

# Qualitätseinflüsse Schlauchliner

## *Stichproben-Untersuchung an sanierten Abwasserkanälen*



- Dezember 2003 -

***Bosseler, B.; Schlüter, M.***

Forschungsprojekt  
gefördert durch



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

Bearbeitung



IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur  
Exterbruch 1  
45886 Gelsenkirchen

Wissenschaftliche Leitung

Dr.-Ing. Bert Bosseler

Projektleitung und Bearbeitung

Dipl.-Ing. Marco Schlüter  
Dipl.-Ing. (FH) Lars Waade

Wir danken allen Projektbeteiligten für die Bereitstellung des umfangreichen Proben- und Datenmaterials sowie die weitreichende Unterstützung bei der inhaltlichen Bearbeitung des Forschungsprojektes:

Dipl.-Ing. F. Großklags	Stadt Bochum
Dipl.-Ing. O. Schmidt	Stadt Dortmund
Dipl.-Ing. Z. Tavcer Dipl.-Ing. H. Kilian	Wirtschaftsbetriebe Duisburg
StBDir. G. Gebhardt	Stadt Gladbeck
H. Hohenlöchter	Stadt Münster
Dipl.-Ing. H. Spinnräger Dipl.-Ing. U. Klein	NVV AG Niederrheinische Versorgung und Verkehr AG
Dipl.-Ing. R. Meisenbach	Henkel KG aA
Dipl.-Ing. D. Drieschner	Stadt Hilden
Dipl.-Ing. (FH) M. Liß Dipl.-Ing. (FH) M. Heinlein	Stadtentwässerungsbetrieb Nürnberg
Prof. Dr.-Ing. B. Falter Dipl.-Ing. (FH) A. Strotmann	Fachhochschule Münster, Fachbereich Bauingenieurwesen
Prof. Dr. K.-U. Koch	Fachhochschule Recklinghausen, Fachbereich Chemie und Materialtechnik

Darüber hinaus danken wir den Mitarbeitern der Stadtentwässerung Göttingen sowie Herrn Dipl.-Ing. M. Goldschmidt von der MC-Bauchemie GmbH & Co. KG, Herrn Dipl.-Ing. D. Koch von der Stadt Neuss, Herrn Dipl.-Ing. (FH) M. Röttgers von der Wuppertaler Stadtwerke AG und Herrn Dipl.-Ing. M. Schorling vom Braunschweiger-Abwasserverband für die zahlreichen Anregungen und fachliche Diskussion.

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1</b>	<b>Veranlassung und Zielstellung</b> <b>1</b>
<b>2</b>	<b>Aktueller Stand der Schlauchlinertechnik</b> <b>3</b>
2.1	Verfahrensüberblick 3
2.2	Qualitätssicherung 9
2.3	Lebensdauer und Abschreibung 14
2.4	IKT-Untersuchungen 2001 18
<b>3</b>	<b>Prüfprogramm und -ergebnisse</b> <b>23</b>
3.1	Probengewinnung und Prüfumfang 23
3.2	Geometrische Kennwerte 28
3.3	Werkstoffkennwerte 40
3.4	Betriebliche Kennwerte 49
3.5	Bewertung der Standsicherheit 66
3.6	Dichtheitsprüfungen 70
<b>4</b>	<b>Qualität und Lebensdauer von Schlauchlinern</b> <b>75</b>
4.1	Fragestellung 75
4.2	Qualitätsverlauf und Gesetzmäßigkeiten 77
4.3	Lebensdauereinflüsse und Maßnahmen 81
4.4	Fazit 94
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b> <b>99</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> <b>104</b>

## 1 Veranlassung und Zielstellung

Die Bestimmung der Dauerhaftigkeit von Schlauchlinern in Abwasserkanälen ist für den Netzbetreiber von besonderer Bedeutung. Er muss wissen, wie lange eine sanierte Haltung genutzt werden kann, denn dies hat Einfluss auf den Wiederbeschaffungszeitwert sowie Investitionsentscheidungen und Betriebsführungsstrategien. Bislang fehlt es an gesicherten Erkenntnissen über die Eignung dieses Sanierungsverfahrens unter mehrjährigen Betriebsbedingungen. Als Ursache sind im wesentlichen mangelnde bzw. nicht dokumentierte Erfahrungen aus der praktischen Anwendung zu nennen. Doch auch bei einer nach dem derzeitigen technischen Kenntnisstand intensiv betriebenen Qualitätssicherung stellt sich die Frage, inwieweit die ausgedescribte und vertraglich vereinbarte Schlauchlinerqualität unter Baustellenbedingungen erreicht wird und wie Abweichungen zu bewerten sind.

Nach DIN EN 752 [1] muss der Sollzustand eines Bauteils, eines Kanalisationsabschnittes, einer Haltung, eines Netzbereiches oder Entwässerungssystems nach erfolgter Sanierung mindestens den gleichen Anforderungen genügen, die für eine neu herzustellende Kanalisation gelten. Die Erfüllung dieser Forderung wird heute in der Regel durch die Abnahmeprüfung nach Beendigung von Sanierungsarbeiten in Form einer optischen Inspektion bzw. durch Laboruntersuchungen an Baustellenproben, die während der Bauausführung entnommen werden, abgesichert. Die besonderen Bedingungen der Kanalatmosphäre, die sich aufgrund der ständigen Abwasserablenkung einstellt, werden dabei noch nicht berücksichtigt. Dies hat zur Folge, daß die Eignung eines Schlauchlinersystems, insbesondere im Hinblick auf eine geforderte Lebensdauer, zu den genannten Prüfzeitpunkten nur sehr eingeschränkt eingeschätzt werden kann. Als einzige zeitabhängige Größe wird lediglich das Kriech- bzw. Relaxationsverhalten von Kunststoffen in der statischen Berechnung berücksichtigt.

Für die Netzbetreiber und Planer von Sanierungsmaßnahmen besteht daher Unsicherheit bei der Auswahl von geeigneten Verfahren für die Sanierung schadhafter Kanalhaltungen. Unklar sind insbesondere die zu wählenden Abschreibungszeiträume als Grundlage für die Gebührenberechnung und zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Sanierungsmaßnahme. Hinzu kommt, dass Netzbetreiber bereits nach Ablauf der Gewährleistungsfrist weitestgehend allein das Risiko für Wertminderungen durch eine schadhafte Sanierung tragen. Grundlage von Vertragsgestaltungen für den Bau öffentlicher Kanalisationsbauwerke ist i.d.R. die VOB, Verdingungsordnung für Bauleistungen [2]. Nach § 13 Abschnitt 4 (1) der VOB beträgt die Verjährungsfrist für die Gewährleistung lediglich 2 Jahre. In öffentlichen Ausschreibungen wird daher häufig die Verjährungsfrist nach § 638 des BGB Bürgerliches Gesetzbuch [3] auf 5 Jahre festgesetzt. Auch dies ist immer noch eine kurze Zeitspanne verglichen mit den üblicherweise für Kanalisationsbauwerke angestrebten Nutzungsdauern von 30 Jahren [4] bzw. sogar 50 Jahren [5]. Hieraus resultiert ein erhebliches finanzielles Risiko für die Netzbetreiber.

Vor diesem Hintergrund sahen sich die Netzbetreiber der Städte Bochum, Dortmund, Duisburg, Gladbeck, Mönchengladbach und Münster veranlasst, die Qualität von mit dem Schlauchliningverfahren sanierten Haltungen, die z.T. bereits seit mehr als 10 Jahren den Betriebsbedingungen der Kanalisation ausgesetzt waren, zu überprüfen. Das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen förderte diese Initiative durch eine Beauftragung des IKT- Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen mit dem Forschungsprojekt „Untersuchung der Qualität ausgeführter Sanierungsmaßnahmen - am Beispiel der Schlauchverfahren -“ (Vorhaben I) [6]. Im Rahmen dieses im Jahr 2001 abgeschlossenen Projektes wurden u.a. qualitative und quantitative Inspektionen an insgesamt 15 sanierten Kanalhaltungen durchgeführt.

