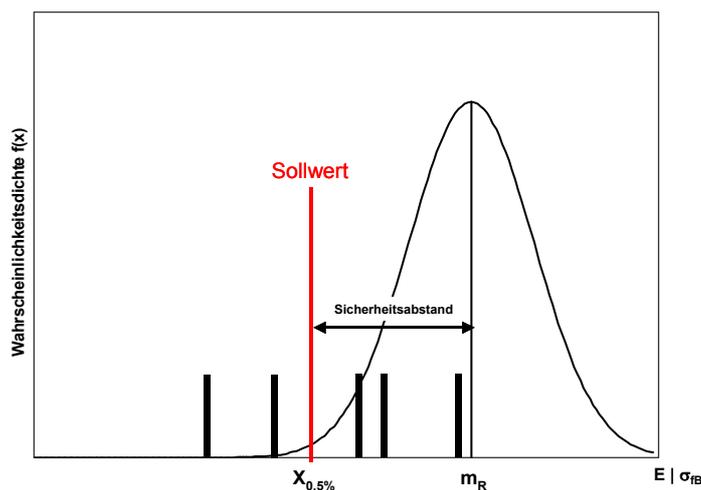


Abb. 12: *Inhomogenitäten der Materialeigenschaften (skizziert durch schwarze Balken) für E bzw. σ_B , als Abweichung von der erwarteten Normalverteilung¹²*

Als zufällige Häufung der Ergebnisse unterhalb der 0,5 %-Fraktile oder wiederholte Messfehler lassen sich diese Beobachtungen nicht begründen, denn die Irrtumswahrscheinlichkeit bei nicht bestandener Prüfserie beträgt für eine Prüfung an drei Stellen selbst bei einer 0,5 %-Fehlerfraktile der Produktion mit Forderung von 3 bestandenen von 3 Prüfungen ledig-

lich 1,5 %. Auch bei 5 %-Fehlerfraktile der Produktion mit Forderung von 2 bestandenen von 3 Prüfungen beträgt dieses Risiko nur 0,8 %. Wird die Prüfung darüber hinaus bei Nichtbestehen an anderer Stelle wiederholt, reduziert sich das Irrtumsrisiko noch weiter auf unter 0,02 % bzw. 0,01 %.¹³

Da in die Erhebung mehr als 20 unterschiedliche Schlauchlining-Maßnahmen bei 19 Netzbetreibern eingingen, wird allerdings auch nicht von einem systematisch bewussten Einbau minderer Qualität ausgegangen. Statt dessen ist zu schließen, dass in den relevanten Fällen der Mittelwert der Gesamtproduktion des Herstellers m_R zwar über dem Sollwert liegt, aber möglicherweise vor Ort niedriger als erwartet ausfiel oder insgesamt mit größerer Streuung als erwartet produziert wurde (vgl. Abb. 13).

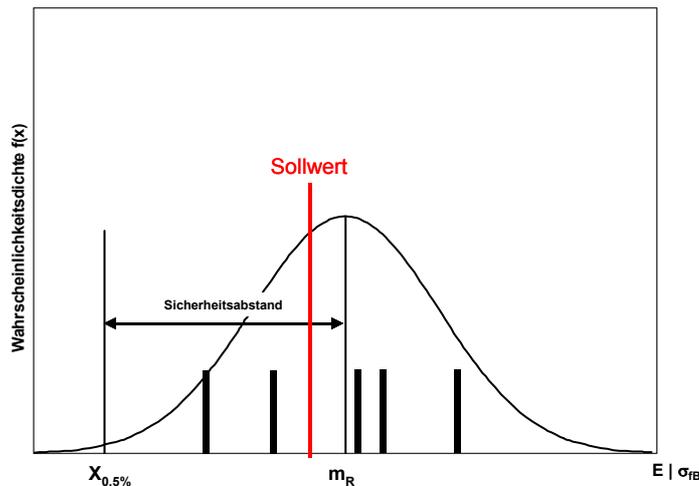


Abb. 13: Inhomogenitäten der Materialeigenschaften (skizziert durch schwarze Balken) für E bzw. σ_{FB} , mit angepasster Normalverteilung¹²

