

Bericht

Datum: 25.09.2017

Cicerostr. 24
D-10709 Berlin
Germany
Tel +49 (0)30 536 53 800
Fax +49 (0)30 536 53 888
www.kompetenz-wasser.de



Untersuchung der Lebensdauer von Schlauchlinern

Ergebnisse der Literaturrecherche

Autor:
Daniel Wicke

KompetenzZentrum Wasser Berlin, Cicerostraße 24, 10709 Berlin, Germany

Berlin, 2017

finanziert durch:



© Copyright 2017 by the Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH. All rights including translation into other languages, reserved under the Universal Copyright Convention, the Berne Convention or the Protection of Literacy and Artistic Works, and the International and Pan American Copyright Conventions.

Present report was developed in compliance with the requirements of the quality management system DIN EN ISO 9001:2008

Important Legal Notice

Disclaimer: The information in this publication was considered technically sound by the consensus of persons engaged in the development and approval of the document at the time it was developed. KWB disclaims liability to the full extent for any personal injury, property, or other damages of any nature whatsoever, whether special, indirect, consequential, or compensatory, directly or indirectly resulting from the publication, use of application, or reliance on this document. KWB disclaims and makes no guaranty or warranty, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of any information published herein. It is expressly pointed out that the information and results given in this publication may be out of date due to subsequent modifications. In addition, KWB disclaims and makes no warranty that the information in this document will fulfill any of your particular purposes or needs. The disclaimer on hand neither seeks to restrict nor to exclude KWB's liability against all relevant national statutory provisions.

Wichtiger rechtlicher Hinweis

Haftungsausschluss: Die in dieser Publikation bereitgestellte Information wurde zum Zeitpunkt der Erstellung im Konsens mit den bei Entwicklung und Anfertigung des Dokumentes beteiligten Personen als technisch einwandfrei befunden. KWB schließt vollumfänglich die Haftung für jegliche Personen-, Sach- oder sonstige Schäden aus, ungeachtet ob diese speziell, indirekt, nachfolgend oder kompensatorisch, mittelbar oder unmittelbar sind oder direkt oder indirekt von dieser Publikation, einer Anwendung oder dem Vertrauen in dieses Dokument herrühren. KWB übernimmt keine Garantie und macht keine Zusicherungen ausdrücklicher oder stillschweigender Art bezüglich der Richtigkeit oder Vollständigkeit jeglicher Information hierin. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die in der Publikation gegebenen Informationen und Ergebnisse aufgrund nachfolgender Änderungen nicht mehr aktuell sein können. Weiterhin lehnt KWB die Haftung ab und übernimmt keine Garantie, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen der Erfüllung Ihrer besonderen Zwecke oder Ansprüche dienlich sind. Mit der vorliegenden Haftungsausschlussklausel wird weder bezweckt, die Haftung der KWB entgegen den einschlägigen nationalen Rechtsvorschriften einzuschränken noch sie in Fällen auszuschließen, in denen ein Ausschluss nach diesen Rechtsvorschriften nicht möglich ist.

Impressum

Dieser Bericht wurde nach den Vorgaben des Qualitätsmanagements gemäß DIN EN ISO 9001:2008 erarbeitet.

Titel:

Untersuchung der Lebensdauer von Schlauchlinern (Ergebnisse der Literaturrecherche)

Autor:

Daniel Wicke; Kompetenzzentrum Wasser Berlin; daniel.wicke@kompetenz-wasser.de

Qualitätssicherung:

Pascale Rouault, Nicolas Caradot, Mathias Riechel; Kompetenzzentrum Wasser Berlin
Jan Waschnewski, Elke Eckert, Nic Lengemann; Berliner Wasserbetriebe

Berichtsnummer:

D3 (Ergebnisse des Arbeitspaketes 3.1 des Forschungsvorhabens SEMA-Berlin)

Endversion

Date: 25.09.2017

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
2.	Untersuchungsmethoden für Schlauchliner.....	2
2.1	Probenahme von Schlauchlinerproben.....	2
2.1.1	Probe aus Schachtbereich.....	2
2.1.2	Probe aus Haltungsbereich.....	3
2.1.3	Verfahren zur Reparatur nach Liner-Beprobung.....	4
2.2	Qualitätsparameter und Untersuchungsverfahren.....	5
2.2.1	Materialeigenschaften.....	5
2.2.2	Geometrie.....	7
2.2.3	Belastung durch Betrieb.....	8
2.3	Einfluss der Parameter auf Tragsicherheit.....	8
2.4	Zerstörungsfreie Inspektionstechniken.....	9
2.4.1	Vergleich mit etablierten Methoden.....	10
3.	Erfahrungen zur Lebensdauer von Schlauchlinern.....	11
3.1	Ergebnisse von Liner-Analysen.....	11
3.1.1	Studien in Deutschland.....	11
3.1.2	Internationale Studien.....	13
3.2	Erfahrungen aus Kamera-Inspektionen von Schlauchlinern.....	15
3.3	Trends neuer Schlauchliner.....	17
3.3.1	Technologie-Entwicklung.....	17
3.3.2	IKT 10-Jahres-Linerreport.....	17
4.	Fazit.....	20
4.1	Erwartbare Lebensdauer von Schlauchlinern.....	20
4.2	Beprobung und Untersuchungsmethoden.....	21
Anhang A	: CCTV-Zustandskatalog Schlauchliner (aus [20]).....	23
Literaturverzeichnis	36

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beprobung von Schlauchlinern aus dem Schachtbereich (aus [11], Anhang)	2
Abbildung 2: Entnahme von Proben aus Haltungsbereich aus offener Baugrube: links: Entnahme [12], Mitte: entnommenes Probenstück [13], rechts: Entnahme Halbschale [2]	3
Abbildung 3: Entnahme von Proben aus Haltungsbereich: links: händische Entnahme aus begehbarem Profil (aus [13]), rechts: Entnahme mittels Fräsroboter (aus [11]).....	3
Abbildung 4: Reparaturverfahren: Innenmanschette (links), mit Roboter injiziertes Verpressharz (Mitte) und Kurzliner (rechts), aus [11].....	4
Abbildung 5: Parameter mit Einfluss auf Zustand von Schlauchlinern (aus [2])	5
Abbildung 6: Drei-Punkt-Biegeversuch (links) und Scheiteldruckversuch (rechts) (aus [16]).....	6
Abbildung 7: Dichtigkeitsprüfung (aus [17])	6
Abbildung 8: Darmstädter Kipprinne.....	8
Abbildung 9: Biegefestigkeit der in den USA im Rahmen einer EPA-Studie untersuchten Schlauchliner – Darstellung aus Online-Datenbank des Trenchless Technology Center.	14
Abbildung 10: Anzahl untersuchter Proben nach Linerart (aus [17])	18
Abbildung 11: Prüfergebnisse des IKT von neu installierten Schlauchlinern von 2003 bis 2013 (aus [17]).	19

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Übersicht innovativer, zerstörungsfreier Inspektionstechniken.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabelle 2: Übersicht über relevante Parameter, etablierte Messverfahren und potentielle Alternativen für Untersuchung von Schlauchlinern</i>	<i>10</i>
<i>Tabelle 3: Zustandskatalog des IKT für Kamera-Inspektionen von Schlauchlinern [20]</i>	<i>16</i>

1. Einleitung

Für die anstehenden bzw. bereits durchgeführten Sanierungen der kurz- und mittelfristig zu behebenden Schäden von Abwasserkanälen gilt das Schlauchlinerverfahren als das am häufigsten angewandte Renovierungsverfahren [1]. Dabei wird ein flexibler Schlauch aus Trägermaterial mit einem Reaktionsharz getränkt und in der Regel über einen Schacht in die zu renovierende Abwasserhaltung eingebracht. Dort wird der Schlauchliner mit Wasser- oder Luftdruck formschlüssig an die Rohrwandung des Altrohres gepresst. Durch das anschließende Aushärten des Reaktionsharzes entsteht ein neues muffenloses und gewebeverstärktes Kunststoffrohr in der bestehenden Rohrleitung [2]. Der erste Schlauchliner wurde 1971 von der Thames Water Authority in London für die Sanierung eines gemauerten Mischkanals mit dem Insituform®-Verfahren installiert, so dass frühe Schlauchliner in wenigen Jahren ihre prognostizierte Lebenserwartung erreicht haben werden [3]. Die prognostizierte Lebensdauer ist zwar nicht festgelegt, wird aber in der internationalen Literatur oft mit 50 Jahren angegeben (z.B. [4, 5]). Auch die Standard-Spezifikationen für Installation von Linern des australischen Wasserversorgers *Sydney Water* fordert eine Lebenserwartung von 50 Jahren [6]. Eine Umfrage von Technologieprovidern durch das Florida Department of Transportation (FDOT) ergab, dass Schlauchliner (CIPP) eine Verlängerung der Lebensdauer von schadhafte Kanälen von 45 Jahren bewirken [7]. In einem Bericht des Midwest Regional University Transportation Center (USA) wurde die Lebenserwartung (design life) von Schlauchlinern sogar mit 50-100 Jahren angegeben [8]. In Deutschland wurde vor etwa 10 Jahren von der DWA bzw. LAWA noch eine Abschreibungszeit für Renovierungsmaßnahmen wie das Schlauchlinerverfahren von lediglich 25-40 Jahren angenommen (Erneuerungsmaßnahmen: 80 Jahre) [9]. Im DWA-Arbeitsblatt DWA-A 143-3 von 2012 sind mittlerweile Minimalanforderungen an das Material und daraus abgeleitete Materialkennwerte vor dem Hintergrund einer zu erreichenden Lebensdauer des Produkts von mindestens 50 Jahren definiert [10]. Auch von Hoppe (2008) wird in einem Artikel zur Lebenserwartung von Schlauchlinern das Fazit gezogen, dass eine Lebenserwartung von 50 Jahren wahrscheinlich ist und sogar die Nutzungsdauern von Neubaumaßnahmen erreicht werden können [9].

Ob die angenommene Lebenserwartung nun tatsächlich erreicht wird ist Gegenstand zahlreicher Diskussionen, insbesondere da es noch keine 50 Jahre alten Liner gibt. Untersuchungen an gealterten Linern nach mehrjährigem Betrieb lassen jedoch auch schon vor Erreichen der prognostizierten Lebensdauer Aussagen über die Lebenserwartung von Schlauchlinern zu, die in diesem Bericht zusammengefasst werden. Dies trifft insbesondere auf Untersuchungen zu, in denen Materialproben entnommen und auf Materialkennwerte untersucht wurden, die eine Aussage hinsichtlich der Standsicherheit und Langlebigkeit zulassen. Aber auch aus Kamera-Inspektion gealterter Liner können Erkenntnisse zur Lebensdauer von Linern gewonnen werden.

In diesem Bericht werden die Ergebnisse einer Literaturrecherche zusammengefasst, die sich auf Aspekte der Lebenserwartung von Schlauchlinern sowie Probenahme- und Untersuchungsmethoden konzentriert. Der Fokus lag dabei auf deutschen sowie internationalen Studien, in denen Laboranalysen von Linerproben nach mehrjährigem Betrieb durchgeführt und ausgewertet wurden. Damit soll diese Studie einen Beitrag zur Beantwortung der Frage leisten, ob die Annahme einer Lebenserwartung von Schlauchlinern von 50 Jahren oder mehr realistisch ist.

2. Untersuchungsmethoden für Schlauchliner

Um Informationen zum Zustand von Schlauchlinern zu erhalten, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Mit einer **Entnahme einer Linerprobe** aus dem Kanal und anschließender Laboranalyse können die meisten Informationen gewonnen werden. Insbesondere können auf diese Weise Materialkennwerte bestimmt werden, die eine Aussage zu Standsicherheit des Linermaterials ermöglichen. Allerdings ist die Entnahme einer Linerprobe recht aufwändig (siehe 2.1). Durch **Kamera-Inspektionen** können insbesondere optisch erkennbare Auffälligkeiten des Liners wie beispielsweise Verformungen oder Verfärbungen erkannt werden (siehe 3.2). Zusätzlich gibt es auch verschiedene innovative, **zerstörungsfreie Inspektionstechniken**, mit deren Hilfe die Ermittlung verschiedener Parameter (auch zur Materialgüte) ohne die Entnahme einer Linerprobe ermöglicht werden soll (siehe 2.4). Allerdings sind diese meist noch in Entwicklung und noch kein Ersatz für Labormessungen.

2.1 Probenahme von Schlauchlinerproben

Die Entnahme von Proben von Schlauchlinern ist aufgrund der beschränkten Zugänglichkeit oft schwierig. Je nach Bedingungen und Fragestellungen kommen verschiedene Möglichkeiten in Betracht.

2.1.1 Probe aus Schachtbereich

Bei Neuinstallationen von Schlauchlinern wird zur Qualitätskontrolle in der Regel im Schachtbereich (Start- und/oder Endschacht) eine Baustellenprobe entnommen. Um die Geometrie und die Aushärtebedingungen des Altrohres zu simulieren, wird in die für die Probenentnahme vorgesehenen Schächte beim Linereinbau ein Stützrohr oder Stützschlauch installiert [11]. Bei den Maßnahmen, bei denen der eingebaute Schlauchliner über mehrere Haltungen verläuft, kann die Standard-Baustellenprobe auch aus einem Zwischenschacht entnommen werden. Zudem können aus einem Zwischenschacht auch zu einem späteren Zeitpunkt gealterte Linerproben im Schachtbereich entnommen werden (siehe Abbildung 1).

Haltungsanfang

In nicht begehbaren Profilen kann eine händische Entnahme einer Linerprobe vom Haltungsanfang erfolgen (vom Schachtbereich aus mit einem Trennschleifer, siehe Abbildung 1, Mitte). Im Vergleich zur Entnahme mit einem Fräsroboter sind Aufwand und Kosten deutlich geringer, die Entnahmeposition ist allerdings auf den unmittelbaren Haltungsanfang (etwa 50 cm) beschränkt.