Die Netzbetreiber ließen in diesem Zusammenhang auch eine Stichprobe von drei Aufgrabungen zur Entnahme von Rohrabschnitten bzw. Werkstoffproben durchführen. Die anschließend im Prüflabor durchgeführten Werkstoff- und Systemprüfungen ließen vermuten, dass intakt aussehende, funktionsfähige und dichte Schlauchliner die statisch erforderlichen Materialkennwerte u.U. nicht erreichen. Es ist daher nicht auszuschließen, dass in derartigen Fällen die „statische“ Nutzungsdauer erheblich eingeschränkt ist.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen beauftragte das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen das IKT- Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen mit einer Fortsetzung der Untersuchungen. Die grundsätzlichen Schlussfolgerungen sollten anhand weitergehender Werkstoff- und Systemprüfungen an in der Vergangenheit sanierten Haltungen verifiziert bzw. falsifiziert werden. Der vorliegende Endbericht stellt die Ergebnisse des Vorhabens „Ermittlung der statischen und betrieblichen Lebensdauer von mit dem Schlauchreliningverfahren sanierten Kanälen“ (Vorhaben II) zusammen und enthält darüber hinaus eine Kurzfassung der Ergebnisse aus Vorhaben I [6] (Abschnitt 2.4).

Im Vordergrund steht dabei die Zusammenstellung und Gewichtung der Einflüsse auf die Schlauchlinerqualität während der charakteristischen Zeitabschnitte Herstellung, Einbau und Betrieb. Ausgehend davon werden Maßnahmen zur lebensdauerbegleitenden Überprüfung von Schlauchlinersanierungen vorgeschlagen, um die Lebensdauer von Schlauchlinern analog zur Lebensdauer von Neurohren abschätzen zu können. Darüber hinaus werden für den Einzelfall anwendbare Hinweise dargestellt, die insbesondere bei signifikanten Abweichungen gegenüber den Qualitätsanforderungen eine fallbezogene Lebensdauerbetrachtung unterstützen.

## 2 Aktueller Stand der Schlauchlinertechnik

Laut ATV-Umfrage des Jahres 2001 [7] sind ca. 17% des deutschen Kanalisationsnetzes kurz- bzw. mittelfristig zu sanieren. Weitere 14% weisen geringfügige Schäden auf und müssen langfristig saniert werden. Für die Sanierung der kurz- und mittelfristig zu behebenden Schäden sind Liningverfahren (hierzu zählt das Schlauchlining) mit einem Anteil von 88% die am häufigsten angewandten Renovierungsverfahren.

Ziel der Sanierung mit dem Schlauchlining-Verfahren ist es, unter Einbeziehung der ursprünglichen Bausubstanz die vorhandenen Schäden so zu beheben, dass der Sollzustand des Netzes wieder hergestellt und der Betrieb der Kanalisation langfristig sichergestellt ist. Dafür müssen nach der Sanierung nicht nur die Kanäle, sondern auch sämtliche Anschlüsse und Einbindungen dicht sein.

### 2.1 Verfahrensüberblick

Schlauchlining ist ein Renovierungsverfahren zur Verbesserung der aktuellen Funktionstüchtigkeit eines bestehenden Rohrleitungssystems. Bild 1 zeigt die Einordnung des hier behandelten Schlauchlinings in die Technikfamilien der Renovierungsverfahren von Rohrleitungssystemen.

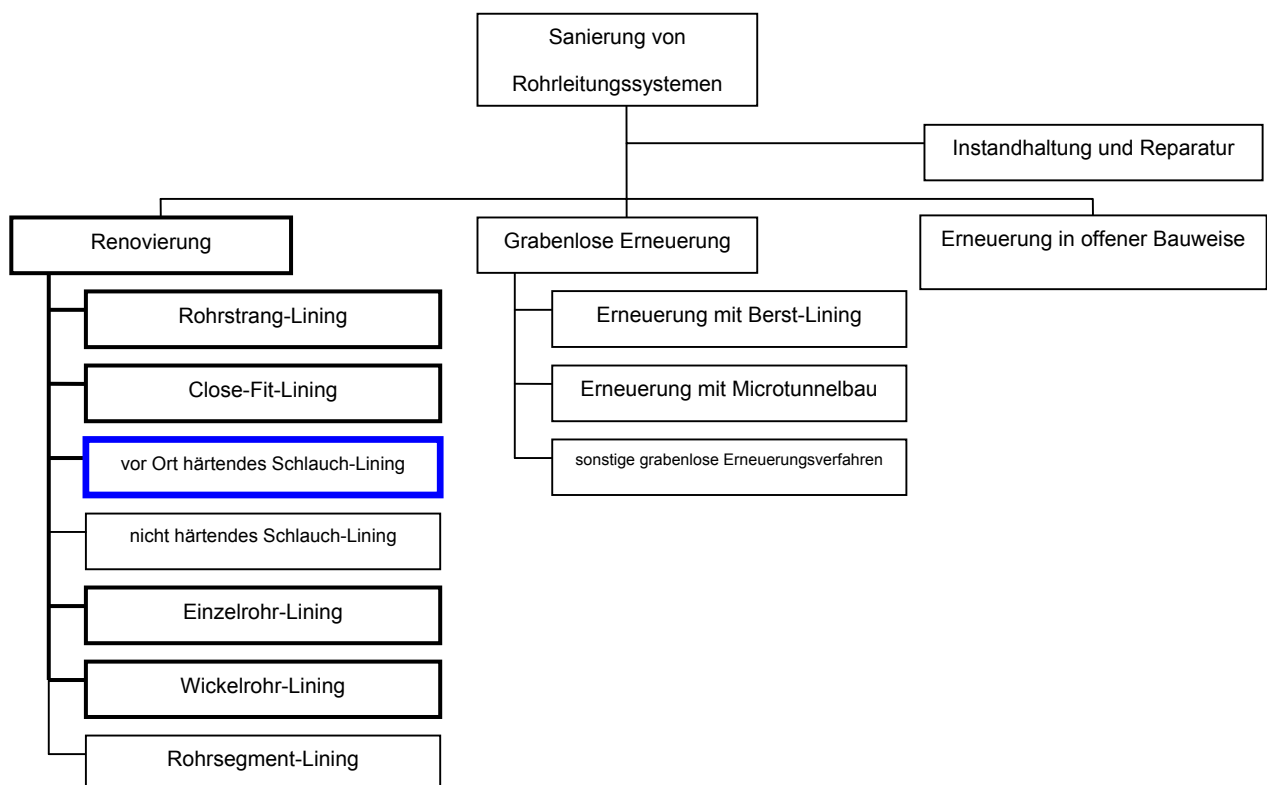


Bild 1: Technikfamilien für die Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen [8]

Beim Schlauchlining wird ein flexibler Schlauch aus Trägermaterial mit einem Reaktionsharz getränkt und i.d.R. über einen Schacht in die zu renovierende Abwasserhaltung eingebracht. Dort wird der Schlauchliner mit Wasser- oder Luftdruck form-schlüssig an die Rohrwandung des Altrohres gepresst. Durch das anschließende Aushärten des Reaktionsharzes entsteht ein neues muffenloses und gebeverstärktes Kunststoffrohr in der bestehenden Rohrleitung (Bild 2).