Handlungsalternativen

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens zeigen, dass auf Auftraggeberseite im Einzelfall nachvollziehbare Unsicherheiten bzw. Misstrauen bestehen können, ob das angebotene Produkt tatsächlich den zu erwartenden Qualitätseigenschaften mit vertretbaren Streuungen, d. h. ohne qualitätsrelevante Inhomogenitäten, entspricht. Liegt ein solches Misstrauen bei einzelnen Produkten vor, stellt sich die Frage, wie den damit verbundenen Unsicherheiten der Auftraggeber begegnet werden kann.

Fünf Handlungsalternativen bieten sich im Umgang mit diesen Produkten an:

1. Sollwert-Verringerung

Der Auftraggeber kann seine Erwartungen an künftige Belastungen herabsetzen oder auch andere Sicherheitsvorkehrungen und Belastungsbeschränkungen herbeiführen, so dass die Sollwerte verringert werden können. Auch der Auftragnehmer kann auf eine Sollwert-Verringerung hinwirken, z. B. indem er nachweist, dass in der statischen Berechnung eine reduzierte Festigkeit durch eine größere Wanddicke ausge-

¹³ Dies lässt sich mathematisch anschaulich nachvollziehen: Bei einer wiederholten zweiwertigen Prüfung handelt es sich um eine „BERNOULLI-Kette“. Ist nach der Wahrscheinlichkeit $P(A)$ für das Ereignis A gefragt, dass bei einer BERNOULLI-Kette von n Versuchen wenigstens x-mal, jedoch höchstens y-mal das Ereignis E (Einzelwahrscheinlichkeit p) auftritt, so gilt

$$P(A) = \sum_{x \leq k \leq y} b(n; p; k) = \sum_{x \leq k \leq y} \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k}$$

. Dies führt zu den o.a. Werten.

glichen werden kann oder Sicherheitsreserven in der statischen Berechnung angesetzt und ein erneuter Nachweis geführt wird.

Dieses Vorgehen lässt allerdings unberücksichtigt, dass nur im Falle zu geringer Wanddicken eine rein geometrisch-statische Argumentation möglich ist. Übermäßige Minderungen der Werkstoffkennwerte, d. h. E-Modul und Biegespannung, lassen grundsätzlich darauf schließen, dass vor Ort insgesamt andere Werkstoffeigenschaften vorliegen, als gemäß Vertrag bzw. Zulassung vereinbart waren. Somit können neben den in der Statik ausgewiesenen mechanischen Kennwerten auch andere Werkstoffeigenschaften, insbesondere mit Blick auf die Dauerhaftigkeit des Materials, durch die veränderte Einbauqualität bzw. die Produktionsbedingungen in Mitleidenschaft gezogen worden sein. Eine alleinige Korrektur statischer Kennwerte berücksichtigt diese Risiken nicht.

2. Schärfere Abnahmeprüfungen

Im Rahmen einer erweiterten Abnahmeprüfung mit vergrößertem Stichprobenumfang kann für das infrage stehende Produkt abgesichert werden, ob trotz Qualitätsschwankungen der Gesamtproduktion zumindest die im Rahmen der betrachteten Baumaßnahme eingebaute Linerstrecke den Qualitätsanforderungen ohne kritische Ausreißer entspricht (vgl. gestrichelte Linie in Abb. 14). Hierzu sollten mindestens drei Proben an unterschiedlichen Linerstellen entnommen werden. Werden ausschließlich Proben im Schachtbereich¹⁴ verwendet, sollten diese unterschiedliche Umfangsbereiche repräsentieren¹⁵.

Kritisch an dieser Lösung ist zum einen die massive Erhöhung des Prüfaufwandes. Zum anderen ändert die schärfere Abnahmeprüfung nichts an der Ausgangssituation, d. h. es ist weiterhin mit Qualitätsmängeln in gleichem Umfang zu rechnen. Diese werden lediglich häufiger erkannt, so dass sich auch die Häufigkeit der Mängelbeseitigung erhöhen wird.