Abbildung 1: Beprobung von Schlauchlinern aus dem Schachtbereich (aus [11], Anhang)

2.1.2 Probe aus Haltungsbereich

Eine besondere Herausforderung stellen Probenentnahmen im Haltungsbereich dar. Es sind mehrere Varianten möglich.

Entnahme aus offener Baugrube

Bei Entnahme aus einer offenen Baugrube wird der betreffende Rohrabschnitt freigelegt und ein ganzer Abschnitt (z.B. ein Meter) des Altrohr-Liner-Verbundes entnommen. Dies ist zwar die aufwändigste Art der Probenbeschaffung, allerdings können auf diese Weise auch umfangreichere Tests (Ermittlung von Ringspalt und Ovalität, Scheiteldruckversuch mit Liner-Ring) durchgeführt werden. Außerdem können aus einem entnommenen Rohrabschnitt mehrere Teilproben des Liners (z.B. an verschiedenen Positionen des Profils) entnommen werden. Bei größeren Rohrdurchmessern ist auch die Entnahme nur einer Halbschale des Altrohres bzw. Liners möglich (Abbildung 2, rechts).



Abbildung 2: Entnahme von Proben aus Haltungsbereich aus offener Baugrube: links: Entnahme [12], Mitte: entnommenes Probenstück [13], rechts: Entnahme Halbschale [2]

Entnahme mittels Fräsroboter in nicht begehbaren Profilen

Unter Zuhilfenahme eines Fräsroboters (siehe Abbildung 3 rechts) kann eine Entnahme von rechteckigen Probekörpern im gesamten Haltungsbereich und darüber hinaus in jeder Querschnittsposition (Sohle, Kämpfer und/oder Scheitel) erfolgen. Geringfügig mehr Aufwand kann bei einer Entnahme im Sohlbereich entstehen, da hier die Probekörper nicht von allein herausfallen. Die gelösten Probestücke werden mit dem Roboter zum nächst gelegenen Schacht geschoben und dort entnommen.

Händische Entnahme in begehbaren Profilen

In begehbaren Profilen kann die Haltungsbeprobung händisch im gesamten Haltungsbereich mittels Trennschleifer erfolgen (Abbildung 3 links). Die Dauer und Kosten für Probenentnahme und Reparatur sind zwar grundsätzlich vergleichbar mit denen der



Abbildung 3: Entnahme von Proben aus Haltungsbereich: links: händische Entnahme aus begehbarem Profil (aus [13]), rechts: Entnahme mittels Fräsroboter (aus [11])

händischen Entnahme aus dem Schachtbereich, allerdings fällt zusätzlicher arbeitssicherheitstechnischer Aufwand an [11].

2.1.3 Verfahren zur Reparatur nach Liner-Beprobung

Nach der Entnahme von Materialproben aus der Haltung sind im Anschluss die Fehlstellen fachgerecht zu verschließen bzw. zu reparieren. Dabei ist zu beachten, dass für die beschriebenen Reparaturverfahren heute üblicherweise von einer ansetzbaren Nutzungsdauer von maximal 15 Jahren ausgegangen wird, während die Nutzungsdauer für Schlauchliner üblicherweise mit 50 Jahren angesetzt wird. Je nach Probengröße und Anwendungsfall gibt es verschiedene Verfahren (aus [11]):

Reparatur mit Innenmanschetten

Bei der Reparatur mittels Innenmanschette kommen sowohl Manschetten aus Edelstahl, Elastormanschetten mit teilflächiger Verspannung als auch aus PVC zum Einsatz. Die Dichtungsfunktion der Innenmanschetten kann durch Epoxid-Harz, Mörtel, PU-Schaum- oder eine Elastomerdichtung erzielt werden. Verfahrensabhängig wird vor dem Einbau das jeweilige Dichtmittel auf der Außenseite der Innenmanschette aufgetragen, diese so präpariert auf einen Versetzpacker geschoben und mit zunächst reduziertem Durchmesser in den Kanal eingebracht. Nach korrekter Positionierung an der Entnahmestelle wird der Versetzpacker mit Luft gefüllt und somit die Manschette aufgeweitet und dauerhaft an der Entnahmestelle verspannt. Weitere Informationen in [14].

Reparatur mit Kurzlinern

Bei der Reparatur mittels Kurzliner wird ein der Entnahmestelle entsprechend konfektioniertes und mit Reaktionsharz getränktes Trägermaterial (Glasfasergewebe oder Polyesternadelfilz) auf einen Versetzpacker aufgewickelt und mit diesem in die zu sanierende Haltung eingebracht. Mit Hilfe einer TV-Inspektionskamera wird der Packer an der Entnahmestelle positioniert und mit Luft gefüllt, so dass die Gewebemanschette an die Innenwand des Inliners angepresst wird. In dieser Position verbleibt der Packer bis zur vollständigen Aushärtung des Reaktionsharzes. Weitere Informationen in [14].

Reparatur mit Injektions- und Spachtelverfahren

Bei diesem Verfahren wird die Entnahmestelle mit einer Reparaturmasse (z.B. Zwei Komponenten Epoxid-Harz) verschlossen. Diese kann in begehbaren Kanälen manuell mit geeignetem Werkzeug aufgebracht werden. In Kanälen mit kleinerem Durchmesser wird die Reparaturmasse mit Hilfe von Packern oder auch Robotern unter Zuhilfenahme von Schalungselementen injiziert bzw. darauf gespachtelt. Nach vollständiger Aushärtung des Injektionsmaterials wird ggf. eine eingesetzte Schalung wieder entfernt und ggf. die sanierte Stelle nachbearbeitet (z. B. Abfräsen von Harzüberschuss).

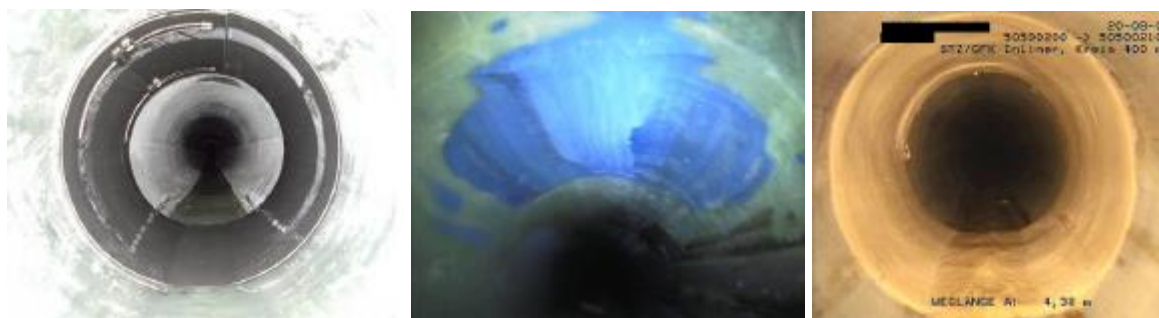


Abbildung 4: Reparaturverfahren: Innenmanschette (links), mit Roboter injiziertes Verpressharz (Mitte) und Kurzliner (rechts), aus [11]

2.2 Qualitätsparameter und Untersuchungsverfahren

Bei Schlauchlinern entstehen die Werkstoffeigenschaften erst mit dem Einbau und Aushärten in dem zu sanierenden Altrohr. Die Auswahl und Verarbeitung (z.B. tränken, einziehen, aushärten) geeigneter Materialien sowie die jeweiligen Bedingungen auf der Baustelle üben einen erheblichen Einfluss auf die Linerqualität aus [2].

Es gibt eine Reihe von Parametern, die Rückschlüsse auf Qualität und Zustand von ausgehärteten Schlauchlinern zulassen bzw. die den Zustand beeinflussen: Materialeigenschaften (z.B. Biegefestigkeit, Wasserdurchlässigkeit), geometrische Parameter (z.B. Wanddicke, Falten) sowie Belastung aus dem Betrieb (z.B. Abrieb, Spülfestigkeit). Einen Überblick über die Parameter gibt Abbildung 5. Die wichtigsten Parameter und deren Untersuchungsmethoden werden nachfolgend beschrieben.

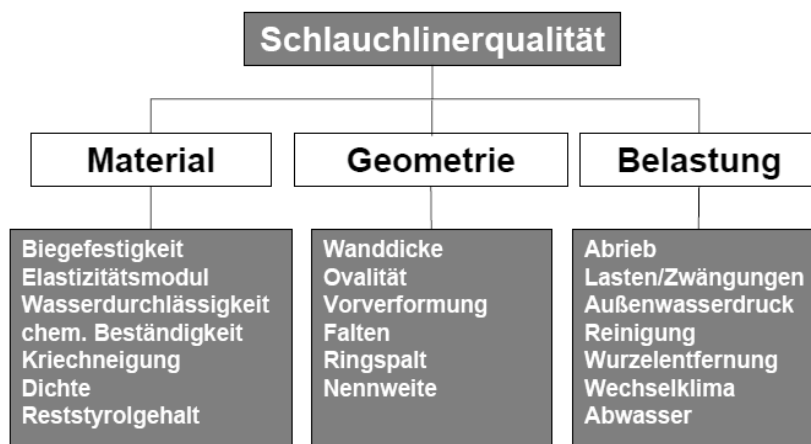


Abbildung 5: Parameter mit Einfluss auf Zustand von Schlauchlinern (aus [2])

2.2.1 Materialeigenschaften

Kunststoffe unterliegen unter Last mit der Zeit einer Veränderung der Materialkennwerte (elastoplastisches Materialverhalten) [15]. Dies kann bei Linern unter Last (z.B. durch Grundwasser, Straßenverkehr oder Erddruck) langfristig zu einer Verformung führen und einen Einfluss auf die Tragsicherheit haben kann.

Biegefestigkeit

Die Biegefestigkeit kennzeichnet den Punkt, an dem der Liner wegen zu hoher Spannung versagt. Wenn die Biegefestigkeit zu gering ist, kann ein Liner brechen, noch bevor die maximale Verformung erreicht ist.

Als Prüfmethode wird der Drei-Punkt-Biegeversuch eingesetzt (DIN EN ISO 178), in dem eine Laststeigerung bis zum Versagen des Materials erfolgt (Abbildung 6, links).

Elastizitätsmodul (E-Modul)

Das Elastizitätsmodul ist ein Materialkennwert aus der Werkstofftechnik, der den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der Verformung eines festen Körpers bei linear elastischem Verhalten beschreibt. Der Kennwert des Elastizitätsmoduls ist umso größer, je mehr Widerstand ein Material seiner Verformung entgegen setzt. Das Elastizitätsmodul ist somit ein Kennwert für die Tragfähigkeit von Linern - ist er zu gering, kann die Standsicherheit gefährdet sein. Da sich aufgrund des Materials bei ausgehärteten Schlauchlinern das E-Modul unter Last mit der Zeit ändert, unterscheidet

man zwischen Kurzzeit-E-Modul und Langzeit-E-Modul (z.B. aus 10.000h-Test). Aus den gewonnenen Verformungskurven können die 10.000 Stundenwerte auf 50 Jahre hochgerechnet werden und man erhält Langzeitwerte.

Als Prüfmethode wird meist der Drei-Punkt-Biegeversuch (DIN EN ISO 178, siehe oben) eingesetzt (kleines Probenstück ausreichend), der Scheiteldruckversuch (DIN EN ISO 11296-4) wird insbesondere zur Ermittlung des Langzeit-E-Moduls eingesetzt (Abbildung 6). Da für den Scheiteldruckversuch ein kompletter Linerring notwendig ist, wird dieser deshalb üblicherweise bei Hausanschlusslinern oder Schlauchlinern kleiner Nennweite (DN 150 und kleiner) durchgeführt, da hier die Entnahme eines ganzen Rohrabschnittes einfacher realisierbar ist.

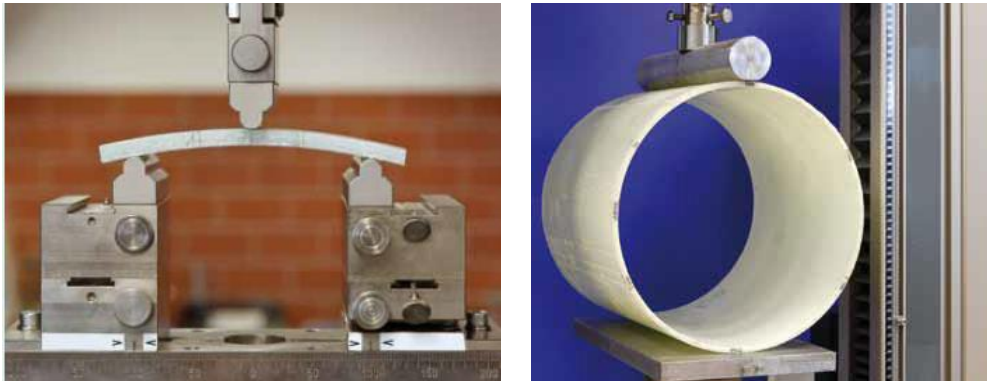


Abbildung 6: Drei-Punkt-Biegeversuch (links) und Scheiteldruckversuch (rechts) (aus [16])

Wasserdurchlässigkeit

Die Wasserdurchlässigkeit wird mit Hilfe einer Dichtigkeitsprüfung an einer Linerprobe im Labor bestimmt. Dabei wird an ein Linerstück, das mit einer Dichtung auf einem Glaskolben angebracht wird, mit Hilfe einer Vakuumpumpe ein Unterdruck von 0,5 bar über eine Prüfzeit von 15 min angelegt. Zu Beginn der Prüfung wird das Linerstück mit gefärbtem Wasser beträufelt (siehe Abbildung 7). Befindet sich nach Abschluss der Prüfzeit kein Wasser im Kolben ist das Prüfkriterium der Wasserundurchlässigkeit erfüllt (in Anlehnung an DIN EN 1610).