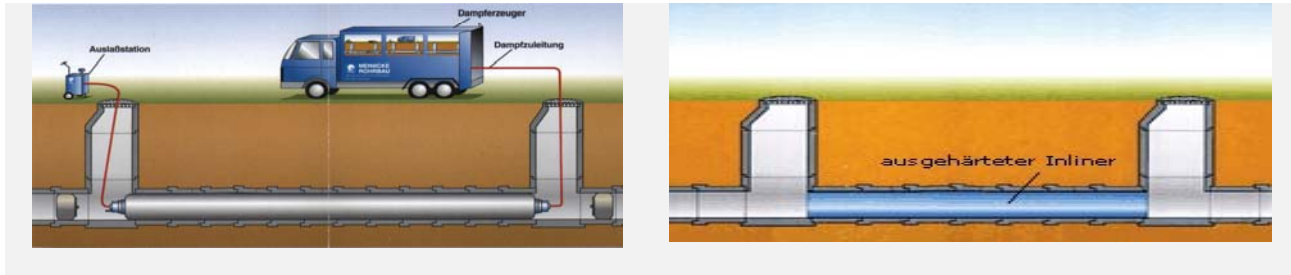


Bild 2: Verfahrensschema Schlauchlining [9]

Schlauchliner haben i.d.R. einen dreischichtigen Wandaufbau (Bild 3). Von Innen nach Außen betrachtet, trifft man zunächst auf eine *Innenfolie* aus PE-HD oder PU. Sie verhindert beim Aushärten den Kontakt mit dem Prozesswasser oder Wasserdampf und bildet nach der Installation die Rohrinnenwand. Dahinter befindet sich der sog. *Verbund*: eine Kombination aus ausgehärtetem Harzsystem, Trägermaterial und/oder Verstärkung. Die letzte Schicht, bzw. die Rohraußenwand, wird insbesondere bei UP-Harz Linern durch eine *Außenfolie* gebildet. Sie soll ein mögliches Austreten von überschüssigem Harz verhindern. Mit ihr entsteht eine Trennschicht zwischen Altrohr und Liner. Eine Verklebung des Liners mit dem Altrohr findet bei der Verwendung einer Außenfolie nicht statt.

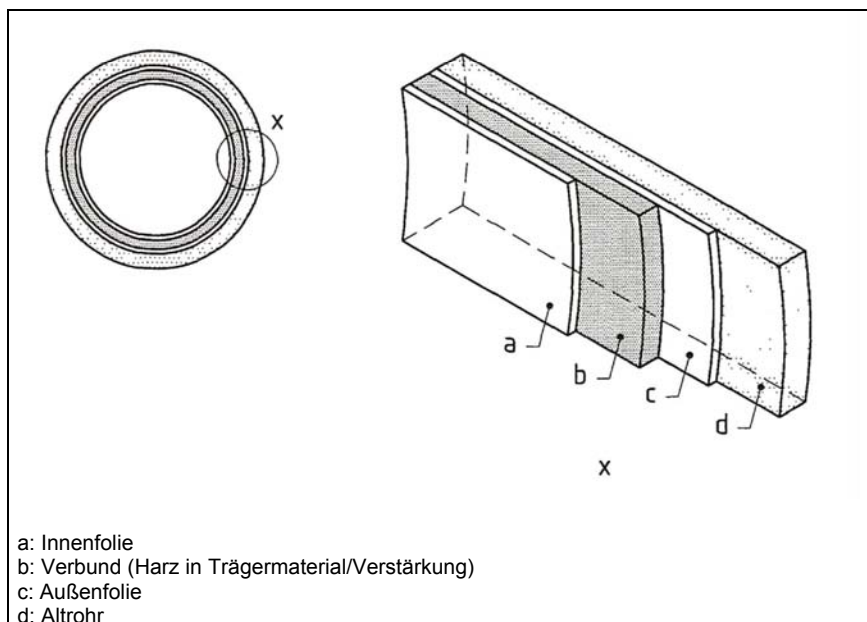


Bild 3: Schematischer Aufbau der Linerwandung [8]



Schlauchliner lassen sich lt. Herstellerangaben aufgrund ihrer Konfektionierbarkeit im Nennweitenbereich von DN 100 bis DN 2000 nahezu an alle Profilquerschnitte anpassen [10]. Innerhalb der Technikfamilie der Schlauchliner gibt es Unterschiede bei den verwendeten **Materialien** (Harzsystem, Trägermaterial/Verstärkung, Innen- und Außenfolie) und der **Einbaumethoden** (Einbringen und Aufstellen im Altrohr).

Tabelle 1: Klassifikation von Schlauchlinern nach Werkstoff und Einbaumethode [8, 11]

Werkstoff	Linerbestandteil	Material
	Harztyp	Ungesättigtes Polyester(UP)-Harz, Vinylester(VE)-Harz und Epoxidharz
	Füllstofftyp	ohne Füllstoff, organisch oder anorganisch, z.B. Quarzsand
	Härtungssystem	UP-Harz Kalthärtung mit Peroxidhärter und Kobaltbeschleuniger Warmhärtung mit Peroxidhärter und 60° – 90° C Wärme Lichthärtung mit Lichtsensibilisatoren oder in Kombination mit Wärme
	Trägermaterial/ Verstärkung	Epoxid-Harz Kalthärtung mit Polyaminen und Polyamidoaminen Warmhärtung mit Aminen, Anhydriden und > 80° C Wärme korrosionsbeständige Synthese-/Polymerfasern: PA (Polyamide), PAN (Acrylnitril-Polymerisate), PET (Polyethylenterephthalate), PP (Polypropylen), von den Synthesefasern geht keine festigkeitserhöhende oder versteifende Wirkung aus  korrosionsbeständige Glasfasern: E-CR-Glas, z.B. Advantex, nach 5.2 der prEN 14364  Kombinationen aus Synthese- und Glasfasern (Sandwich-Schlauch)
	Folien	Innenfolie, Außenfolie (keine Einschränkung zur Werkstoffauswahl)
Einbau	Methode	Beschreibung
	Einziehen	Der flach imprägnierte Liner wird zuerst in das zu renovierende Rohr eingezogen und danach mit Luft- oder Wasserdruck aufgeweitet, um ihn aufzustellen und an die Altrohrwandung zu pressen.
	Inversion	Der imprägnierte Liner wird mittels Wasser- Luft- oder Dampfdruck im Umstülperverfahren eingeführt.

Bis heute sind von den verschiedensten Firmen unterschiedliche Schlauchlining-Systeme entwickelt worden (vgl. [12]).

### 2.1.1 Harze und Zuschlagstoffe

Die beim Schlauchlining verwendeten Harze werden in den Bereich der Duromere eingestuft, da sie aus engmaschig vernetzten Makromolekülen bestehen. Sie gelten als unlöslich, schwach quellbar und chemisch sehr widerstandsfähig. Dies sind Grundvoraussetzungen für die Einsetzbarkeit von Harzsystemen im Bereich der Ka-



nalsanierung. Das ausgehärtete Harz beeinflusst entscheidend das Verformungsverhalten und die Tragfähigkeit von Schlauchlinern.

Für Schlauchlinersanierungen wurden bisher UP-Harze am häufigsten verwendet. Mit deutlichem Abstand folgen EP-Harze. Seltener, aber insbesondere bei hohen chemischen und thermischen Anforderungen werden VE-Harze zur Sanierung eingesetzt.