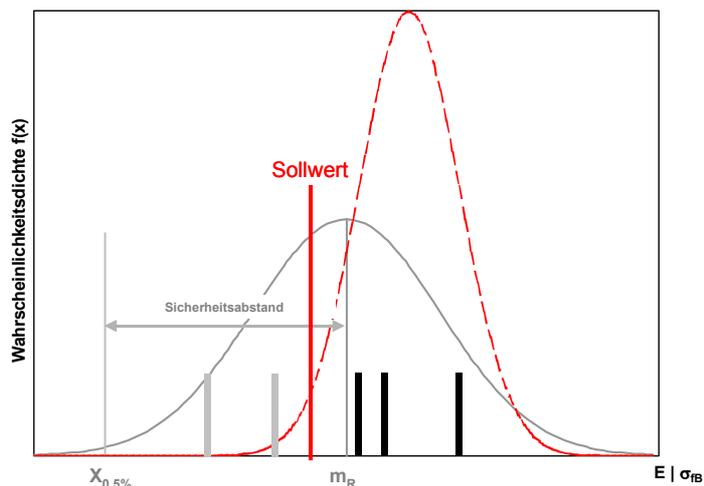


Abb. 14: Stichprobe mit drei Proben (skizziert durch schwarze Balken) zum Nachweis einer vertrauensvollen Qualitätsverteilung im Einzelfall (gestrichelte Linie)

¹⁴ Der Schachtbereich kann auch auf den Beginn der nächsten Haltung ausgedehnt werden, wenn diese ursprünglich noch nicht Sanierungsgegenstand ist und daher eine Probenentnahme auch dort das Sanierungsobjekt nicht schädigt.

¹⁵ In den Baustellenuntersuchungen wurden Qualitätsschwankungen sowohl über die Haltungslänge als auch über den Linienumfang festgestellt. Da nicht nachgewiesen wurde, ob die Längs- oder Umfangsrichtung einen stärkeren Einfluss auf die Schwankungsbreite hat, wird die Betrachtung der Streuung für die Beprobung zunächst auf den Umfangsbereich im Schacht eingeschränkt.

3. Produktwechsel

Bewertet der Auftraggeber die Situation z. B. aufgrund erhöhten Gefährdungspotentials grundsätzlich als inakzeptabel, kann er auch auf einen weiteren Einsatz des Produktes verzichten und – sofern verfügbar – auf ein anderes zuverlässigeres Produkt oder Verfahren ausweichen. Allerdings schränkt er damit seine Wahlmöglichkeiten ein, so dass höhere Kosten die Folge sein können.

4. Weiterentwicklung der Produktqualität

Die Sollwert-Unterschreitungen können unmittelbar verringert werden, indem durch eine Weiterentwicklung des Produktes die mittlere Einbauqualität deutlich erhöht wird und z. B. durch Einsatz prozess-unempfindlicherer Materialien auch die Streuung für die Gesamtproduktion verringert wird. Entsprechend erhöht sich insgesamt der Anteil der qualitativ ansprechenden Linerabschnitte und damit die Zuverlässigkeit der Lieferung.

5. Entwicklung stabilerer Produktionsprozesse

Sollwert-Unterschreitungen können theoretisch auch ohne Produktänderung verringert werden, wenn allein der Produktionsprozess stabiler und mit geringeren Ergebnisstreuungen gefahren wird.

Während die Handlungsoptionen 1 bis 3 mit erheblichen Kosten- bzw. Qualitätsrisiken verbunden sind und keine unmittelbare Qualitätsverbesserung darstellen, bieten die Handlungsoptionen 4 und 5 echte Perspektiven für eine langfristige Qualitätsverbesserung. Allerdings sind derartige Veränderungen der Produktqualität bzw. Produktionsstabilität erst dann für die Abnahme relevant, wenn die damit verbundenen Verbesserungen auch anhand umfassender Baustellenauswertungen belegt wurden und damit ein entsprechendes Vertrauen auf Auftraggeberseite entsteht.