Abbildung 7: Dichtigkeitsprüfung (aus [17])

Kriechneigung

Unter einer konstanten Last wird die Verformung eines Schlauchliners mit der Zeit immer größer, was als Kriechverhalten bezeichnet wird. In der statischen Berechnung eines Schlauchliners berücksichtigt man dies, indem man Langzeit-Kennwerte für den E-Modul und die Biegespannung beim Bruch ansetzt. Diese können aus den Kurzzeit-Werten des Dreipunkt-Biegeversuches über den sogenannten Abminderungsfaktor bestimmt werden, der in den DIBt-Zulassungen angegeben ist. Mit der Prüfung der 24-Stunden-Kriechneigung wird eine Schlauchlinerprobe über 24 Stunden mit einer konstanten Last beaufschlagt und so kontrolliert, ob der Schlauchliner das erwartete Langzeitverhalten besitzt. Aus den Verformungen nach 1 Stunde und nach 24 Stunden wird die 24-h-Kriechneigung berechnet (DIN EN ISO 899-2). Zudem wird damit indirekt auch die Aushärtung des Schlauchliners überprüft, weil eine nicht vollständig ausgehärtete Schlauch-

linerprobe auch die Grenzwerte für die 24-Stunden-Kriechneigung nicht einhält und somit ein Maß für die Aushärtung der Harzmatrix darstellt.

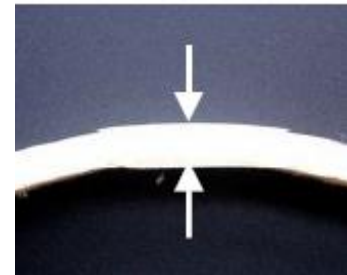
Weitere Parameter

Weitere Parameter sind der Reststyrolgehalt (Kontrolle des Aushärtegrades, DIN 53394), Dichte (DIN EN ISO 1183-1, Lufteinschlüsse im Harz?), IR-Spektrum (Kontrolle der eingesetzten Harzqualität) sowie die DSC-Analyse (DIN 53765, Kontrolle Aushärtung von Epoxidharzen an kleinen Proben), die zur Kontrolle der Qualität bei der Installation eingesetzt werden können. Der Reststyrolgehalt ist aufgrund der Umweltwirkungen von Styrol auch für die Anwendung von Linern in Kanälen zur Entwässerung von Regenwasserablauf in Oberflächengewässer relevant, wie in einer Veröffentlichung von Das et al. (2016) zu Herausforderungen bei der Installation von Schlauchlinern aufgeführt ist [18].

2.2.2 Geometrie

Wanddicke

Die Wanddicke (mittlere Verbunddicke) wird in der Regel in einer entnommenen Linerprobe gemessen. Wanddicke und E-Modul bestimmen gemeinsam die Steifigkeit des Liners. Als Parameter zur Überwachung der Qualität durchgeführter Sanierungsmaßnahmen wird die Dicke einer meist im Schachtbereich entnommenen Linerprobe gemessen und mit dem durch statische Berechnungen festgelegten Sollwert verglichen, da eine zu geringe Wanddicke die Standsicherheit gefährden kann. Bei Untersuchungen zum Zustand gealterter Schlauchliner wird die Dicke einer gealterten Linerprobe mit der Sollwandstärke beim Einbau verglichen.



Ringspalt

Als Ringspalt wird der Abstand zwischen Liner und Altrrohr bezeichnet. Bei korrekter Installation liegt der Liner ohne Ringspalt direkt am Altrrohr an, da ein Ringspalt die Tragsicherheit eines Schlauchliners stark beeinflussen kann (siehe auch 2.3). Nach ATV-DVWK-M 127-2 soll der Ringspalt $<0,5\%$ des Liner-Radius betragen. Die Bestimmung erfolgt an Altrrohr/Liner-Proben und ist somit recht aufwändig (offene Baugrube). Als innovative, zerstörungsfreie Methode zur Ermittlung von Ringspalten ist das Impakt-Echo-Verfahren in Entwicklung, das allerdings Ringspalte nur erkennen (ja/nein) und nicht quantifizieren kann (siehe 2.4).



Vorverformungen

Vorverformungen wie Falten, Abflachungen oder auch Ovalisierung (Gelenkringvorverformung) vermindern den Beulwiderstand und erhöhen die Spannungen und Verformungen des Liners [19]. Daher werden in statischen Berechnungen nach ATV-DVWK-M 127-2 zur Bemessung von Schlauchlinern Vorverformungen berücksichtigt (Annahme für Vorverformung von 2% des Linerradius wenn keine durch Inspektion nachgewiesenen größeren Werte vorliegen; Ovalisierung von 3% des Linerradius). Vorverformungen können zumindest qualitativ gut mit Kamera-Befahrungen erfasst werden [2]. Zur quantitativen Erfassung von Ovalisierungen und unregelmäßig

verformten Querschnitten können auch Laserringprojektionsverfahren (z.B. Laser Profiler, siehe 2.4) eingesetzt werden. Dabei wird ein Laser-Ring auf die Rohrwandung projiziert und anschließend von der jeweils angeschlossenen Kamera aufgezeichnet. Die Software berechnet die Daten, erstellt ein 3D-Modell der Rohrgeometrie und berechnet Parameter wie Durchmesser, Ovalität und Deformation.

2.2.3 Belastung durch Betrieb

Beim Betrieb wirken verschiedene Belastungen auf den Liner ein, die die Langlebigkeit des Linermaterials beeinflussen können. Für Abrieb und Spülfestigkeit wurden Tests entwickelt, mit denen der langfristige Einfluss simuliert werden kann.

Abrieb

Sedimenttransport kann zu einem Abrieb des Linermaterials führen. Die Ermittlung der Verschleißfestigkeit gegenüber Sedimenten kann mit der Darmstädter Kippbinne erfolgen (Abbildung 8). Dabei wird ein Liner-Segment des zu prüfenden Liners in einer Kippapparatur fixiert und mit einem speziellen Kies-Sand-Gemisch sowie Wasser befüllt. Durch Kippbewegungen wird das Gemisch im Prüfkörper 200.000 Mal bewegt. Danach wird der Abrieb in mm gemessen.



Abbildung 8: Darmstädter Kippbinne

Spülfestigkeit

Beim Spülversuch wird der Liner unter definierten Bedingungen auf seine Spülfestigkeit geprüft. Spülfestigkeit wird gefordert, da Kanäle regelmäßig zur Reinigung mit Hochdruckdüsen gespült werden. Eine Möglichkeit der Prüfung ist der Hamburger Spülversuch, bei dem der Liner 30 Spülgänge durch einen Spülkopf mit 8 Düsen (Durchmesser 2,60 mm) und einem Wasserdruck von 120 bar schadlos überstehen muss. Seit 2008 gibt es außerdem die DIN 19523 („Hochdruckstrahlbeständigkeit und -spülfestigkeit von Rohrleitungsteilen für Abwasserleitungen“), mit der die Spülfestigkeit im Labor durchgeführt werden kann. Dieser Test unterscheidet sich vom Hamburger Spülversuch maßgeblich dadurch, dass nicht der Druck, sondern die Spülstrahldichte den entscheidenden Parameter darstellt. Der Liner wird einer Spülstrahldichte von 330 W/mm² ausgesetzt, was einem Druck von etwa 90 bar, bei einem Durchfluss von 280 l/Minute entspricht. Weist der Liner nach 60 Zyklen keinerlei Beschädigung auf, so ist der Test bestanden. Mit den Tests wird ein Betrieb über 50 Jahre simuliert.

2.3 Einfluss der Parameter auf Tragsicherheit

Im Rahmen einer Studie von Bosseler (2003) wurden durch Sensitivitätsanalysen von statischen Berechnungen der Einfluss geometrischer und materialspezifischer Parameter ermittelt [2]. Dabei wurde am Beispiel eines unter Grundwassereinfluss stehenden Schlauchliners (DN 300, Dicke 6 mm) gezeigt, dass die geometrischen Kennwerte einen deutlich größeren Einfluss auf die Tragsicherheit haben als Materialkennwerte. So ergibt sich eine 50% geringe Tragsicherheit bei Unterschreitung der Wanddicke um 1,2 mm, einem Ringspalt von nur 3 mm sowie einer Längsfalte (Vorverformung) mit einem Stichmaß von 1 cm. Bei den im Rahmen der Studie untersuchten Linerproben (siehe 3.1.1) wurde insbesondere von den Vorgaben zur Spaltweite und Vorverformung abgewichen. Damit ein Materialfehler sich vergleichbar

gravierend auf die Tragsicherheit auswirkt, müssten nur noch 40 % des eigentlich erwarteten E-Moduls vorhanden sein. Die Untersuchungsergebnisse unterstreichen, dass zur Qualitätsbewertung des eingebauten Liners (insbesondere bei Grundwassereinfluss) auch die Überprüfung der geometrischen Kennwerte notwendig ist. Während die relativ häufig auftretende Faltenbildung durch die Kamerabefahrung im Rahmen der Abnahme der Sanierung zu erkennen ist, ist eine Überschreitung des Ringspalt bei kleineren Nennweiten mit den derzeitigen Messmethoden nicht erkennbar.

2.4 Zerstörungsfreie Inspektionstechniken

Im Rahmen einer Studie des IKT [11] wurden verschiedene alternative Inspektionstechniken (z.B. aus dem Bereich von Werkstoffprüfungen) getestet und auf ihre Eignung bei Anwendung mit Schlauchlinern getestet. Zudem wurden bei der Recherche in amerikanischen Studien noch zwei weitere Verfahren gefunden (Laser-Profiling und Electro-Scan-Test).

Eine Übersicht über alternative Inspektionstechniken, die in-situ im Kanal durchgeführt werden können ohne die Notwendigkeit der Entnahme einer Linerprobe zeigt Tabelle 1. Eine detaillierte Beschreibung kann in Kapitel 7 der Langfassung des IKT-Abschlussberichtes nachgelesen werden [11]. Einen Überblick u.a. über theoretische Aussagekraft, Praxistauglichkeit und Aufwand/Kosten gibt auch Tab. 8 in [20]. Allerdings ist für die meisten Messverfahren eine Begehung des Kanals notwendig und somit die Anwendung in nicht-begehbaren Kanälen noch nicht möglich (siehe Tabelle 1).

Der Einsatz von zerstörungsfreien Prüfverfahren in Labor- und In-situ-Tests im Rahmen

Tabelle 1: Übersicht innovativer, zerstörungsfreier Inspektionstechniken

Methoden	Details	Parameter	Begehung erforderlich ¹
3D-Laser-scanning	Vermessung der Lineroberfläche mit terrestrischen Laserscannern	Ovalität, Falten, Vorverformung	Ja
Ultraschall-Echoverfahren	Reflektion von Ultraschall-signalen	Wanddicke	Ja
Lokale Resonanz-spektroskopie	Erfassung der Frequenzen nach Anregung mit Hammer	Fehlstellen, Inhomogenitäten	Ja
Impakt-Echoverfahren	Mischung aus Ultraschallverf. und Resonanzspektroskopie	Ringspalt (ja/nein)	Ja
Wärmefluss-Thermographie	Wärmeimpuls + Wärmebild-kamera	Fehlstellen, Inhomogenitäten	Ja
Laserprofiling	Projektion eines roten Ringlasers + CCTV (automatische Befahrung)	Ovalität, Falten, Vorverformung	Nein (DN150-1500)
Electro Scan Test (USA)	Quantitative Messung Infiltration mit Sensor	Wasserdurchlässigkeit	Nein (DN75-1600)

¹ Bei erforderlicher Begehung des Kanals resultiert eine Begrenzung der anwendbaren Nennweite, die für zu untersuchende Kanäle bei mind. DN1200 liegen sollte.

der IKT-Studie (erste 5 Methoden in Tabelle 1) 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 bzw. des Materialzustandes gealterter Liner dar. Für einen standardmäßigen Einsatz sind die Verfahren hinsichtlich der erzielten Ergebnisse zu validieren, weiterzuentwickeln und größtenteils die Gerätetechnik zu verkleinern bzw. zu automatisieren [20].

Das Laserprofiling und das Electro-Scan-Verfahren sind dagegen etablierte Methoden, die zur Erfassung von Verformungen im Liner-Querschnitt bzw. von Undichtigkeiten bereits automatisiert, standardisiert und in-situ kommerziell eingesetzt werden [7, 21, 22]. In Deutschland werden Kanalinspektionsanlagen einschließlich dem Laserprofiling beispielsweise von der Firma IBAK oder JT-elektronik entwickelt und vertrieben.

2.4.1 Vergleich mit etablierten Methoden

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die wichtigsten Parameter und etablierten Messverfahren im Vergleich zu innovativen zerstörungsfreien Inspektionstechniken. Wie zu erkennen, ist für die meisten Parameter eine Materialprobe des Liners erforderlich, insbesondere können momentan wichtige Materialkennwerte wie die Biegefestigkeit und das E-Modul nur im Labor an einer entnommenen Probe gemessen werden.

Tabelle 2: Übersicht über relevante Parameter, etablierte Messverfahren und potentielle Alternativen für Untersuchung von Schlauchlinern

Parameter	Standard-Methode	Etablierte Messverfahren	Potentielle Alternativen (in-situ)
Biegefestigkeit	Probe/Labor	3-Punkt-Biegeversuch	
E-Modul	Probe/Labor	3-Punkt-Biegeversuch, Scheiteldruckversuch	
Dichtigkeit	Probe/Labor	Dichtigkeitstest im Labor (Unterdruck)	Elektroscan-Verfahren (US/UK/NZ/AUS)
Wanddicke	Probe/Labor	Schiebelehre	Ultraschall/Impakt-Echoverfahren
Ringspalt	Probe mit Altrohr/Labor	Schiebelehre	Impakt-Echoverfahren (nicht quantitativ)
Verformungen (Falten, Beulen,...)	Kamera-Inspektion	Optische Erfassung mit Kamera	Laserscanverfahren (Laser-Profiling, 3D-Laser)
Abrieb	Probe/Labor	Darmstädter Kipprinne	
Reinigung	Probe/Labor	Hamburger Spülversuch, Hochdruckbeständigkeit nach DIN 19523	

3. Erfahrungen zur Lebensdauer von Schlauchlinern

Im Rahmen der Literaturrecherche wurden Studien ausgewertet, in denen der Zustand gealterter Schlauchliner untersucht wurde. Da der erste Schlauchliner überhaupt erst 1971 in London installiert wurde, beträgt das maximale Alter installierter Liner rund 45 Jahren (letzte Untersuchung nach 40 Jahren). Das Alter der in den Studien untersuchten Schlauchliner liegt größtenteils bei 10-34 Jahren.