Tabelle 2: Übersicht über die verschiedenen Schlauchliner-Harze

Harz	Herstellung	Eigenschaften
EP-Harze (Epoxid)	Epoxidharze werden aus Polyphenolen und Epichlorhydrin als flüssige bis feste Stoffe hergestellt. Bei den festen Stoffen ist Reaktivlösemittel einzusetzen.	Chemisch sehr beständig, hohe mechanische Festigkeit, insbesondere hohe Härte, Schlagzähigkeit, Abriebfestigkeit und Haftung.
UP-Harze (ungesättigte Polyester)	Ein UP-Harz wird aus mindestens einer Disäure und mindestens einem Glykol hergestellt. Da das entstehende Polyesterharz zähflüssig ist, muss Reaktivlösemittel hinzugegeben werden.	Die Eigenschaften sind abhängig von den Glykolen und Säuren, die verwendet werden. Die DIN 18820 Teil 1 teilt die verschiedenen Harze in Gruppen mit definierten Eigenschaften ein.
VE-Harze (Vinyl-Ester)	Enge Verwandte der UP-Harze	Spezialharze mit hochwertigen chemischen, thermischen und mechanischen Eigenschaften.
PU-Harze (Polyurethan)	Auf Basis kalthärtender PUR-Systeme wurden neueste Entwicklungen auf dem Sanierungsmarkt vorgestellt.	Die mechanischen und thermischen Eigenschaften sowie die chemische Tauglichkeit ist in jedem Einzelfall nachzuweisen.
Wasserglasmodifizierte Reaktionsharze		Es liegen noch keine allgemein gültigen Prüfergebnisse und Nachweise über die materialspezifischen Eigenschaften, das Langzeitverhalten unter Abwasserbetrieb und die Feuchtigkeitsempfindlichkeit vor.

### 2.1.2 Trägermaterial

Die Trägermaterialien werden zu Schläuchen verarbeitet und bilden nach der Tränkung mit dem jeweiligen Harzsystem das komplette Schlauchsystem. Sie lassen sich im wesentlichen in zwei Gruppen einteilen: Synthefaser (Nadelfilz) und Glasfasergewebe (z.B. korrosionsbeständiges E-CR-Glas). In einigen Fällen kommen auch Kombinationen aus den beiden vorgenannten Systemen zur Ausführung (Tabelle 3). Vor Jahren wurde auch E-Glasfasergewebe verwendet. Da festgestellt wurde, dass dieses Material nicht säurebeständig ist, wird es in der Abwasserkanalisation nur noch selten eingesetzt (vgl. [13]).

Tabelle 3: Trägermaterialien [14]

Trägermaterial	Art des Gewebes	Schlauchproduktion
Nadelfilz	Korrosionsbeständige Polyesterfasern (Synthesefasern)	Großflächige Bahnen werden stumpfstoßend oder überlappend zu Schläuchen vernäht oder verschweißt. Ein Zugverstärkungsfaden schützt den Schlauch vor Zugbelastung. Bei diesem Linertyp werden als Trägermaterialien ausschließlich Synthesefasern benutzt. Von den Synthesefasern geht keine festigkeitserhöhende oder versteifende Wirkung aus.
E-CR-Glas	Korrosionsbeständiges Glasfasergewebe mit erhöhter Säurebeständigkeit	Glasfasergewebe oder Glaswirrfaser wird zu einem durchgehenden Schlauch gefertigt oder überlappend lagenversetzt angeordnet, damit ein nahtloser Schlauch entsteht. Im Verbund wirkt die Glasfaser festigkeitserhöhend.
Kombination von Nadelfilz und E-CR-Glas	Sandwich – Schläuche	In den Zonen, wo hohe Steifigkeiten, Festigkeiten o.ä. gefordert sind, bedient man sich entsprechender Materialien. Wo das nicht gefordert ist, verwendet man robustes Material ohne entsprechende Steifigkeiten.

Die Trägermaterialien müssen mit dem Harz möglichst vollständig durchtränkt werden (Imprägnierung). Nach dem Aushärten geht von den *Synthesefasern* keine festigkeitserhöhende oder versteifende Wirkung aus. Demgegenüber wirkt das *Glasfasergewebe* im Verbund festigkeitserhöhend. Der Einfluss der Trägermaterialien bzw. des Wandaufbaus auf die mechanischen Eigenschaften lässt sich anhand von Literaturangaben zu Materialkennwerten von verschiedenen Linertypen verdeutlichen (Tabelle 4). Danach ist der zu erwartende Biege-E-Modul von Schlauchlinern mit einem Wandaufbau aus Glasfasergewebe ca. viermal höher als der aus Synthesefasern.

Tabelle 4: Biegefestigkeit und Biege-E-Modul in Abhängigkeit von Material und Wandaufbau, nach [15]

Wandaufbau	Harzmatrix	Füllstoff	Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Biege-E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]
Synthesefaser	UP-Harz	anorganisch	35 – 65	2.800 – 3.500
Synthesefaser	VE-Harz	anorganisch	30 – 45	2.200 – 3.000
Synthesefaser	EP-Harz	kein	> 250	2.500 – 3.000
Textilglaskomplex	UP-Harz	anorganisch	~ 250	10.000 – 14.000
Textilglaskomplex	VE-Harz	anorganisch	~ 250	10.000 – 12.500
Textilglas – Mischlaminat	UP-Harz	kein	~ 200	12.000 – 15.000
Textilglas – Mischlaminat	VE-Harz	kein	~ 200	12.000 – 13.000

### 2.1.3 Einbauverfahren

Die werksseitig harz imprägnierten Schläuche werden je nach Aushärteverfahren entweder in Kühlbehältern oder lichtundurchlässig verpackt auf die Baustelle geliefert. Die warmhärtenden Systeme sind mehrere Tage lang, die lighthärtenden Systeme nach Herstellerangaben sogar bis zu sechs Monaten ohne Qualitätseinbuße lagerstabil. Der Einbau der Schläuche erfolgt nach drei Verfahren [12]:

- Inversionsverfahren:** Charakteristisch an diesem Verfahren ist, dass der Schlauch mit Luft oder Wasser in den Kanal invertiert wird.
- Einziehverfahren:** Der Einzug des Schlauches erfolgt bei diesem Verfahren über Seilwinden und das Aufstellen des Schlauches über Luft- oder Wasserdruck.
- Einzieh-/Inversionsverfahren:** Einzug des Hauptschlauches über Seilwinden und nachfolgende Inversion des Kalibrierschlauches zum Aufstellen mittels Wasserdruck.

### 2.1.4 Aushärtungsverfahren

Die Aushärtung des Harzes wird – mit Ausnahme der Epoxidharze - durch unterschiedliche Initiatoren ausgelöst. Man unterscheidet Aushärtungsverfahren mit thermischen Initiatoren und Fotoinitiatoren. Die thermischen Initiatoren sind für die Härtung mit Dampf oder warmem Wasser erforderlich – man verwendet heute meist Kombinationen aus einem Tieftemperatur- und einem Hochtemperatur-Initiator. Für die Lighthärtung werden Fotoinitiatoren eingesetzt. Man kann Liner gleichzeitig mit thermischen und mit Fotoinitiatoren ausstatten, so dass eine Härtung mit Dampf, Licht oder warmem Wasser möglich ist. Alle Initiatoren erzeugen sog. freie Radikale, die nach Verbrauch des Inhibitors zur Vernetzung des Harzes durch radikalische Polymerisation führen. Diese Reaktion ist die Härtung [16].