Perspektiven für Entwicklung und Abnahme

Um mögliche Fehlerquellen und Verbesserungspotentiale einzelner Produkte zu erkennen und auch mögliche Streuungen der Materialeigenschaften zu verringern, empfiehlt es sich, den gesamten Prozess der Linerherstellung und des Einbaus vor Ort näher zu analysieren. Dies betrifft sämtliche Herstellungsphasen, wie z. B. die Rohstoffverarbeitung (Harz und Trägermaterial), den Tränkungsprozess im Werk oder auf der Baustelle sowie den eigentlichen Einbauvorgang einschließlich Anbindung des Liners an das bestehende Kanalnetz. Konstruktive Produktveränderungen wurden u. a. bereits durch Einsatz integrierter Folienbeschichtungen in [19] und [22] dokumentiert.

Eine Option zur produktionsintegrierten Nutzung zerstörungsfreier Prüf- bzw. Messverfahren konnte mit der Temperaturmessung unter Einsatz von Glasfaserkabeln bereits im Rahmen des Forschungsvorhabens erprobt werden (vgl. Kapitel 6). Damit ist es möglich, den zeitlichen und örtlichen Temperaturverlauf innerhalb eines Liners während der Aushärtung zu kontrollieren und aufzuzeichnen. Typische Einsatzbereiche wären besondere Baumaßnahmen mit lokalen Schwankungen der Umgebungstemperatur durch Grund- bzw. Oberflächenwasser, wie z. B. Düker oder Bachquerungen. Die Handhabbarkeit vor Ort zeigt allerdings noch Optimierungsbedarf, z. B. hinsichtlich der Vorbereitung und Montage der Kabel an der Altrohrwand. Eine werksseitige Integration der Messkabel in den getränkten Harz-

schlauch könnte hier Abhilfe schaffen. Die Weiterverfolgung und Umsetzung dieser Messtechnik liegt entsprechend bei den Herstellern von Schlauchlinersystemen.

Besondere Perspektiven für die Abnahme von Lining-Maßnahmen ergeben sich bei Weiterentwicklung der in Kapitel 6 dargestellten zerstörungsfreien Prüfverfahren. Insbesondere eine flächenhafte Untersuchung (Abscannen) des Liners böte hier die Möglichkeit zum zerstörungsfreien und flächendeckenden Qualitätsnachweis. Darüber hinaus wäre eine vollständige statistische Betrachtung der Produktionsqualität im Sinne einer Zuverlässigkeitsanalyse möglich, so dass der Aufwand für die Abnahme der eigentlichen Bauleistung reduziert werden könnte. Eine vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen Linerherstellern, Sanierungsfirmen und Auftraggebern kann diese Entwicklung unterstützen. Forschungsprojekte können hierzu die methodischen Wege aufzeigen; eine Festlegung produktbezogener Kennwerte liegt letztlich im Ermessen der Marktteilnehmer.