Der Fokus lag dabei auf nationalen und internationalen Studien, in denen Materialproben von Schlauchlinern unterschiedlichen Alters genommen und im Labor auf eine Reihe von Materialkennwerten und Parametern untersucht wurden, die einen Rückschluss auf die Lebensdauer zulassen (3.1). Die Ermittlung von Materialkennwerten ist insbesondere deswegen relevant, da das Schlauchlinermaterial aus Kunststoffen mit elastoplastischen Eigenschaften besteht, so dass sich Materialeigenschaften (z.B. Elastizität) unter Last mit der Zeit verändern können und durch diese Materialermüdung die Standsicherheit des Liners beeinflusst werden kann. Zu beachten ist, dass international unterschiedliche Regelwerke zur Bemessung und statischen Berechnung zur Anwendung kommen. Die vier hauptsächlich angewendeten sind das DWA-Arbeitsblatt A 143-2 (Deutschland, [23]), der ASTM-Standard F1216-16 (USA, nur für Kreisquerschnitte [24]), der WRc-SRM (Großbritannien) sowie der französische Standard ASTEE 3R2014. Unterschiede liegen beispielsweise bei der Differenzierung der Altrohrzustände, den Berechnungsmodellen (ASTM F1216 and WRc-SRM basieren auf Timoshenko-Lösung mit einem experimentell ermittelten Erhöhungsfaktor von 7 und Korrekturmöglichkeit für Ovalität, DWA – A 143-2 basiert auf Glock-Lösung, in der neben Ovalität auch Ringspalte und Ververformungen berücksichtigt werden können) sowie Designanforderungen hinsichtlich einwirkenden Grundwasser-, Boden- und weiteren Einflusskräften. Ein Vergleich ist in der Veröffentlichung von Thepot et al. (2015) enthalten [25].

Zusätzlich wurden auch Erfahrungen aus Kamera-Inspektionen berücksichtigt, in denen der Zustand von Schlauchlinern untersucht wurde (3.2).

3.1 Ergebnisse von Liner-Analysen

Weltweit gibt es nur wenige Studien zum Zustand gealterter Schlauchliner durch Beprobung. Die Ergebnisse werden nachfolgend aufgeteilt nach Studien in Deutschland und internationalen Studien zusammengefasst.

3.1.1 Studien in Deutschland

Umfangreiches Datenmaterial gibt es für **neu installierte Liner** vom Institut für unterirdische Infrastruktur (IKT), welches im Auftrag von Bauherrn oder Sanierungsfirmen Baustellenproben von neu installierten Schlauchlinern analysiert. Auf diese Weise wurden in den letzten Jahren jährlich mehr als 1500 Proben im Labor analysiert. Die Ergebnisse werden in jährlichen Liner-Reports zusammengefasst (siehe 3.3).

Gealterte Schlauchliner wurden in Deutschland in Studien von Hoppe (2008) [9] sowie 2 Studien von Bosseler (2003 [2] und 2009 [11]) beprobt und analysiert.

In der von **Hoppe (2008)** vorgestellten Studie wurden Materialproben von 3 Linern (2 Nadelfilzliner, 1 Glasfaserliner) in Hamburg analysiert, die im Mischwassergebiet 1983, 1989 und 1996 installiert wurden. Angaben zum Entnahmepunkt der Linerproben

(Schacht oder Haltung) wurden nicht gemacht. Neben Biegefestigkeit und E-Modul der Linerproben wurden der Abrieb mit der Darmstädter Kipprinne und die Hochdruckspülsicherheit mit dem Hamburger Spülversuch ermittelt. Alle Proben zeigen keine bzw. nur sehr geringe Abweichungen im Vergleich zu den Materialkurzzeitwerten zum Zeitpunkt des Einbaus. Der Autor schlussfolgert aus den Ergebnissen, dass bei einer qualitativ hochwertigen Ausführung einer Renovierung mit Schlauchlinern (zu den allerdings auch Schachteinbindungen und Hausanschlüsse/Anbindungsstellen gehören), eine Lebenserwartung von 50 Jahren wahrscheinlich ist und sogar die Nutzungsdauern von Neubaumaßnahmen erreicht werden können.

Das IKT hat 2003 eine Studie veröffentlicht (**Bosseler et al. 2003**), in der 8 Liner aus Abwasserkanälen von 7 Städten in Nordrhein-Westfalen 5-13 Jahre nach Installation beprobt und analysiert wurden. In bis zu 65 Proben wurden eine Vielzahl an Parametern (z.B. Biegefestigkeit, Kurzzeit- und Langzeit-E-Modul, chemische Beständigkeit, Dicke, Ringspalt, Wasserundurchlässigkeit) bestimmt [2]. Da zum damaligen Zeitpunkt in der Regel auf Qualitätsprüfungen und Baustellenproben verzichtet wurde, fehlen Vergleichsmöglichkeiten, um fest umrissene Aussagen über das jeweilige Alterungsverhalten der untersuchten Schlauchliner zu erlangen. Im Vordergrund der Untersuchungen stand daher die Ermittlung von Einflussfaktoren hinsichtlich der Lebensdauer des Linerbauteils.

Ein Untersuchungsschwerpunkt war dabei die Prüfung der Beständigkeit gegenüber betrieblichen Belastungen (Abrieb, Spülfestigkeit). Dabei hat sich gezeigt, dass alle untersuchten Linerproben in Laborprüfungen eine hohe Abriebfestigkeit sowie Hochdruckspülbeständigkeit aufwiesen. Allerdings zeigen Praxisbeispiele, dass mangelhafte Einbindungen im Hausanschluss- und Schachtbereich als Schwachstelle für die Belastung durch Hochdruckwasserstrahlen angesehen werden müssen.

Die Ergebnisse der Studie lassen vermuten, dass die betrieblichen Einflüsse die Linerqualität wenig beeinträchtigen. Dem gegenüber ist der Einfluss der Baustellenbedingungen auf die Linerqualität sehr groß. Fehler bzw. Abweichungen traten insbesondere hinsichtlich der Einhaltung geometrischer Kennwerte auf, vor allem wurde von den Vorgaben zur Spaltweite und Vorverformung abgewichen. Statische Kontrollrechnungen (Sensitivitätsanalysen) bestätigten, dass dies - insbesondere unter Grundwassereinfluss - einen großen Einfluss auf die Tragsicherheit des Liners haben kann (siehe 2.3).

Einige Jahre später wurden in einer weiteren Studie von **Bosseler et al. (2009)** mehrere Liner aktueller Baumaßnahmen in Nordrhein-Westfalen (11 Standorte, 19 Liner) sowie nach mehrjährigem Betrieb (10 Standorte, 20 Liner überwiegend aus Mischwasserkanälen, 4-14 Jahre nach Installation) durch Entnahme von Proben und anschließender Materialprüfung untersucht [11, 20]. Bei der Untersuchung aktueller Baumaßnahmen wurde das Untersuchungsprogramm darauf ausgerichtet zu klären, ob die Entnahme einer Probe im Schachtbereich „repräsentativ“ für die gesamte Sanierungsstrecke ist. Dazu wurden Proben an unterschiedlichen Entnahmeorten (Schacht und Haltung sowie aus unterschiedlichen Querschnittsbereichen - Scheitel, Kämpfer, Sohle) entnommen, und die Ergebnisse der Laborprüfungen hinsichtlich der Dichtheit und der mechanischen Kennwerten vergleichend gegenübergestellt. Bei gealterten Linern lag der Fokus auf der Untersuchung von Linern mit optischen Auffälligkeiten, die durch Kamera-Inspektionen ermittelt wurden und anschließend durch Laborprüfungen von Probekörpern auf Auffälligkeiten in den Geometrie- und Materialeigenschaften sowie deren mögliche Auswirkungen auf die Standsicherheit, Funktionsfähigkeit, Dichtheit und Dauerhaftigkeit untersucht wurden. Mit Blick auf die Erfassung der Streuung der Materialeigenschaften wurden auch Nachbeprobungen an Schlauchlinern durchgeführt, die optisch keine

Auffälligkeiten aufwiesen. Insgesamt wurden 70 Proben aktueller Baumaßnahmen und 52 Proben gealterter Schlauchliner entnommen und analysiert (Wanddicke, Biegefestigkeit, E-Modul, Dichtheit). Im Anhang des Langberichtes sind genaue Angaben zur Beprobungsumfang und Einzelergebnissen aufgeführt [11].

Die Ergebnisse zeigen, dass

- sowohl bei Neuinstallationen als auch bei Nachbeprobungen von optisch unauffälligen Altlinern die Materialeigenschaften einzelner Schlauchlinerrohre stark streuen können (sowohl in Längsrichtung als auch im Querschnittsumfang) mit Streuungen von meist mehr als 10-20% und bis zu 100% der mechanischen Kennwerte (selbst bei nur wenige cm auseinanderliegenden Prüfkörpern der für Materialanalysen jeweils fünffach geteilten Proben)
- Proben aus dem Schachtbereich nicht grundsätzlich schlechtere Materialkennwerte liefern als entsprechende Haltungsproben (teils gleich, teils schlechter, teils besser)
- die Sollwerte der Materialkennwerte gealterter Proben (einschließlich Dichtheit) je nach Parameter bei 19-38% der Proben unterschritten war. Der hohe Anteil nicht bestandener Prüfungen rührt insbesondere aus der Tatsache, dass vor allem Auffälligkeiten betrachtet wurden, die bereits optisch Schwachpunkte für die Dichtheit oder mechanische Leistungsfähigkeit erwarten ließen (z.B. Tropfenbildung im Laminat aus TV-Inspektion oder deutlich zu erkennende, nicht imprägnierte Fasern).
- obwohl Tendenzen zum Zusammenhang zwischen optischen Auffälligkeiten aus Kamera-Inspektionen und dem mechanischen Zustand (z.B. Festigkeit, Dichtheit) erkennbar waren (z.B. sind fleckenartige Verfärbungen scheinbar ohne Einfluss auf die Dichtwirkung und mechanischen Kennwerte, während frei liegende Fasern als Hinweis für mangelnde Harztränkung bei Installation und daraus folgend mangelnde Dichtheit und mechanische Widerstandsfähigkeit angesehen werden können), es jedoch nicht möglich ist, aus optischen Auffälligkeiten aus Kamera-Inspektionen den mechanischen Zustand (z.B. Festigkeit, Dichtheit) direkt abzuleiten, da sichtbare Auffälligkeiten nicht notwendigerweise mit mechanischen Indikatoren korreliert sind.

Desweiteren wurden im Rahmen der Studie eine Reihe innovativer und zerstörungsfreier Inspektionstechniken angewendet und Vor- bzw. Nachteile aufgezeigt (siehe 2.4) sowie ein Katalog von möglichen Linerdefekten mit Fotos und Beschreibung, der zur Identifizierung von Ursachen von Defekten und dem besten Vorgehen zur Behebung genutzt werden kann (siehe 3.2).

3.1.2 Internationale Studien

In **Großbritannien** wurde 1971 der erste Schlauchliner von der Thames Water Authority in London für die Sanierung eines gemauerten Mischkanals (Eiprofil, DN 600/1100) mit dem Insituform®-Verfahren installiert. Wong (2016) hat in einem Konferenzpaper Ergebnisse von Materialuntersuchungen dieses Liners nach 20 und 30 Jahren veröffentlicht [3]. Die Ergebnisse zeigen, dass die Materialkennwerte (E-Modul) über den erforderlichen Mindestwerten liegen (ASTM F1216 bzw. WIS 4-34-04).

In **Kanada** wurden in einer Studie in Quebec Untersuchungen von 2 Schlauchlinern (CIPP) nach 10 und 11 Jahren Betrieb durchgeführt (Alzraiee et al. 2015 [12]). Mit offener Baugrube wurde jeweils ein 3 m Abschnitt von Liner und Altrohr (DN 300 bzw. 450, unterteilt in 3 Stücke a 1 m) des Abwasserkanals eines Wohngebietes entnommen (siehe Abbildung 2) und Materialkennwerte sowie geometrische Kennwerte (Dicke und

Ringspalt) an 6 Teilproben entlang des Umfangs gemessen und gemittelt. Die Standardabweichung der Einzelwerte der 6 Teilproben lag für die meisten Parameter bei 5-10%. Bei beiden untersuchten Linern konnten nach einem Betrieb von rund 10 Jahren keine bzw. nur geringe Verschleißerscheinungen gefunden werden. Der Ringspalt war in beiden Fällen sehr klein und betrug durchschnittlich etwa 0,5 mm, die Dicke lag 1-2 mm über der Designdicke von 5 bzw. 7 mm. Materialuntersuchungen zur Biegefestigkeit und E-Modul haben Werte ergeben, die die Designwerte deutlich überschreiten, so dass von einer ausreichenden Festigkeit des Liners während der restlichen Lebensdauer ausgegangen wird (angenommene Lebensdauer insgesamt: bis 50 Jahre). Zerstörende Prüfung von Schlauchlinern (CIPP) werden von den Autoren als notwendig erachtet, um den Zustand von Linern nach einer definierten Zeitperiode im Bezug zur Lebensdauer beurteilen zu können.

In einer weiteren kanadischen Studie aus Winnipeg von Macey et al. (2013), in der zwei 28 und 34 Jahre alte in Abwasserkanälen installierte Liner untersucht wurden, wurden ebenfalls gute Materialcharakteristika gemessen [26]. Der einzige niedrige Biegefestigkeitswert gehörte zu einem Liner, der sichtbare installationsbedingte Mängel aufwies. Die beiden Liner waren auch Teil der nachfolgend beschriebenen EPA¹-Studien.