Tabelle 5: Übersicht über die verschiedenen Aushärtungsverfahren, Beispiel UP- bzw. VE-Harze

Verfahren	Eigenschaften
Warmhärtung	Wärme (80 bis 90°C) stößt die Aushärtung an und erhält sie aufrecht, indem die wärmeempfindlichen Peroxidverbindungen in Radikale aufgespalten werden. Durch erneutes Aufspalten lagern sich die Doppelbindungen an die Reaktionsharze an und die Mischpolymerisation oder Polyaddition kann in Gang gesetzt werden. Die Aushärtung erfolgt gleichmäßig über die Linderdicke.
Kalthärtung	Kalthärtung wird bei Polymerisationssystemen durch eine Reaktion zwischen org. Peroxiden und aromatischen Aminen initiiert. Bei Epoxid-Harzen findet Kalthärtung durch stöchiometrische Reaktion von z.B. Aminen und Epoxidharzen statt.
UV-Härtung	Die Harze enthalten Fotokatalysatoren, die unter UV-Licht reagieren und dadurch den Härtungsvorgang bewirken. Jedoch nur dort, wo die UV-Strahlen mit einer bestimmten Wellenlänge und Intensität das Linerlaminat durchdringt, kann eine komplette

	Aushärtung stattfinden. Die Härtung erfolgt von innen nach außen.
--	---

## 2.2 Qualitätssicherung

Netzbetreiber schreiben Schlauchlinersanierungen zunehmend beschränkt aus. Die Stadtentwässerung Nürnberg z.B. hat überdies einen öffentlichen Teilnahmewettbewerb für die beschränkte Vergabe durchgeführt, um die „Auswahl von geeigneten Dienstleistern/Partnern bestmöglich durchführen zu können“ [17]. Für die Dauer von zunächst 2 Jahren wird mit Dienstleistern, die ein vorgeschriebenes Anforderungsprofil erfüllen, zusammengearbeitet, um die anstehenden Sanierungsaufgaben zu lösen. Die Eignung soll durch Referenzen und ausgewiesene Qualifizierungen für bestimmte Arbeiten (Präqualifikation) nachgewiesen werden. Dabei geht es um die Absicherung der langfristigen Wirtschaftlichkeit und Lebensdauer (technische Nutzungsdauer) von Anlagen sowie um eine **Vergleichbarkeit der Qualifikation von Bewerbern**. Vor diesem Hintergrund ist eine wesentliche Frage für Auftraggeber, welche Angaben hinreichend geeignet sind, zuverlässige, leistungsfähige und fachkundige Unternehmen auszuweisen [18]. Dieses Vorgehen entspricht in besonderem Maße den Bestimmungen und Grundsätzen der Verdingungsordnung für Bauleistungen VOB Teil A [2] (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6: Hinweise aus der VOB Teil A [2]

Grundsätze der Vergabeentscheidung
Angebote der Bieter sind so auszuwählen, dass deren Eignung die für die Erfüllung der vertraglichen Verpflichtungen notwendige Sicherheit bietet. Die erforderliche Fachkunde, Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit ist ebenso nachzuweisen, wie ausreichende technische und wirtschaftliche Mittel. In die engere Wahl kommen demnach nur Angebote, die unter Berücksichtigung rationellen Baubetriebs und sparsamer Wirtschaftsführung eine einwandfreie Ausführung einschließlich Gewährleistung erwarten lassen. <b>Unter diesen Angeboten soll der Zuschlag auf das Angebot erteilt werden, das unter Berücksichtigung aller Gesichtspunkte, wie z.B. Preis, Ausführungsfrist, Betriebs- und Folgekosten, Gestaltung, Rentabilität oder technischer Wert, als das wirtschaftlichste erscheint. Der niedrigste Angebotspreis allein ist nicht entscheidend.</b>

Die Stadtentwässerung Nürnberg plant, die Baustellenerfahrungen (Baustellenablauf, Materialkennwerte etc.) systematisch zu sammeln und die gewonnenen Erfahrungen in zukünftige Anforderungsprofile einzuarbeiten. Die Anforderungen an die Eignung des Materials, die Zuverlässigkeit des Verfahrens und die Qualifikation und Leistungsfähigkeit des Unternehmens sind dann auch entsprechend der Ausschreibung zu kontrollieren und bei der Vergabeentscheidung genauso zu berücksichtigen wie der Preis.

Zur Ausarbeitung der Anforderungsprofile bieten zahlreiche Normen und Regelwerke (Tabelle 7) eine fundierte Basis.

Tabelle 7: Überblick über wesentliche Normen, Regelwerke und Merkblätter

<b>Europäische Normen</b>	
DIN EN 752, Teil 5	Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 5: Sanierung
DIN EN 13380	Allgemeine Anforderungen an Bauteile für die Renovation und die Reparatur von Abwasserleitungen und –kanälen außerhalb von Gebäuden
DIN EN 13566, Teil 1 + 4	Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen), Teil 1: Allgemeines; Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauch-Lining
<b>ATV-DVWK-Regelwerke</b>	
ATV-DVWK-M 127-2	Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserkanälen und –leitungen mit Lining- und Montageverfahren
ATV-DVWK-M 143-5	Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und –leitungen, Teil 5: Allgemeine Anforderungen an Leistungsverzeichnisse für Reliningverfahren
<b>GSTT-Informationen</b>	
Information Nr. 1	Grabenlose Verfahren der Schadensbehebung in nicht begehbaren Abwasserleitungen
<b>VSB-Empfehlungen</b>	
Empfehlung Nr. 5	Schlauchlinertechnik (drucklos) – Haltungen
<b>RSV-Merkblätter</b>	
Merkblatt RSV 1	Renovierung von drucklosen Abwasserkanälen und Rohrleitungen mit vor Ort härtendem Schlauchlining
Merkblatt RSV 7.1	Renovierung von Anschlussleitungen mit vor Ort aushärtendem Schlauchlining

Auf der Grundlage o.a. Normen haben Netzbetreiber ihre Anforderungen an Schlauchliner in den letzten Jahren sehr umfassend definiert. Der Stadtentwässerungsbetrieb Nürnberg hat bspw. seinem öffentlichen Teilnahmewettbewerb „Schlauchlining“ (2002) eindeutige Renovierungsziele vorangestellt (Tabelle 8).

Tabelle 8: Renovierungsziele und Anforderungen an Schlauchliner in Anlehnung an [17]

<b>Tragfähigkeit</b>	<b>Dichtheit</b>	<b>Hydraulik</b>	<b>Dauerhaftigkeit</b>
Wiederherstellung der statischen Tragfähigkeit des Altkanals, wobei der Sicherheitsfaktor gegen Bauteilversagen nach 50 Jahren > 2 sein muss	Wiederherstellung der Dichtheit einschl. der Einbindungen und Anschlüsse gegen In- und Exfiltration mit einem Innen- oder Außendruck von 0,5 bar über 50 Jahre	maximal zulässige Querschnittsreduzierung des Altkanals um 6%, Faltenfreiheit und Anpassungsfähigkeit an die bestehende Altrohrgeometrie	Nutzungszeit mind. 50 Jahre, beständig gegen kommunales Abwasser, HD-Spülfestigkeit (1/a), Abriebfestigkeit, Reparaturfähigkeit (nachträglicher Hausanschluss muss möglich sein)

Um die gewünschte Qualität und das Renovierungsziel möglichst für jede einzelne Baumaßnahme sicherzustellen, erarbeiteten einzelne Netzbetreiber (z.B. [17], [19])

bereits detaillierte Anforderungskataloge für Anbieter von Schlauchlinern. Darin sind Anforderungen an das Material, die Ausführung und die Überwachung festgelegt (Tabelle 9).