10 Literatur

- [1] Berger, C.; Lohaus, J.: Zustand der Kanalisation - Ergebnisse der DWA-Umfrage 2004. Korrespondenz Abwasser, Abfall 2005 (52) Nr. 5, S. 528-539.
- [2] Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitung von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem (Selbstüberwachungsverordnung Kanal - SüwV Kan). Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land NRW, Nr. 49: S. 64-67; Düsseldorf 1995.
- [3] Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen. RdErl. des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft vom 03. Januar 1995; Ministerialblatt für das Land NRW, Nr. 14: S. 251-253; Düsseldorf 1995.
- [4] Bosseler, B.; Birkner, T.; Sokoll, O.; Brüggemann, T.: Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) bei kommunalen Netzbetreibern und Wasserverbänden in Nordrhein-Westfalen. Endbericht zum Forschungsvorhaben, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen, Dezember 2003.
- [5] Sangster, T.; Downey, D.: 35 Jahre Schlauchlining – Ein Verfahren erobert den Markt. 4. Deutscher Schlauchlinertag; Nürnberg, 30. März 2006.
- [6] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 752 Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag, Berlin; April 2008.
- [7] Bosseler, B.; Schlüter, M.; Meyer, P.: Endbericht zum Forschungsvorhaben „Untersuchung der Qualität ausgeführter Kanalsanierungen am Beispiel des Schlauchrelinings“. Endbericht zum Forschungsvorhaben, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen, März 2001.
- [8] Bosseler, B.; Schlüter, M.; Waade, L.: Qualitätseinflüsse Schlauchliner – Stichproben-Untersuchung an sanierten Abwasserkanälen. Endbericht zum Forschungsvorhaben, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen, Dezember 2003.
- [9] Arbeitsgruppe Süddeutscher Kommunen; RSV - Rohrleitungsanierungsverband e. V.: Anforderungsprofil für Schlauchliner-Kanalrenovierungen; 3. Auflage vom 20. Oktober 2008.
- [10] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das Schlauchliningverfahren mit der Bezeichnung „Berolina Liner“ zur Sanierung schadhafter erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 800. Zulassungsnummer: Z-42.3-336; Berlin, 25. Januar 2007.
- [11] BKP Berolina Polyester GmbH & Co. KG: Internetauftritt. www.bkp-berolina.de; Stand 03. Dezember 2008.

- [12] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das Schlauchliningverfahren mit der Bezeichnung „Brandenburger Liner“ zur Sanierung schadhafter erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 150 bis DN 1000 und 200/300 mm bis 800/1200 mm. Zulassungsnummer: Z-42.3-330; Berlin, 28. April 2008.
- [13] Brandenburger Liner GmbH & Co. KG: Internetauftritt. www.brandenburger.de; Stand 02. Dezember 2008.
- [14] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das Schlauchliningverfahren mit der Bezeichnung „iMPREG-Liner“ zur Sanierung schadhafter erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 150 bis DN 1200. Zulassungsnummer: Z-42.3-365; Berlin, 07. Mai 2007.
- [15] iMPREG GmbH: Internetauftritt. www.impreg.de; Stand 02. Dezember 2008.
- [16] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das Schlauchliningverfahren mit der Bezeichnung „SAERTEX-Liner“ zur Sanierung schadhafter erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 1200. Zulassungsnummer: Z-42.3-350; Berlin, 11. September 2007.
- [17] Saertex multiCom GmbH: Internetauftritt. www.saertex-multicom.com; Stand 04. Stand 06. Dezember 2008.
- [18] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das Schlauchliningverfahren mit der Bezeichnung „INPIPE-Liner“ zur Sanierung schadhafter erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 800. Zulassungsnummer: Z-42.3-429; Berlin, 05. August 2008.
- [19] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das Schlauchliningverfahren mit der Bezeichnung „KM-INLINER“ zur Sanierung schadhafter erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 150 bis DN 1200 und 200/300 mm bis 800/1290 mm. Zulassungsnummer: Z-42.3-335; Berlin, 11. Juni 2008.
- [20] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das Schlauchliningverfahren mit der Bezeichnung „UniLiner“ zur Sanierung schadhafter erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 1200. Zulassungsnummer: Z-42.3-380; Berlin, 15. August 2005.
- [21] SEKISUI CPT GmbH: Internetauftritt. www.cptlink.com; Stand 06. Dezember 2008.
- [22] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das Schlauchliningverfahren mit der Bezeichnung „Insituform“ zur Sanierung schadhafter erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 1600 Kreis- und Eiprofilquerschnitte. Zulassungsnummer: Z-42.3-305; Berlin, 24. September 2008.
- [23] Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH: Internetauftritt. www.insituform.de; Stand 06. Dezember 2008.