In den **USA** wurde eine 6-jährige durch die EPA finanzierte Studie durchgeführt, in der insgesamt 18 Schlauchlinerproben (17 Standorte) aus Abwasserkanälen aus 9 Städten der USA (Columbus, Denver, Houston, Indianapolis, Nashville, New York City, Northbrook) und Kanada (Edmonton, Winnipeg) im Alter von überwiegend 17 bis 34 Jahren untersucht und eine ganze Reihe von geometrischen und Materialkennwerten gemessen wurden [4, 5, 27]. Für die Analyse der Materialkennwerte wurden je Liner 5-15 Teilproben aus unterschiedlichen Positionen (z.B. entlang des Umfangs: Sohle, Scheitel, Kämpfer) entnommen. Details der Untersuchungen zu jeder Probe und detaillierte Ergebnisse sind in den EPA-Abschlussberichten enthalten [5, 28]. Ein Paper von Allouche et al. (2014) fasst die Ergebnisse der ersten Phase (pilot study) mit 4 Linern aus zwei Städten (Denver und Columbus) zusammen [13]. Als Empfehlung der Pilotstudie wurde u.a. die Ausweitung der Beprobungen in einer zweiten Phase festgehalten, um die vielversprechenden Ergebnisse der ersten Phase auf eine breitere Datenbasis zu stellen und die Repräsentativität der untersuchten Proben in Bezug zu allen CIPP-Installationen zu erhöhen. Die Messergebnisse der Gesamtstudie wurden in

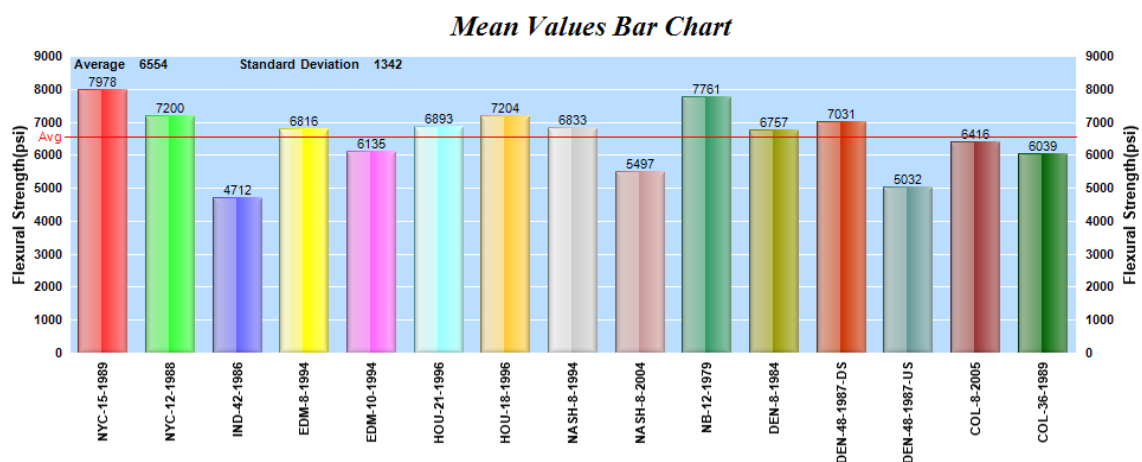


Abbildung 9: Biegefestigkeit der in den USA im Rahmen einer EPA-Studie untersuchten Schlauchliner – Darstellung aus Online-Datenbank des Trenchless Technology Center.

¹ Environmental Protection Agency – Nationale Umweltbundesbehörde der USA

einer Datenbank des Trenchless Technology Center der Louisiana Tech University veröffentlicht, die nach kostenloser Anmeldung online unter <http://138.47.78.37/Retrospective> verfügbar ist und auch eine interaktive grafische Darstellung der Werte ermöglicht [4, 5] (siehe Abbildung 9). Materialkennwerte (Biegefestigkeit und E-Modul) der 18 Linerproben lagen für fast alle Proben über den im USA angewendeten Industriestandard ASTM F1216 festgelegten Minimumwerten zum Zeitpunkt der Installation. Die Linerprobe, bei der der Mindestwert für die Biegefestigkeit nicht eingehalten wurde wies dabei sichtbare installationsbedingte Mängel auf. Als Fazit der Gesamtstudie kann festgehalten werden, dass die im Rahmen der Studie untersuchten Schlauchliner insgesamt sehr gut erhalten sind. Einige Defekte, die sich in den Linerproben bzw. auch bei Kamera-Inspektionen im Umfeld der beprobten Liner gezeigt haben sind vermutlich auf Fehler bei der Installation (insbesondere im Zusammenhang mit der Anbindung des Liners an Hausanschlüsse) und nicht auf Abnutzungserscheinungen des Linermaterials durch den Betrieb zurückzuführen. Bezüglich der untersuchten Parameter wird geschlussfolgert, dass E-Modul und Biegefestigkeit nach wie vor die am meisten getesteten Parameter und geeignet sind, die Qualität und Stärke von Schlauchlinern zu charakterisieren. Die ursprünglich von den meisten Gemeinden/Stadtverwaltungen angenommene Lebenserwartung von 50 Jahren wird basierend auf den Ergebnissen vermutlich erreicht – eine längere Haltbarkeit wird als wahrscheinlich angesehen.

3.2 Erfahrungen aus Kamera-Inspektionen von Schlauchlinern

Durch Kamera-Inspektionen können optische Auffälligkeiten eines Liners wie Verformungen, Materialablösungen, starke Infiltration oder fehlerhafte Hausanschlüsse erfasst werden und werden daher sowohl zur Qualitätsüberwachung durchgeführter Linersanierungen als auch zur Kontrolle des Kanals auf Schäden nach mehrjährigem Betrieb eingesetzt. Quantitative Informationen über den Zustand eines Schlauchliners wie z.B. Linerdicke, Hohlräume hinter dem Liner oder Materialkennwerte zur Festigkeit können so nicht ermittelt werden.

In Studien mit Kamera-Inspektionen und Feedback mit Bezug zur Lebensdauer von Schlauchlinern war die Hauptschlussfolgerung, dass durch Kamera-Inspektionen erkennbare Linerauffälligkeiten in der Regel örtlich begrenzt und oft bei Bauabnahme schon vorhanden sind [4, 5, 11, 13, 28]. Dies sind insbesondere die ungenügende Anbindung bzw. Abdichtung von Hausanschlüssen sowie Verformungen durch Fehler bei Installation (Blasen, Falten, wellige Oberfläche). Dabei ist zu berücksichtigen, dass Fräsröbter zur Durchführung von Fräsarbeiten zur Anbindung von Hausanschlüssen vor 30 Jahren noch nicht so ausgefeilt waren wie heute und von heutigen Installationen diesbezüglich weniger Probleme zu erwarten sind [28]. Ungenügende Anbindung von Hausanschlüssen kann zu Infiltration von Grundwasser, Wurzelpenetration sowie Folgeschäden durch durchgeführte Hochdruckspülungen führen. Liner-Auffälligkeiten die erst während des Betriebes auftraten und nicht direkt nach Installation vorlagen sind beispielsweise Ausbeulungen durch infiltrierendes Grundwasser (siehe Tabelle 3). Im Rahmen der IKT-Studie [11] und EPA-Studie [28] durchgeführte wiederholte Kamera-Inspektionen defekter Abschnitte nach mehreren Jahren hat die Defekte bei Installation bestätigt, jedoch keine weiteren durch den Betrieb verursachten Veränderungen am Schlauchliner gezeigt.

Im Rahmen der EPA-Studie von 2012 wurden auch Interviews mit 9 internationalen Wasserversorgern zu deren Erfahrungen mit Schlauchlinerinstallationen durchgeführt

([28], Anhang C). Erfahrungen aus Kamera-Inspektionen nach mehrjährigem Betrieb (z.B. Leverkusen: DN 250-1200-Liner nach 10 und 15 Jahren, Les Hauts-de-Bièvre: DN250-500-Liner nach 5 und 10 Jahren) haben keine spezifischen Probleme gezeigt, die Besorgnis an der allgemeinen Leistungsfähigkeit von Schlauchlinern aufkommen lassen. Die meisten durch Kamera-Inspektionen erkannten Probleme, die im Rahmen der Befragungen von den Betreibern im Zusammenhang mit Linerinstallationen genannt wurden waren installationsbedingt (insbesondere fehlerhafte Hausanschlüsse) – Anzeichen für systemische oder Materialprobleme wurden nicht gesehen [28].

Von Bosseler et al. (2009) [20] wurde ein Zustandskatalog für Schadensbilder von Schlauchlinern aus Kamera-Inspektionen erstellt, in dem Schadensbilder in verschiedene Zustandsgruppen und Unterkategorien unterteilt sind (Tabelle 3). Der zugehörige Katalog mit Bildbeispielen (ebenfalls aus [20]) ist im Anhang A zu finden. Diese Zustandskataloge sind jedoch nicht standardisiert, so dass auch andere Kataloge mit unterschiedlicher Systematik existieren (z.B. von ProjectMax Limited für Christchurch City Council, Neuseeland, [29]).

Tabelle 3: Zustandskatalog des IKT für Kamera-Inspektionen von Schlauchlinern [20]

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

Abschließend lässt sich festhalten, dass eine Quantifizierung der Reduzierung der Lebensdauer allein durch optische erkennbare Defekte aus Kamera-Inspektionen schwierig ist, insbesondere weil Materialparameter (Materialdicke, Festigkeit) optisch durch eine Kamera-Inspektion nicht erfasst werden können. Zur Feststellung einer Reihe von installationsbedingten Defekten sind Kamera-Inspektionen jedoch ein unverzichtbarer Bestandteil der Qualitätskontrolle.

3.3 Trends neuer Schlauchliner

3.3.1 Technologie-Entwicklung

Die Unterschiede der Schlauchliner-Verfahren liegen im Wesentlichen in den zum Einsatz kommenden Materialien, dem Einbau (Schlauchinstallation) und dem System der Aushärtung der Reaktionsharze. Die ersten Liner basierten auf Nadelfilzgewebe, das aus Synthesefasern (meistens Polyester) besteht. Nach dem Aushärten geht von den Synthesefasern allerdings keine festigkeitserhöhende oder versteifende Wirkung aus. Nadelfilzgewebe blieb bis Ende der 80er Jahre das vorherrschende Material für Schlauchliner. Seit Anfang der 90er werden auch Glasfasermatten als Trägermaterial eingesetzt, wobei das Glasfasergewebe im Verbund festigkeitserhöhend wirkt (GFK-Liner). Seit 1993 werden von der Firma Brandenburger nahtlose Glasfaserschläuche hergestellt, die mit lichthärtenden Harzen getränkt und mit UV-Licht ausgehärtet werden. Mitte der 90er Jahre entwickelt die Firma Teerbau (heute: R+S Rohrtechnik) einen aus mehreren Lagen hergestellten GFK-Liner mit einer Polyestervlieschicht (Berolina Liner), der u.a. ein besseres Dehnverhalten aufweist. Ab 2000 gewinnen Glasfaser-basierte Liner am Markt immer mehr an Bedeutung (siehe auch 3.3.2).

Zum überwiegenden Anteil (> 90%) werden beim Schlauchlining heute ungesättigte Polyester-Harze (UP) eingesetzt. Diesen wird auf Grund des Kosten-Nutzen-Effekts der Vorzug gegenüber Epoxid-Harzsystemen (EP) gegeben, welche aber z.B. im Hausanschlussbereich oft eingesetzt werden [30]. Seltener, aber insbesondere bei hohen chemischen und thermischen Anforderungen werden VE-Harze zur Sanierung eingesetzt. Die Imprägnierung (Harztränkung) kann werksseitig oder auf der Baustelle vor Ort durchgeführt werden, wobei im Allgemeinen zurzeit nur Synthesefaserliner örtlich getränkt, Glasfaserliner dagegen überwiegend werksseitig imprägniert werden.

Der Einbau der Schläuche erfolgt nach drei Verfahren: Im Inversionsverfahren (bzw. Umstülpverfahren) wird mit Hilfe eines Überdrucks (verfahrensbedingt zwischen 0,5 und 2 bar) das mit Harz getränkte Schlauchmaterial kontinuierlich durch Wasserdruck bzw. Druckluft in den Kanal eingekrempelt. Beim Einziehverfahren wird das geharzte Schlauchmaterial mittels Seilwinden vom Schacht aus in den zu sanierenden Kanal eingezogen - das Aufstellen des Schlauches erfolgt über Luft- oder Wasserdruck. Bei größeren und dickeren Schlauchlinern wird eine Kombination der Einzieh- und Inversionstechnik eingesetzt (Hauptschlauch und Kalibrierschlauch). Die Härtung erfolgt mit Warmwasser, Dampf oder (bei Zugabe spezielle Lichtinitiatoren) seit Anfang der 90er Jahre auch mit UV-Licht.

Einen detaillierteren Überblick über die Entwicklung von Schlauchlinern (z.B. Materialien, Einbauvarianten, Aushärtungsmethoden) gibt der zweiteilige Artikel von Dilg (2008) zu 35 Jahre Schlauchlining [30, 31].

3.3.2 IKT 10-Jahres-Linerreport

Das Institut für unterirdische Infrastruktur (IKT) führt seit mehr als 10 Jahren Laboruntersuchungen von Schlauchlinerproben durch, die bei neu installierten Schlauchlinern oft durch die Bauherrn oder Sanierungsfirmen beauftragt werden. Analysiert werden die 4 Parameter E-Modul, Biegefestigkeit, Wasserdichtheit und Wanddicke und mit den jeweiligen Sollwerten verglichen. Im Jahr 2016 wurden in diesem Zusammenhang etwa 1800 Linerproben von 24 Firmen analysiert. Somit ist dies das umfangreichste Messprogramm bzw. Datenzusammenstellung von Proben neu

installierter Schlauchliner. Obwohl diese Analysen oft als qualitätssichernde Maßnahme durchgeführt werden sind sie jedoch nicht verpflichtend, so dass die dargestellten Ergebnisse keinen vollständigen Überblick über alle erfolgten Schlauchlinerinstallationen und Ausführungsfirmen geben und gegebenenfalls Firmen mit schlechten Ergebnissen weniger oft vertreten sind. Aufgrund der Vielzahl an Proben wird jedoch davon ausgegangen, dass die Ergebnisse trotzdem ein gutes Bild über die Qualität von in Deutschland neu installierten Schlauchlinern zeigen. Durch den im 10-Jahresreport (2003 – 2013, [17]) durchgeführten Vergleich der Ergebnisse über die Zeit haben sich außerdem die nachfolgend beschriebenen Trends gezeigt:

- **GFK- versus Nadelfilzliner**

Der Anteil an Nadelfilzlinern hat sich von 2003 bis 2013 von etwa 50% auf nur noch 10-15% reduziert (Abbildung 10). Die auf Glasfasergewebe basierenden GFK-Liner haben sich demnach größtenteils am Markt durchgesetzt (Anteil Nadelfilz 2016: 13%, [32]). Das liegt wahrscheinlich auch daran, dass die Glasfasern im Gegensatz zu den Synthetikfasern der Nadelfilzliner die Festigkeit des Schlauches erhöhen. Deshalb werden Liner mit Synthefasern im Vergleich zu Linern mit Glasfasergelegen in der Regel mit größeren Wanddicken ausgeführt, um die statischen Anforderungen erfüllen zu können.