Tabelle 9: Betreiberanforderungen an Schlauchliner-Renovierungen, in Anlehnung an [17]

<b>Zulassungsvoraussetzungen</b>		
Unternehmensdaten	Fachkunde, Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit nachweisen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zertifizierung DIN EN ISO 9000 ff.</li> <li>• Fachbetrieb nach WHG §19 I</li> <li>• Gütezeichen RAL-GZ 961 Gruppe S</li> </ul>
Verfahren	Referenzen, Zulassungen, Mitarbeiterqualifikationen, Arbeits- und Gesundheitsschutz, Bauartzulassungen Hausanschlusssanierungsverfahren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verfahrenshandbuch</li> <li>• Baustellendokumentation</li> <li>• Referenzliste</li> <li>• vorzugsweise werkseitige Tränkung</li> <li>• Winde mit regelbarer Zugbegrenzung</li> </ul>
Materialien	Materialprüfergebnisse aus Eignungs- und Erstprüfungen bzw. Eigen- und Fremdüberwachung zur Tragfähigkeit, Dichtheit, Beständigkeit und Umweltverträglichkeit bzw. Entsorgungseigenschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trägermaterial, Verstärkungen, Härtingssystem, Folien</li> <li>• Abwasserbeständig, zugelassen nach EN 1636-1, o. DIN ISO 2076</li> <li>• UP-Harze mind. Harzgruppe 3</li> <li>• VE-Harze mind. Harzgruppe 4 u. 5</li> <li>• EP-Harze Abwasserbeständigkeit nachweisen (pH-Wert 1-10, bis 50°C)</li> <li>• zugelassene Füllstoffe und Folien</li> </ul>
<b>Ablauforganisation Baumaßnahme</b>		
Arbeitsvorbereitung	Zuständigen Bauleiter benennen, Einweisungsprotokoll bestätigen, Einholen von Genehmigungen, AN muß zu renovierende Haltungen und Schächte inspizieren, statischer Nachweis Baustellensicherungs- und Zeitplan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkehrssicherung, Absperrungen</li> <li>• Wasserhaltung, zusätzl. Tiefbau</li> <li>• BE, Versorgungseinrichtungen</li> <li>• Festlegung Mat.-Probenentnahme</li> <li>• verbindliche Angabe des AN zu den Sollwerten der Materialkennwerte</li> <li>• Statik, Randbedingungen beachten</li> </ul>
Installation Liner	Baustellenfreigabe, Reinigung, Inspektion, Baustellendokumentation, Eigen- und Fremdüberwachung, Abnahmeprüfungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dokumentation der Prozessparameter (Temperatur, Druck, Lichtstärke, Ziehkraft und –geschwindigkeit etc.)</li> <li>• Einmessung und Öffnen der Anschlüsse, Vorflutsicherung</li> </ul>
<b>Sicherstellung von Renovierungszielen</b>		
Qualitätsprüfungen	Dichtheit, Tragfähigkeit, Beständigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• haltungsweise Dichtheitsprüfung, optische Prüfung,</li> <li>• repräsentative Materialproben</li> </ul>

Bereits mit der Abgabe des Angebotes sind vom Bieter neben den Zulassungsvoraussetzungen für die verwendeten Materialien auch die Qualifikation seines Unternehmens und der Mitarbeiter nachzuweisen. Die wesentlichen Vereinbarungen zur Ablauforganisation (Bauzeitenplan, Sicherungsplan, Vorflutsicherung etc.) und den Verantwortlichkeiten im Rahmen der Durchführung der Baumaßnahme sind festzulegen.



Darüber hinaus wird die Überwachung, Dokumentation und Bewertung des Renovierungsergebnisses, insbesondere durch Kontrollen und Prüfungen und unter Beachtung des organisatorischen Ablaufs, gefordert. Der Umfang und die Häufigkeit der Eigen- und Fremdüberwachung für die Herstellung, Eignungsprüfung und Baustellenbeprobung können eindeutig in den ZTV (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen) beschrieben werden.

Zur Ermittlung und Überprüfung der technischen Eigenschaften eines Schlauchlinersystems werden Eignungs- bzw. Typprüfungen und wiederholte Überwachungsprüfungen durchgeführt. Die anzuwendenden Prüfstandards sind in den letzten Jahren umfassend normiert worden und haben Eingang in die Qualitätssicherungspläne zahlreicher Netzbetreiber (z.B. Nürnberg [17], Göttingen [19]) gefunden.

In fest umrissenen Maßnahmenkatalogen haben diese Zeitpunkt und Häufigkeit von qualitätsbestimmenden Prüfungen zusammengefasst. Eine Grundlage dafür bietet bspw. der Rohrleitungssanierungsverband RSV mit seiner Zusammenstellung von genormten Prüfungen für Eignungsnachweise und Baustellenbeprobungen (vgl. Tabelle 10).

Tabelle 10: Übersicht über Eignungsprüfungen und Baustellenbeprobungen, in Anlehnung an [20]

a) Erstprüfungen/Eignungsprüfung

Prüfungen	Ergebnis
Langzeitscheiteldruckversuch nach DIN 53769 T. 3 [21]	Langzeit-E-Modul, Kurzzeit-E-Modul Kurzzeit- und Langzeit-Bruchspannung Dehnungsgrenze, Istwandstärke
3-Pkt. Biegeversuch nach DIN EN ISO 178 [22]	E-Modul
Druckfestigkeit nach DIN EN ISO 604 [23]	Druckfestigkeit
Ringspalt in Bezug auf Linerradius	Ringspalt
Zeitstandsversuche nach DIN EN 761 (Langzeitwerte) [24]	Langzeit E-Modul
Längszugfestigkeit nach DIN EN ISO 527-4 [25]	Längszugfestigkeit
Dichtheitsprüfung in Anlehnung an DIN EN 1610 [26]	Dichtheit einer Linerprobe
Hochdruckspülfestigkeit nach dem Hamburger Modell [20]	Hochdruck-Spülbeständigkeit
Abriebfestigkeit nach DIN 19565-1 [27]	Abriebfestigkeit
Anfangskriechneigung nach DIN EN ISO 899-2 [28]	Anfangskriechneigung
Wasseraufnahme nach DIN EN ISO 62 [29]	Wasseraufnahme
Chemische Beständigkeit nach DIN EN ISO 175 [30]	Chemische Beständigkeit
Spezifische Dichte nach DIN 53479 [31]	Dichte
Glasgehalt/Feststoffgehalt nach DIN EN ISO 1172 [32]	Feststoffgehalt
Max. Reststyrolgehalt nach Aushärtung	Reststyrolgehalt
Aushärtungsgrad durch DSC-Analyse	Aushärtungsgrad
Bestimmung des Glastyps	Glastyp
Spektralanalyse	Harztyp
Produktbeschreibung	Identifikationsprüfung nach Harzsystem (Harztyp, Füllstofftyp, Härtungssystem), Trägermaterial, Verstärkung und der inneren Membrane

## b) Baustellenprüfungen

Prüfungen	Ergebnis
Wandstärkenermittlung	Wandstärke
Scheiteldruckversuche nach DIN 53769 T. 3 [21]	E-Modul
3- Pkt. Biegeversuch nach DIN EN ISO 178 [22]	E-Modul
Druckfestigkeit nach DIN EN 604 [23]	Druckfestigkeit
Langzeit 3 Pkt. Biegeversuch	Langzeitabminderungsfaktor
Dichtheitsprüfung nach DIN EN 1610 [26]	Dichtheit
Prüfung der Wasserdurchlässigkeit in Anlehnung an DIN EN 1610 [26]	Dichtheit einer Linerprobe
TV- Abnahmeuntersuchung nach ATV-DVWK M 143 T. 2 [33] & ATV-DVWK A 140 [34]	Optische Inspektion
Spezifische Dichte	Dichte
Prüfung des Reststyrolgehaltes	Reststyrolgehalt
Aushärtungsgrad durch DSC-Analyse	Aushärtungsgrad
Bestimmung des Glasgehaltes-/Füllstoffanteil	Glasgehaltes-/Füllstoffanteil
Bestimmung des Glastyps	Glastyp
Spektralanalyse	Harztyp
Lieferscheinkontrolle	Identifikationsprüfung nach Harzsystem (Harztyp, Füllstofftyp, Härtungssystem), Trägermaterial, Verstärkung und der inneren Membrane