- [24] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das Schlauchliningverfahren mit der Bezeichnung „RS-CityLiner“ zur Sanierung schadhafter erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 150 bis DN 600. Zulassungsnummer: Z-42.3-377; Berlin, 06. Juli 2006.
- [25] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das Schlauchliningverfahren mit der Bezeichnung „RS-PolyLiner“ zur Sanierung schadhafter erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 200 bis DN 1400. Zulassungsnummer: Z-42.3-424 vom 26. März 2008.
- [26] RS Technik AG: Internetauftritt. www.rstechnik.com; Stand 01. Dezember 2008.
- [27] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das Schlauchliningverfahren mit der Bezeichnung „lineTEC SP-Liner“ zur Sanierung schadhafter erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 150 bis DN 750. Zulassungsnummer: Z-42.3-434 vom 06. Februar 2009.
- [28] Vereinigte Filzfabriken AG: Internetauftritt. www.vfg-linetec.de; Stand 04. Dezember 2008.
- [29] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für das Schlauchliningverfahren mit der Bezeichnung „PAA-S-Liner“ zur Sanierung schadhafter erdverlegter Abwasserleitungen im Nennweitenbereich von DN 150 bis DN 700. Zulassungsnummer: Z-42.3-433 vom 05. Januar 2009.
- [30] APS Arbeitskreis Prüfinstitute Schlauchliner: APS-Prüfrichtlinie - Wasserdichtheit von Baustellenproben aus vor Ort härtenden Schlauchlinern. Download unter www.ikt.de; Stand 01. Dezember 2008.
- [31] Winkler, U.: Lange Schlauchliner-Lebensdauer: Mehr als eine Annahme – Der 6. Deutsche Schlauchlinertag. Fachartikel zum 6. Deutschen Schlauchlinertag 2008 in Mainz; Korrespondenz Abwasser, Abfall (55) 2008 Nr. 11, S. 1190-1191.
- [32] Heinlein, M.: Schlauchliner – Reports der Prüfinstitute. Vortrag am 6. Deutschen Schlauchlinertag in Mainz, April 2008. bi UmweltBau Kongressausgabe / 2008, S. 19-21.
- [33] Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH: IRT-Report der Prüfergebnisse 2007 – Prüfergebnisse der Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH (IRT). Insituform Special; Sonderausgabe 03 – Februar 2008; www.insituform.de.
- [34] Böhne, W.; Lage, U.: Schlauchliner-Qualität – Abweichende Prüfergebnisse, Gegenüberstellung von Linerprüfergebnissen unterschiedlicher Prüflabors am Beispiel von Nadelfilzlinern. bi UmweltBau 4/07, S. 64-66.
- [35] Waniek, R.-W.; Homann, D.: Besser als im Vorjahr, IKT-LinerReport 2007. Sonderdruck bi UmweltBau 1/08; www.ikt.de.
- [36] Waniek, R.-W.; Homann, D.: Glas klar im Vorteil?, IKT-LinerReport 2006. Sonderdruck bi UmweltBau 2/07; www.ikt.de.
- [37] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 178 Kunststoffe - Bestimmung der Biegeeigenschaften. Beuth Verlag; Berlin, April 2006.