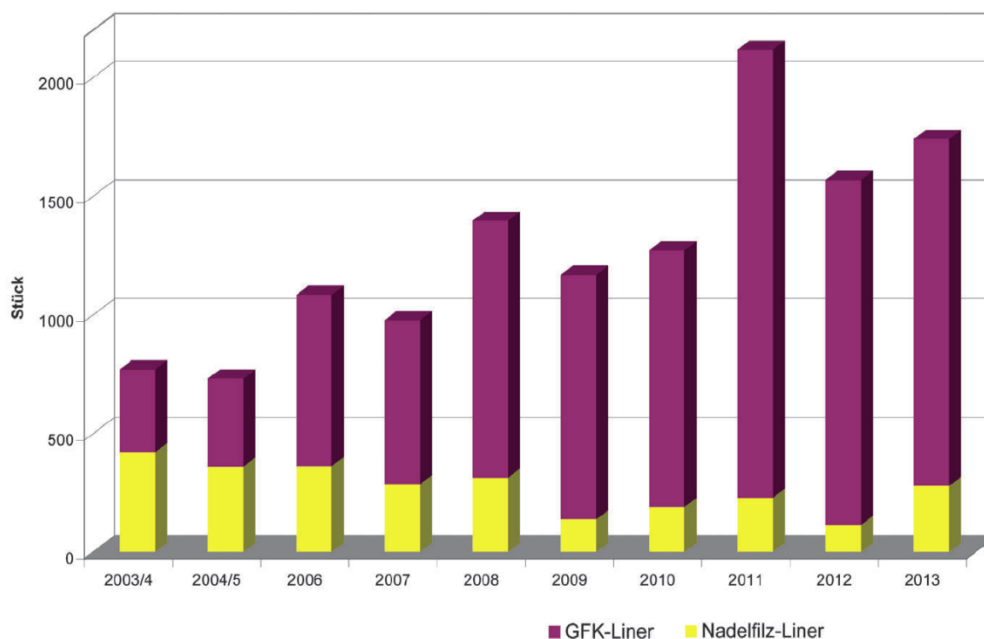


Abbildung 10: Anzahl untersuchter Proben nach Linerart (aus [17])

- **Verbesserung der analysierten Parameter**

Wie in Abbildung 11 zu sehen, hat sich im Laufe der Jahre der Anteil der Proben, die den Sollwert erfüllt haben, für alle vier untersuchten Parameter um etwa 10% erhöht und liegt nun >95%. Der Trend einer verbesserten Qualität installierter Liner bezüglich der untersuchten Parameter hat sich in den letzten Jahren auf diesem hohen Niveau stabilisiert (aktuelle Werte 2016: E-Modul: 99%, Biegefestigkeit: 98%, Wasserdichtheit: 99%, Wanddicke: 96%; [32]).

Diagramm 2: Prüfergebnisse aller Proben
 - Mittelwerte "Sollwert erreicht" -

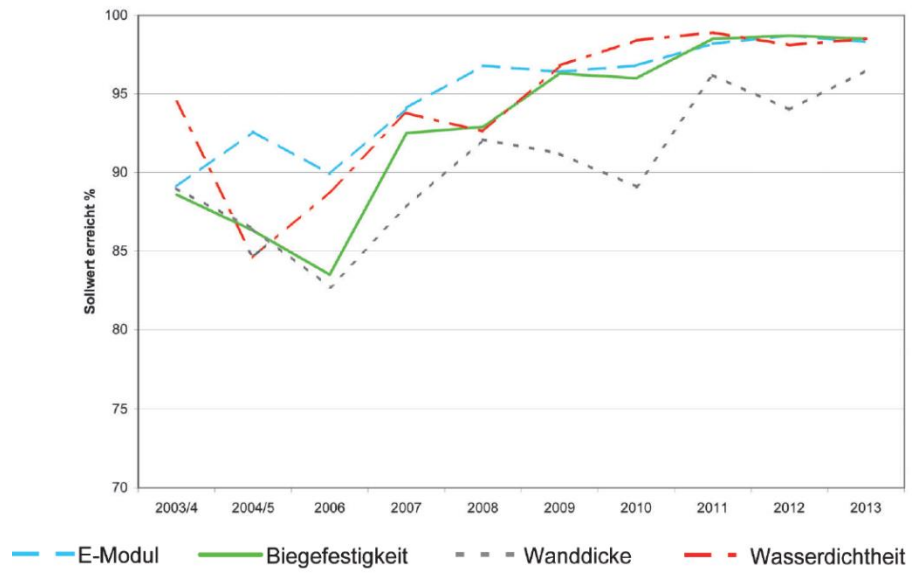


Abbildung 11: Prüfergebnisse des IKT von neu installierten Schlauchlinern von 2003 bis 2013 (aus [17]).

4. Fazit

4.1 Erwartbare Lebensdauer von Schlauchlinern

Die Materialbeständigkeit von Schlauchlinern während des Betriebes wird von allen Studien, in denen Materialkennwerte von Linerproben untersucht wurden, als gut eingeschätzt. Die untersuchten Liner stammen dabei aus Misch- bzw. Schmutzwasserkanälen, ein genauer Anteil kann auf Grund teilweise fehlender Zuordnung der Einzelproben nicht angegeben werden. Es gibt nur wenige Anzeichen von Abnutzung von Schlauchlinern durch den Betrieb – gefundene Abnutzungserscheinungen durch den Betrieb standen dabei oft in Verbindung mit Qualitätsmängeln bei der Installation (z.B. nach Hochdruckspülungen verstärkte Ablösung von Linerfasern, die auf ungenügende Harztränkung hinweisen). Bei korrektem Einbau werden Lebensdauern ≥ 50 Jahre in mehreren Studien beprobter Liner mit einem Alter von bis zu 34 Jahren als wahrscheinlich eingeschätzt. Auch Annahmen von Herstellern, Anforderungen von Betreibern sowie Angaben in Regelwerken beziehen sich meist auf eine Lebensdauer von Schlauchlinern von mindestens 50 Jahren.

Nichtsdestotrotz können Liner eine ganze Reihe von Defekten aufweisen, die durch Lineruntersuchungen und Kamera-Inspektionen erfasst und in Zustandskatalogen kategorisiert sind. Die Defekte wurden dabei meist auf Fehler bei der Installation zurückgeführt, insbesondere Undichtigkeiten durch eine schlechte Einbindung von Hausanschlüssen (keine Abdichtung, Versatz, Fehlfräsungen) oder Falten und Verformungen durch nicht ganz passgerechte Konfektionierung wurden oft gefunden. Allerdings konnte auch eine Verbesserung der Qualität durchgeführter Schlauchlinerinstallationen mit der Zeit beobachtet werden, so dass jüngere Installationen auch hinsichtlich installationsbedingter Defekte oft in einem besseren Zustand waren. Dazu beigetragen hat auch eine zunehmende werkseitige Tränkung des Trägermaterials mit Reaktionsharz, da im Gegensatz zu einer vor-Ort-Tränkung eine gleichmäßigere Tränkungsqualität gewährleistet werden kann (nicht bei EP-Harzen möglich, da kurze Reaktionszeit) [11]. Neben Problemen mit Hausanschlüssen und Falten können bei ungenügender Installationsqualität auch Faserablösungen durch unzureichende Harztränkung bzw. Blasen/Verformungen durch zu hohe Temperaturen bei der Aushärtung auftreten. Dies unterstreicht die Wichtigkeit der Qualitätskontrolle für durchgeführte Sanierungsmaßnahmen mit Schlauchlinern, da durch den Installationsprozess das letztendlich eingebrachte Produkt erst auf der Baustelle entsteht und von den Bedingungen vor Ort abhängt (z.B. Härtung) - Empfehlungen zu Qualitätssicherungsaspekten bei Installation von Kanalsanierungsmaßnahmen sind daher auch in der Literatur zu finden (z.B. [33]). Dies schließt auch eine Qualitätskontrolle von nach Lineraushärtung notwendigen Instandsetzungen der Anbindungen von Hausanschlüssen mit ein, da diese in der Vergangenheit oft Ursache von Linerdefekten waren. Eine in zwei Studien [2, 28] erwähnte wiederholte Kamera-Inspektion mit mehrjährigem Abstand zeigte aber auch, dass die installationsbedingten Defekte noch vorhanden, aber darüber hinaus eine Veränderung des Liners durch den Betrieb nicht erkennbar war, was die Aussagen zur Beständigkeit des Linermaterials unterstützt.

Abschließend kann festgehalten werden, dass die angenommene Lebenserwartung vor Ort härtender Schlauchliner von 50 Jahren basierend auf den Ergebnissen der in der Literaturrecherche analysierten Materialien vermutlich eingehalten und sogar überschritten wird, insbesondere wenn Qualitätsvorgaben für den Einbau beachtet werden. Da weltweit noch kein installierter Liner diese Lebenserwartung erreicht hat, sind Aussagen zur Lebensdauer aber nur mit Einschränkungen möglich.

4.2 Beprobung und Untersuchungsmethoden

Beprobung Liner

Die Materialkennwerte Biegefestigkeit, E-Modul, Dicke und Dichtheit sind hinsichtlich der Standfestigkeit und Prognose der Lebensdauer von Schlauchlinern die wichtigsten Parameter. Die Ermittlung dieser Parameter ist nach heutigem Stand der Technik nur durch Laboruntersuchungen und einer damit verbundenen Entnahme von Linerproben zu erreichen. Studien haben dabei sowohl bei neu installierten als auch bei gealterten Linern eine recht große Streuung der Werte innerhalb eines Linerabschnittes von bis zu 100% ergeben. Deshalb ist die Entnahme einer einzelnen Stichprobe nicht ausreichend. Bei einem durchgeführten Monitoringprogramm sollten wenigstens 3 Probekörper an verschiedenen Stellen in Längsrichtung und/oder entlang des Linerumfangs (Scheitel, Sohle, Kämpfer) entnommen werden. Materialtests (z.B. 3-Punkt-Biegeversuch) sollten je Probekörper in mehrere (beispielsweise fünf) Teilproben unterteilt und analysiert werden, um durch eine Mittelung der Ergebnisse die Unsicherheiten aus der Materialstreuung zu minimieren bzw. zu quantifizieren. Eine Beprobung ist sowohl von Nadelfilz- als auch den heute weiter verbreiteten GFK-Linern möglich.

→ Eine Beprobung von Linern wird als sinnvoll erachtet, da aus ermittelten Materialkennwerten die Standfestigkeit und Prognose der Lebensdauer abgeleitet werden können. Da die Literatur nur eine geringe Änderung der Materialkennwerte über die Zeit gezeigt hat, wird eine wiederholte Beprobung und Analyse des gleichen Liners nur in einem Zeitintervall >5-10 Jahre als sinnvoll erachtet (es sei denn es liegen Indikationen aus Kamerabefahrungen vor).

Kamera-Inspektion

Kamera-Inspektionen (CCTV) sind insbesondere für die Qualitätskontrolle nach Installation neuer Schlauchliner eine unverzichtbare Technologie, um installationsbedingte Defekte zu identifizieren. Auch zur Erfassung von sichtbaren Veränderungen im Laufe der Betriebszeit (z.B. Ausbeulungen durch Grundwassereinfluss bei abnehmender Materialfestigkeit) und möglicher Problemstellen, die die Lebensdauer bzw. Qualität beeinträchtigen (z.B. offensichtliche Infiltration oder Ablösung von Fasern) sind Kamera-Inspektionen sehr gut geeignet. Auffälligkeiten können anhand von Zustandskatalogen erfasst und bewertet werden. Ein Ersatz für Labormessungen sind Kamera-Inspektionen jedoch nicht, da optische Auffälligkeiten nicht zuverlässig mit einer Veränderung der mechanischen Kennwerte bzw. der Dichtheit in Verbindung gebracht werden konnten.

→ Kamerainspektionen sollten nach Installation neuer Liner (Erfassung von Qualitätsmängeln) sowie für die Erfassung langfristig erkennbarer Zustandsänderungen während des Betriebs (z.B. Verbeulung) eingesetzt werden. Der Zyklus hängt dabei auch von Umgebungsbedingungen (potentielle Gefährdungen, z.B. Grundwassereinfluss) ab. Eine Kombination mit Laserprofiling ist hilfreich (siehe unten).