## 2.3 Lebensdauer und Abschreibung

Mit der Sanierung eines Bauwerkes wird in der Regel eine Zustands-Änderung angestrebt, bei der z.B. Mängel oder Schäden im bisherigen Netz beseitigt werden. Die dabei zu erwartenden Kosten stellen für Netzbetreiber eine zentrale Entscheidungsgröße dar. Um die langfristige Wirtschaftlichkeit einer Sanierung auch vor dem Hintergrund der momentanen Liquiditäts- bzw. Haushaltslage bewerten zu können, sind Kenntnisse der zu erwartenden Lebens- bzw. Nutzungsdauer der sanierten Haltungen von entscheidender Bedeutung. Diese sind Grundlage für die Berechnung der jährlichen Abschreibungskosten von Sanierungsmaßnahmen und haben damit auch maßgeblichen Einfluss auf die Festlegung der Abwassergebühren bzw. Wertermittlung des Kanalnetzes. Darüber hinaus können mit Hilfe von möglichst genau abgeschätzten Lebens- bzw. Nutzungsdauern Kostenvergleiche zwischen alternativ anwendbaren Verfahren auf der einheitlichen Basis von Jahreskosten durchgeführt werden.

Im Rahmen der Projektbewertung wird dabei häufig auf das durch die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für die Praxis verfügbar gemachte Planungs- und Entscheidungsinstrument der Kostenvergleichsrechnung zurückgegriffen (vgl. [5]). Zentrale Größe für die Berechnung ist die sog. **durchschnittliche Nutzungsdauer der betrachteten Anlage**.

Konkrete Hinweise zur Abschätzung dieser Nutzungsdauer finden sich in [5], allerdings nur als sehr grobe Angaben, z.B. mit 50 - 80 Jahren für Kanäle und 50 Jahren für Kanalisationsschächte. Zur Nutzungsdauer von Kanalsanierungsverfahren (Repa-

ratur, Renovierung) werden dort keine Angaben gemacht. Auch bleibt unklar, ob es sich bei der Nutzungsdauer, um einen betriebswirtschaftlich sinnvollen oder technisch möglichen Wert handelt.

Darüber hinaus kann zwischen Lebens- bzw. Nutzungsdauerdefinitionen unter betriebswirtschaftlichen, steuerlichen, technischen, gebühren- und projektbezogenen Gesichtspunkten unterschieden werden (vgl. Tabelle 11). Denn je nach Sichtweise bzw. Anwendungsfall werden in den Entscheidungsprozessen *verschiedene* Lebens- bzw. Nutzungsdauern für die sanierten Kanalbauwerke angesetzt.

Tabelle 11: Lebensdauerdefinitionen

<b>Betriebswirtschaftliche Planung (Kalkulatorische Abschreibung)</b>
In der Kosten- und Leistungsrechnung werden Kosten für interne und externe Leistungen, die im Rahmen von Investitionsmaßnahmen anfallen, über die betriebswirtschaftlich sinnvolle Nutzungsdauer abgeschrieben, d.h. durch kalkulatorische Abschreibungen dargestellt. Als betriebswirtschaftlich sinnvoll gilt die Begrenzung der Nutzungsdauer dann, wenn die in zukünftigen Betriebszyklen zu erwartenden Unterhaltungskosten und kalkulatorischen Abschreibungen die Kosten bei Reinvestition durch Neubau oder Sanierung übersteigen.
<b>Gebührenberechnung</b>
In Abhängigkeit der für die Gebührenberechnung maßgebenden Rechtslage sind Nutzungsdauern festzulegen, die in Verbindung mit den Anschaffungs- bzw. Wiederbeschaffungskosten der Anlagen die Gebührenehöhe mitbestimmen. Im Allgemeinen entsprechen diese Nutzungsdauern den betriebswirtschaftlich gewählten, für die kalkulatorischen Abschreibungen maßgebenden Nutzungsdauern (s.o.) bzw. sind auf diese abzustimmen.
<b>Kaufmännisch/Steuerliche Bewertung (HGB-/Steuerliche Abschreibung)</b>
Sofern der Betrieb über ein kaufmännisches Rechnungswesen verfügt, nach HGB bilanziert und ggf. auch steuerpflichtig ist, werden die Abschreibungen entsprechend den nach HGB bzw. Steuerrecht möglichen Abschreibungssätzen aus kaufmännisch-strategischer Sicht festgelegt. Diese Entscheidung kann damit - in engen Grenzen - auch losgelöst von den technischen Randbedingungen erfolgen.
<b>Technische Planung (Lebensdauer = maximale Nutzungsdauer)</b>
Im Rahmen der technischen Planung, z.B. Instandhaltungsplanung und Ersatzteilbevorratung, ist von Interesse, welche Lebensdauer (maximale Nutzungsdauer) von einem Bauwerk allein durch Fortführung und ggf. Intensivierung von Unterhaltungsmaßnahmen technisch zu erreichen ist. In [35] wird bspw. vorgeschlagen, die Länge der Nutzungsdauer von Schlauchlinern verfahrensunabhängig und ohne Einschränkung auf 50 Jahre festzulegen, wenn ein lückenloses Qualitätsmanagement im Rahmen einer Eigen- und Fremdüberwachung durchgeführt wird.
<b>Projektbewertung (LAWA)</b>
Im Rahmen der Projektbewertung kann auf das durch die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für die Praxis verfügbar gemachte Planungs- und Entscheidungsinstrument der Kostenvergleichsrechnung zurückgegriffen werden (vgl. [5]). Von besonderer Bedeutung sind dabei die zu verschiedenen Zeitpunkten anfallenden Kosten und deren Vergleich über eine Jahreskosten- bzw. Barwertbetrachtung. Zentrale Größe für die Berechnung ist die sog. <b>durchschnittliche Nutzungsdauer der betrachteten Anlage</b> . Konkrete Hinweise zur Abschätzung dieser Nutzungsdauer finden sich in [5] allerdings nur als sehr grobe Angaben, z.B. mit 50 - 80 Jahren für Kanäle und 50 Jahren für Kanalisationsschächte.

Im Bild 4 ist der gesamte Lebenszyklus eines Bauwerkes nach Bau bzw. Sanierung schematisch dargestellt.