- [38] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 13566-4 Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) - Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauchlining. Beuth Verlag; Berlin, April 2002.
- [39] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK): ATV-M 127-2 Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen mit Lining- und Montageverfahren. GFA, Hennef, Januar 2000.
- [40] Fachhochschule Münster: Statische Berechnung der Auskleidung eines Betonsammlers DN 2500 mit PE-HD-Noppenplatten (2004).
- [41] Falter, B.; Hildebrandt, S.: Einfluss von Imperfektionen auf Rohrleitungen am Beispiel der Nennweite DN 300 unter Außenwasserdruck, Altrohrzustand I. Teilbericht zum vorliegenden Forschungsprojekt; Fachhochschule Münster; Fachbereich Bauingenieurwesen, Münster 2009.
- [42] Koch, K.-U.: Werkstoffanalyse und -identifizierung. Teilbericht zum vorliegenden Forschungsprojekt; Fachhochschule Gelsenkirchen; Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften - Organische Chemie und Polymere, Recklinghausen 2009.
- [43] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 13566-1 Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) - Teil 1: Allgemeines. Beuth Verlag, Berlin, April 2003.
- [44] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 13380 Allgemeine Anforderungen an Bauteile für die Renovierung von erdverlegten Abwasserleitungen und -kanälen außerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag; Berlin, Oktober 2001.
- [45] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK): ATV-DVWK-M 143-1 Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 1: Grundlagen. Hennef; August 2004.
- [46] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA): DWA-M 143-3 Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 3: Schlauchliningverfahren (vor Ort härtendes Schlauchlining) für Abwasserleitungen und -kanäle. Hennef, November 2005.
- [47] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA): DWA-M 143-20 Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 20: Prüfung und Beurteilung von Sanierungsverfahren; Anforderungen, Prüfkriterien und Prüfeempfehlungen - Schlauchliningverfahren und Kurzliner. Hennef, November 2005.
- [48] RSV - Rohrleitungssanierungsverband e. V.: Merkblatt 1 Renovierung von Entwässerungskanälen und -leitungen mit vor Ort härtendem Schlauchlining – Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung. Essen, Dezember 2006.
- [49] Verband zertifizierter Sanierungs-Berater für Entwässerungssysteme e. V. (VSB): ZTV 5 - Schlauchliningtechnik in Haltungen (drucklos). Mühldorf am Inn, April 2003.

- [50] Rathke, K.: Konzept zur Beurteilung der Auswirkungen von Faltenbildungen bei Linern auf das Abfluss- und Transportverhalten. Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Fachgebiet Hydraulik, Quantitative Wasserwirtschaft; Höxter 2008, unveröffentlicht.
- [51] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 1610 Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen. Beuth Verlag; Berlin, Oktober 1997.
- [52] Bosseler, B.; Puhl, R.: Beschichtungsverfahren zur Sanierung von Abwasserschächten. Endbericht zum Forschungsvorhaben; im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT-Institut für unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen, Februar 2005, www.ikt.de.
- [53] LAWA Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien), Kulturbuchverlag, Berlin, 2005.
- [54] Bosseler, B.; Schlüter, M.: Kanalreinigung -Düsen, Drücke, Hochdruckstrahlen- . Endbericht zum Forschungsvorhaben, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen, Dezember 2004, www.ikt.de.
- [55] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 1990 Grundlagen der Tragwerksplanung. Beuth Verlag, Berlin, Oktober 2002.
- [56] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 1997 Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik –Teil 1: Allgemeine Regeln. Beuth Verlag, Berlin, Oktober 2005.
- [57] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 16708 Erdöl- und Erdgasindustrie – Rohrleitungstransportsysteme – Zuverlässigkeitsanalysen. Englische Fassung, Beuth Verlag, Berlin, August 2006.
- [58] Ruhr-Universität Bochum: Arbeitsbericht Sonderforschungsbereich SFB 398, Lebensdauerorientierte Entwurfskonzepte unter Schädigungs- und Deteriorationsaspekten, Periode 1998-2001; Juli 2001.
- [59] Bauhaus-Universität Weimar: Graduiertenkolleg 1462 „Bewertung gekoppelter numerischer Partialmodelle im Konstruktiven Ingenieurbau“. Vorhabensbeschreibung, gefördert durch die DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft, 2008, <http://www.uni-weimar.de/cms/bauing/forschung/grk1462/problemstellung.html>, eingesehen am 14. Januar 2009.
- [60] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK): ATV-DVWK-A 127 Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen. 3. Auflage, GFA, Hennef, August 2000.
- [61] Fuchs, W.: Zuverlässigkeitsanalyse von Rohrleitungen aus unbewehrtem Beton. Dissertation, Technische Universität München, 1982.
- [62] Fuchs, W.: Grundzüge der probabilistischen Zuverlässigkeitstheorie und ihre Anwendung auf im Erdboden verlegte Rohre. KA Korrespondenz Abwasser 31, S. 523-527, 06/1984.