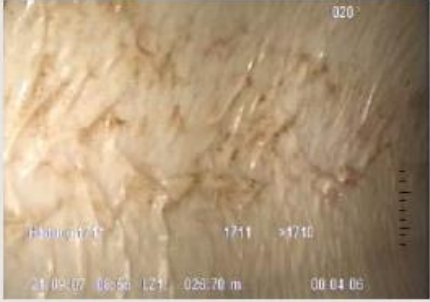




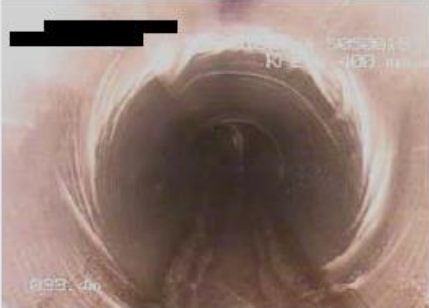


Zerstörungsfreie Inspektion

Innovative zerstörungsfreie Inspektionsmethoden, auch zur Erfassung der Materialqualität von Schlauchlinern, sind in Entwicklung und erste Ergebnisse vielversprechend, jedoch für die meisten Methoden noch nicht etabliert. Für einen standardmäßigen Einsatz sind die Verfahren noch nicht geeignet und hinsichtlich der erzielten Ergebnisse zu validieren, weiterzuentwickeln und größtenteils die Gerätetechnik zu verkleinern bzw. zu automatisieren, da für die Anwendung vielfach noch eine Begehung erforderlich ist.

Dies trifft insbesondere auf Inspektionsmethoden zur direkten Untersuchung des Linermaterials zu (z.B. lokale Resonanzspektroskopie bzw. Wärmefluss-Thermographie zur Ermittlung von Inhomogenitäten oder Fehlstellen). Bereits etabliert und automatisiert sind das Laserprofilng (Kombination von Kamerainspektion mit Ringlasern) zur quantitativen Erfassung von Deformationen und Ovalität sowie das hauptsächlich im englischsprachigen Raum eingesetzte ElectroScan-Verfahren zur quantitativen Erfassung von Undichtigkeiten mit Hilfe von Stromimpulsen. Das Laserprofilng wird in Deutschland von mehreren Firmen angeboten (z.B. IBAK, JT-elektronik). Je nach Zielen eines möglichen Untersuchungsprogrammes sollten diese beiden Techniken in Erwägung gezogen werden.

→ Insbesondere das Laserprofilng wird als zerstörungsfreie Inspektionstechnik empfohlen, da es bereits in Deutschland etabliert ist und eine quantitative Erfassung von Verformungen ermöglicht. Einsetzbar ist es ab einer Nennweite von DN150 und je nach System bis DN600 oder DN1500 einsetzbar. Methoden zur direkten Untersuchung der Materialqualität müssen für eine routinemäßige Anwendung noch weiterentwickelt werden.

Anhang A: CCTV-Zustandskatalog Schlauchliner (aus [20])

1. Geometrische Abweichungen	
a) Wellige Oberflächenstruktur	
<p><u>Beschreibung:</u> 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.)</p>	
	
	
1. Geometrische Abweichungen	
b) Querfalten	
<p><u>Beschreibung:</u> 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</p>	
	
	

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“) \Rightarrow keine Hohlstellen, Trägermaterial (scheinbar) nicht beeinträchtigt (vgl. Bild r. u.); i. d. R. bei der Bauabnahme schon vorhanden



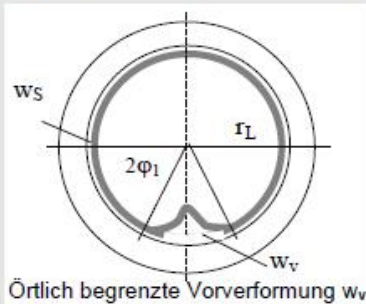
1. Geometrische Abweichungen

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

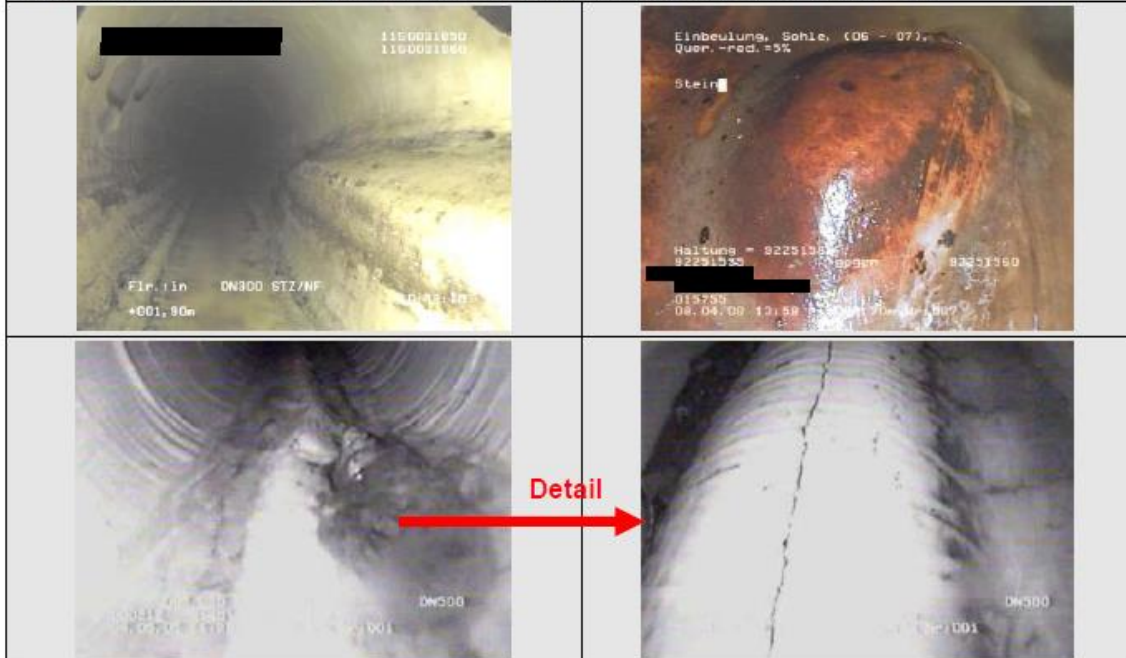


1. Geometrische Abweichungen

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

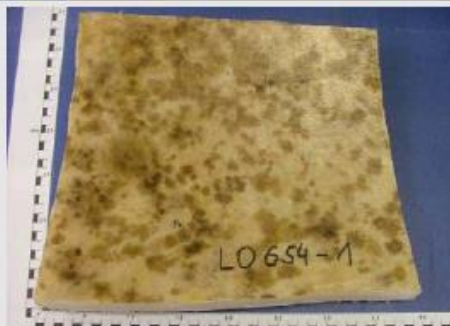


2. Auffälligkeiten an der Linerinnenwand

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

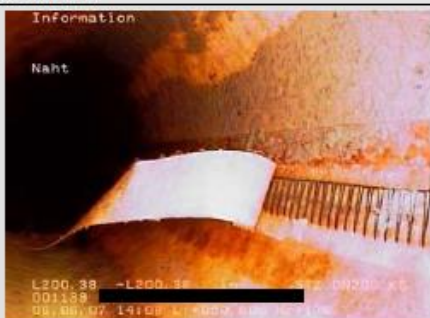


2. Auffälligkeiten an der Linerinnenwand

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

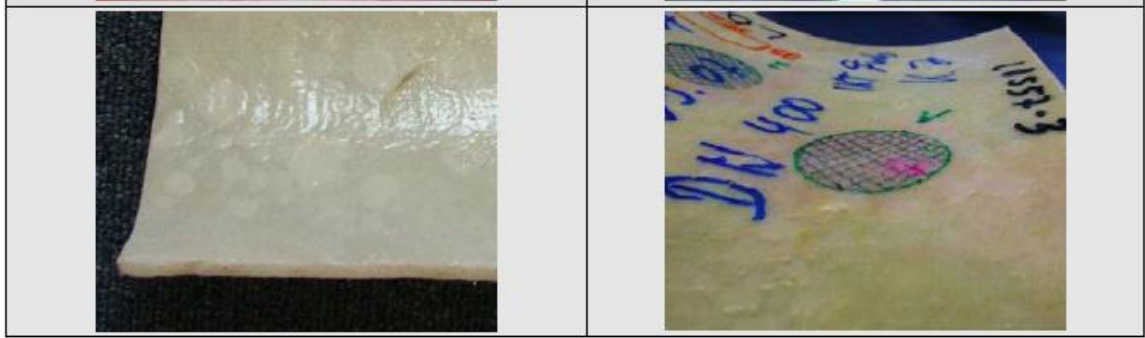
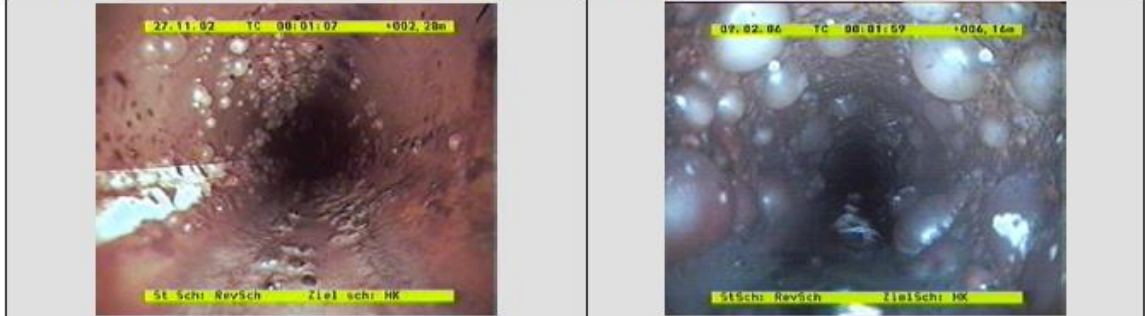
Beschreibung:
 Fall 1 (Innenfolie wird nach Linereinbau entfernt, z. B. bei GFK-Linern):
 Innenfolie unvollständig bzw. gar nicht entfernt (vgl. Bild l. o. und Bild r. o.), Folienreste frei liegend im Kanal
 Fall 2 (Innenbeschichtung verbleibt im Kanal, z. B. bei NF-Linern):
 Risse und Ablösungen sind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

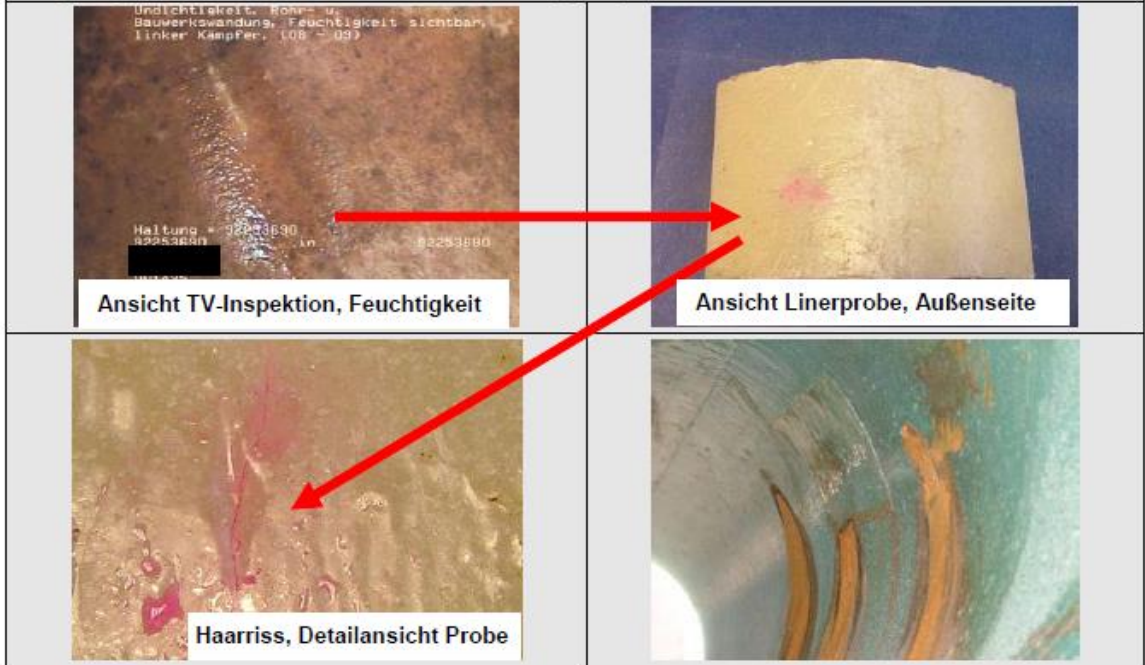


3. Offensichtliche Undichtigkeiten

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.)



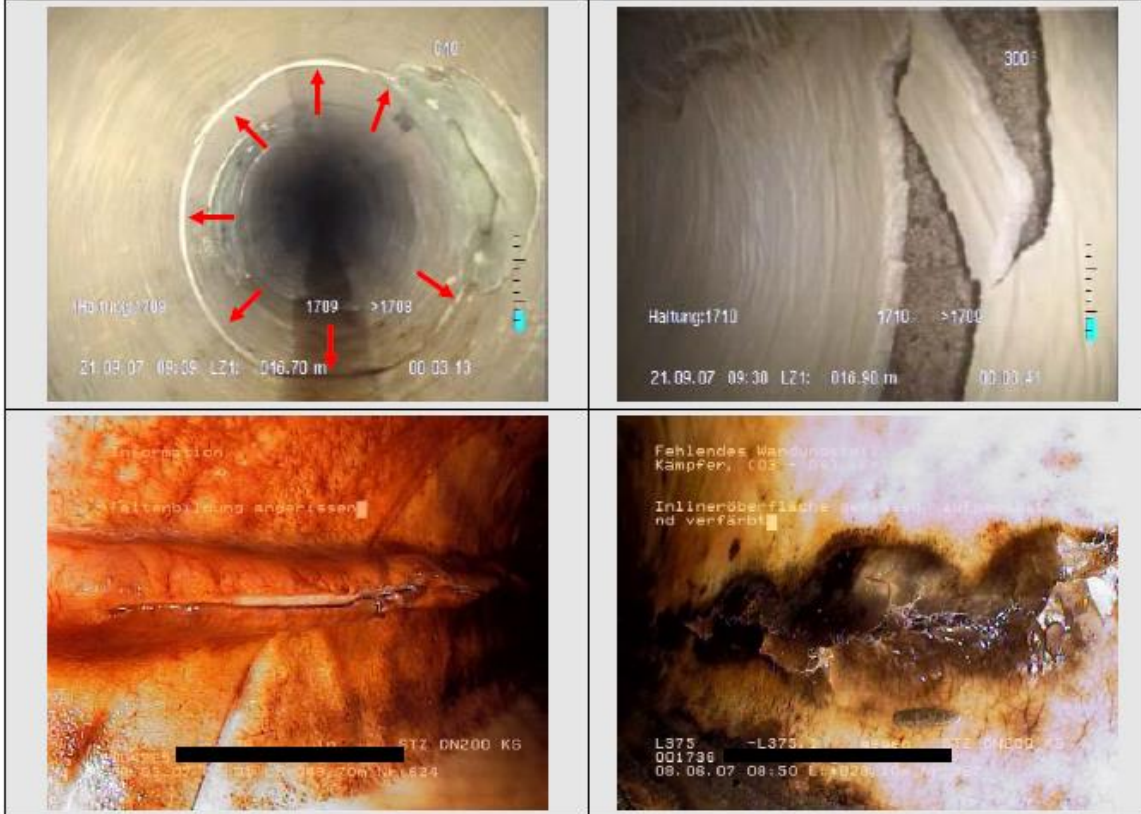
3. Offensichtliche Undichtigkeiten

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.), Fehlfürasungen in unmittelbarer Nähe zum seitlichen Zulauf (vgl. Bild l. u.), fehlende Hutprofile bzw. Anbindungen mittels Verpresstechnik (vgl. Bild r. u.)

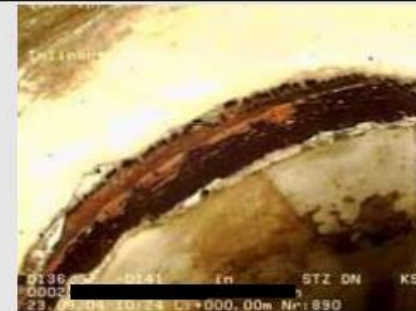
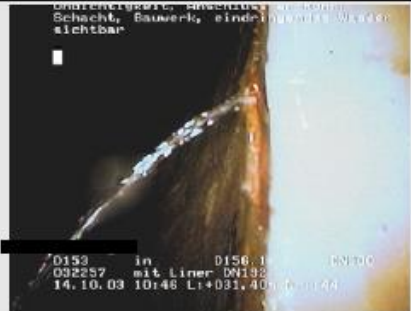


4. Lineranbindungen

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 Altrohr (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)

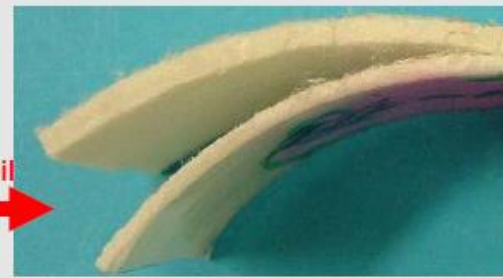
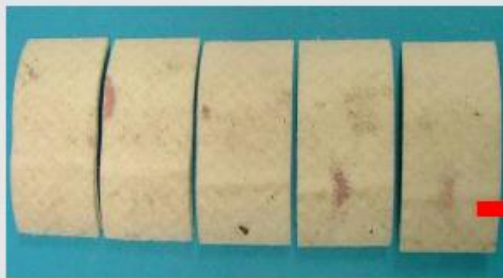


5. Unzureichende Tränkungen

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 Linerinnenwand, 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.)

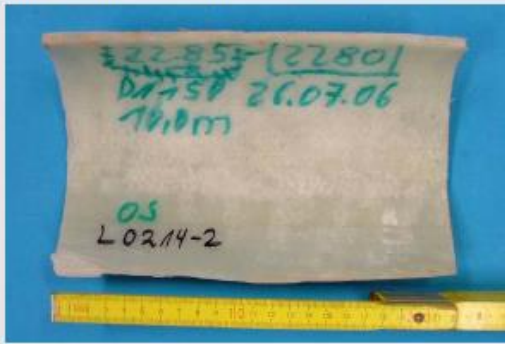


6. Unzureichende Aushärtung

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 Aushärtungsdefizite 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.)

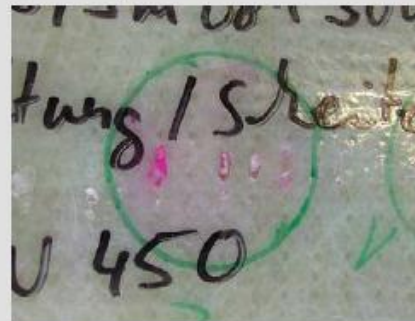


7. Auffällige Wandaufbauten

a) Lufteinschlüsse

Beschreibung:

Lufteneinschlüsse (Lunker, Poren und Hohlräume) im Liner, die in unterschiedlicher Form, Größe, Lage und Dichte sowohl auf der Linerinnenseite (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

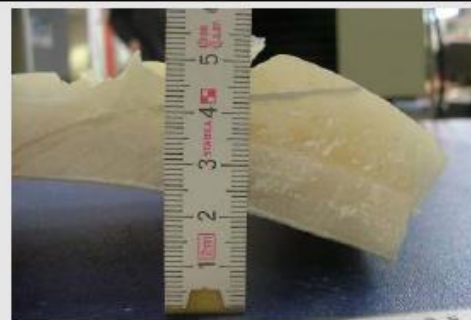
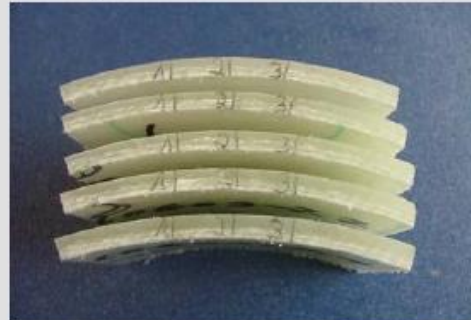


7. Auffällige Wandaufbauten

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.)

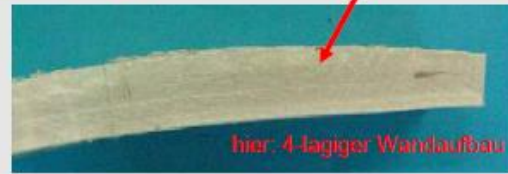
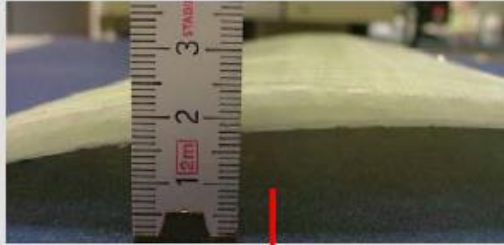


7. Auffällige Wandaufbauten

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.)



Literaturverzeichnis

- [1] Sangster, T. und Downey, D. (2006) *35 Jahre Schlauchlining – Ein Verfahren erobert den Markt.*, in *4. Deutscher Schlauchlinertag*: Nürnberg, 30. März 2006.
- [2] Bosseler, B., Sokoll, O., Diburg, B., und Beck, S. (2003) *Qualitätsaeinflüsse Schlauchliner - Stichprobenuntersuchungen an sanierten Abwasserkanälen*. IKT - Institut für unterirdische Infrastruktur.
- [3] Wong, W. (2016) *Long Term Performance of CIPP*, in *International No-Dig 2016: 34th International Conference and Exhibition*: Beijing.
- [4] Alam, S., Sterling, R.L., Allouche, E., Condit, W., Matthews, J., Selvakumar, A., und Simicevic, J. (2015) *A retrospective evaluation of the performance of liner systems used to rehabilitate municipal gravity sewers*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, **50**: p. 451-464.
- [5] Allouche, E., Alam, S., Sterling, R., Condit, W., und Matthews, J. (2014) *National Database Structure for Life Cycle Performance Assessment of Water and Wastewater Rehabilitation Technologies (Retrospective Evaluation)*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-14/251.
- [6] Sydney Water) *Linings for Circular Non Man-Entry Pipes*. Standard Specification SS 201.
- [7] Najafi, F.T., Harris, W.G., Muszynski, L., Alwood, D., Mamaghani, T., und McBride, D. (2011) *Durability of In-situ Pipe Repair* Florida Department of Transportation
- [8] Salem, S., Najafi, M., Salman, B., Calderon, D., Patil, R., und D., B. (2008) *Use of trenchless technologies for a comprehensive asset management of culverts and drainage structures*. Midwest Regional University Transportation Center.
- [9] Hoppe, F. (2008) *Lebenserwartung von Schlauchlinern*. UmweltBau Kongressausgabe: p. 6-9.
- [10] Eulenburg, A. und Berger, C. (2012) *Vor Ort härtende Schlauchliner*. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall, **59**(11): p. 1018-1020.
- [11] Bosseler, B., Schlüter, M., und Wade, L. (2009) *Abnahme von Liningmaßnahmen - Materialnachweise und Bewertung der Linerqualität (Langbericht)*. IKT - Institut für unterirdische Infrastruktur.
- [12] Alzraiee, H., Bakry, I., und Zayed, T. (2015) *Destructive Analysis-Based Testing for Cured-in-Place Pipe*. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, **29**(4): p. 04014095.
- [13] Allouche, E., Alam, S., Simicevic, J., Sterling, R., Condit, W., Matthews, J., und Selvakumar, A. (2014) *A pilot study for retrospective evaluation of cured-in-place pipe (CIPP) rehabilitation of municipal gravity sewers*. *Tunnelling and Underground Space Technology*, **39**: p. 82-93.
- [14] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall, e.V. (2003) *ATV-DVWK-M 143-7 Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 7: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Kurzliner und Innenmanschetten*: Hennef.
- [15] Dallner, C. und Ehrenstein, W. (2006) *Thermische Einsatzgrenzen von Kunststoffen - Teil I: Kriechverhalten unter statischer Belastung*. *Zeitschrift Kunststofftechnik*, **2**(3): p. 1-31.
- [16] Institut für Unterirdische Infrastruktur gemeinnützige GmbH (2012) *ZTV - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für die Materialprüfung an Probestücken vor Ort härtender Schlauchliner*.
- [17] Waniek, R.W., Homann, D., und Kruse, N. (2014) *10 Jahre IKT-LinerReport*. *bi-UmweltBau*, **1 | 14**: p. 82-90.
- [18] Das, S., Bayat, A., Gay, L., Salimi, M., und Matthews, J. (2016) *A comprehensive review on the challenges of cured-in-place pipe (CIPP) installations*. *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua*, **65**(8): p. 583-596.

- [19] Falter B., Hoch A., und V., W. (2003) *Hinweise und Kommentare zur Anwendung des Merkblattes ATV-DVWK-M 127-2 für die statische Berechnung von Linern*. . Korrespondenz Abwasser, Abfall, **50**(4): p. 451.
- [20] Bosseler, B., Schlüter, M., und Wade, L. (2009) *Abnahme von Liningmaßnahmen - Materialnachweise und Bewertung der Liningqualität (Kurzbericht)*. IKT - Institut für unterirdische Infrastruktur.
- [21] F2550-13, A. (2013) *Standard Practice for Locating Leaks in Sewer Pipes By Measuring the Variation of Electric Current Flow Through the Pipe Wall*, International, Editor: West Conshohocken, PA.
- [22] F3080-17, A. (2017) *Standard Practice for Laser Technologies for Measurement of Cross-Sectional Shape of Pipeline and Conduit by Non-Rotating Laser Projector and CCTV Camera System*, International, Editor: West Conshohocken, PA.
- [23] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall, e.V. (2015) *ATV-DVWK-M 143-2 Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 2: Statische Berechnung von Lining- und Montageverfahren* DWA, Editor: Hennef.
- [24] F1216-16, A. (2016) *Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and Curing of a Resin-Impregnated Tube*, International, Editor: West Conshohocken, PA.
- [25] Olivier Thepot, Jean-Michel Bergue, Jean-Marie Joussin, und Orditz, D. (2015) *Systematic comparison of the four main national methods ASTM F1216, WRc-SRM, DWA-A 143-2 and 3R-2014 applicable to flexible liners of both circular and non-circular cross-sections*, in *No-Dig 2015*: Berlin: 24.-27.3.2015.
- [26] Macey, C.C., Zurek, K., Clinch, N., Delaurier, A., und R., S. (2013). *More Really Old CIPP Liners from Winnipeg, MB, Canada That Have Stood the Test of Time*. in *Proc. NASTT No Dig Conf*. Nashville: North American Society for Trenchless Technology.
- [27] Sterling, R., Alam, S., Allouche, E., Condit, W., Matthews, J., und Downey, D. (2016) *Studying the Life-cycle Performance of Gravity Sewer Rehabilitation Liners in North America*. *Procedia Engineering*, **165**: p. 251-258.
- [28] Allouche, E., Alam, S., Simicevic, J., Sterling, R., Condit, W., et al. (2012) *A Retrospective Evaluation of Cured-in-Place Pipe (CIPP) Used in Municipal Gravity Sewers*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-12/004.
- [29] Project Max Limitd (2013) *Guidelines for As-Built CCTV Inspections of Lined/Rehabilitated Pipe - Supplementary Document to the CCC Specification "CCTV for Christchurch City Council Earthquake Recovery"*. Christchurch City Council, New Zealand.
- [30] Dilg, R. (2008) *35 Jahre Schlauchlining - eine absolute Erfolgsstory, Teil 1*. *Tiefbau-Ingenieurbau-Straßenbau (tis)*, **1-2 2008**: p. 46-53.
- [31] Dilg, R. (2008) *35 Jahre Schlauchlining - eine absolute Erfolgsstory, Teil 2*. *Tiefbau-Ingenieurbau-Straßenbau (tis)*, **4 2008**: p. 40-50.
- [32] Waniek, R.W., Homann, D., und Grunewald, B. (2017) *IKT-LinerReport 2016: Der 100%-Club - An der Spitze sind sie nur zu fünft*. *B_I-UmweltBau*, **1 | 17**: p. 82-90.
- [33] Selvakumar, A., Kampbell, E., Downey, D., und Condit, W. (2012) *Quality assurance and quality control practices for rehabilitation of sewer and water mains*. *Urban Water Journal*, **9**(4): p. 211-222.