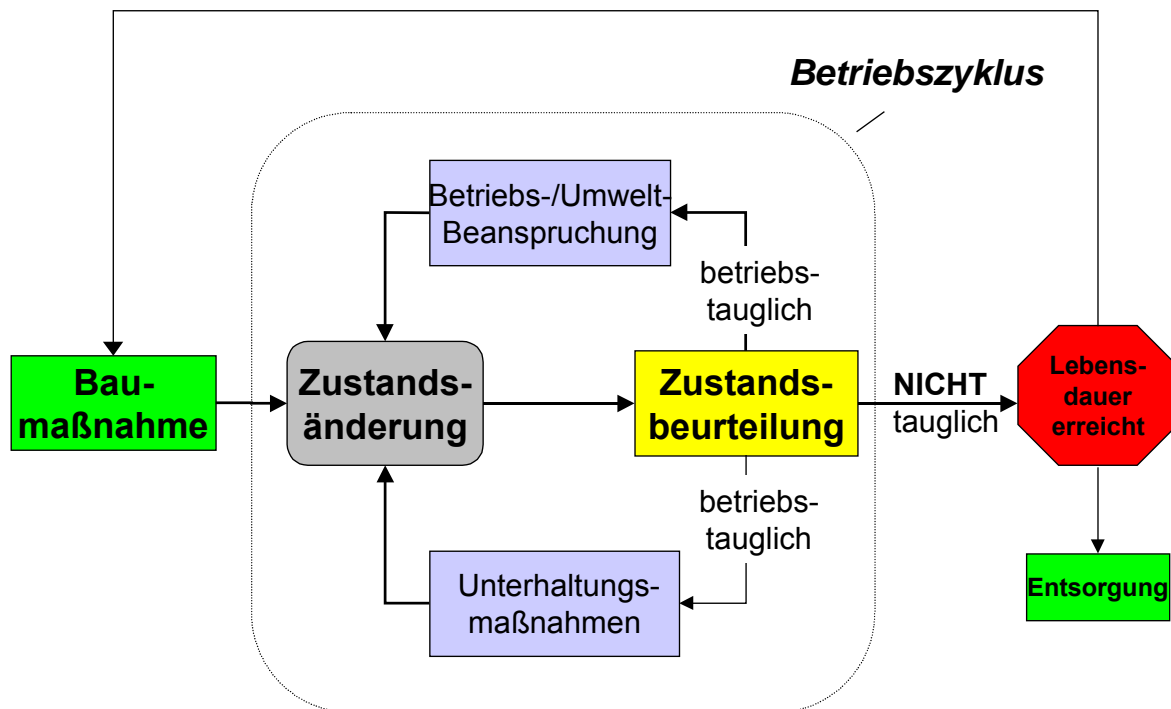


Bild 4: Lebenszyklus eines Bauwerkes bzw. einer Sanierung

Die Lebensdauer einer Sanierung startet mit dem Zeitpunkt der Errichtung bzw. der Baustelleneinrichtung. Die zuvor stattfindende Planungs- und Ausschreibungsphase bis hin zur Arbeitsvorbereitung hat jedoch bereits einen wesentlichen Einfluss auf die spätere Lebensdauer. Die Qualitätseigenschaften, die die Lebensdauer mitbestimmen, werden durch die Auswahl von Materialien und Methoden der Verarbeitung bereits entscheidend geprägt. Bei größeren Sanierungsobjekten werden auch die Planungskosten dem späteren Bauwerk zugeordnet.

Nach Fertigstellung der Baumaßnahme unterliegt die Sanierung einem Betriebszyklus (Bild 4). Dieser umfasst die für das Bauwerk geleisteten Unterhaltungsmaßnahmen (HD-Spülung, Wartung, Inspektion u.a.) mit den damit verbundenen Kosten sowie die das Bauwerk beanspruchenden Betriebs- und Umweltbelastungen (vgl. Tabelle 12). Das Kanalnetz wird in regelmäßigen Abständen, die von den rechtlichen Vorgaben und der gewählten Betriebs-, Inspektions- und Instandhaltungs-Strategie abhängen, einer Zustandsbeurteilung unterzogen.

Tabelle 12: Betriebs- und Umwelteinflüsse für Schlauchliner, Beispiele

Betrieb	Umwelt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kanalreinigung</li> <li>• Wurzelfräse/Kettenschleuder</li> <li>• Sedimenttransport</li> <li>• Alterungsprozesse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bauliche Randbedingungen (Zugänglichkeit, Vorflutsicherung, etc.)</li> <li>• Erd- und Verkehrslasten, Außenwasserdruck, Zwängungen</li> <li>• Medienkontakt (biologische, chemische und physikalische Beanspruchung)</li> <li>• Temperatur (wechselnd kalt/warm)</li> </ul>

Auf Basis der Zustandsbeurteilung ist zu entscheiden, ob sich der Kanal überhaupt noch in einem technisch akzeptablen Zustand befindet, d.h. im Rahmen der normalen Unterhaltungsmaßnahmen im betriebsfähigen Zustand gehalten werden kann. Auch ist zu prüfen, ob aus betriebswirtschaftlicher Sicht die zukünftig zu erwartenden Unterhaltungsmaßnahmen in Verbindung mit dem Restwert des Kanals noch eine wirtschaftlich sinnvolle Alternative zur Erneuerung oder evtl. auch „Sanierung der Sanierung“ darstellen.

Ist ein weiterer Betrieb des Bauwerkes aus technischer oder betriebswirtschaftlicher Sicht nicht mehr zu verantworten, so ist die technische Lebensdauer bzw. betriebswirtschaftliche Nutzungsdauer erreicht. Schließlich ist die Entsorgung des Bauwerkes sicherzustellen. Die Kosten hängen dabei in hohem Maße von dem gewählten Entsorgungsweg ab. So ist die Verwertung des Altkanals im Rahmen einer Sanierungsmaßnahme ebenso denkbar, wie die Stilllegung des Objektes bei Neubau an anderer Stelle oder auch der vollständige Ausbau des Altbauwerkes bei Entsorgung der anfallenden Reststoffe und Wiederherstellung des Bodenkörpers.

Aus den oben angeführten Zusammenhängen wird deutlich, dass allein mit Auswahl des Bau- bzw. Sanierungsverfahrens noch keine Lebens- bzw. Nutzungsdauer definiert werden kann. Es sind zahlreiche Wechselwirkungen zwischen Bau- bzw. Sanierungsmaßnahme, Umweltbedingungen, Unterhaltungsstrategien und Entsorgungskosten zu beachten. Darüber hinaus liegt insbesondere zur Lebensdauer von Schlauchlinern noch keine statistische Auswertung der bisherigen Betreibererfahrungen vor. Die IKT-Untersuchungen im Jahr 2001 (siehe Abschnitt 2.4) zeigen, dass ein Großteil der dazu benötigten Daten in der Vergangenheit bei den Netzbetreibern auch nicht vorhanden war. Bspw. wurde die zum Abnahmezeitpunkt erzielte Material- und Einbauqualität nur selten, oft unvollständig und sehr unterschiedlich dokumentiert. Wann die Lebensdauer für eine Sanierung endet, wird derzeit ebenfalls nicht einheitlich bewertet. Dies hängt wesentlich von den Prioritäten des jeweiligen Betreibers ab. Offen bleibt auch, wie die wesentlichen lebensdauerbestimmenden Einflüsse zu ermitteln sind. Hier setzen die IKT-Untersuchungen an.

## 2.4 IKT-Untersuchungen 2001

Veranlassung für das vorliegende Forschungsprojekt waren die Ergebnisse des im Jahr 2001 abgeschlossenen Forschungsprojektes „Untersuchung der Qualität ausgeführter Kanalsanierungen – am Beispiel der Schlauchverfahren“ [6]. Bereits in diesem Projekt hatten sich die Städte Bochum, Dortmund, Duisburg, Gladbeck, Mönchengladbach und Münster zusammengeschlossen, um die Qualität ihrer in der Vergangenheit ausgeführten Sanierungen zu bestimmen.

Zunächst wurden dabei optische Inspektionen, Verformungsmessungen und abschnittsweise Dichtheitsprüfungen an insgesamt 15 sanierten Haltungen der 6 beteiligten Städte durchgeführt. Nach Auswertung dieser Untersuchungen wurden stichprobenartig drei Probenentnahmen in offener Bauweise, zur Bestimmung von Materialkennwerten an den über mehrere Jahre den Betriebsbedingungen ausgesetzten Schlauchlinern, durchgeführt.

In einem ersten Schritt wurde innerhalb der Kanaldatenbanken der Netzbetreiber nach geeigneten Baumaßnahmen recherchiert. Kriterien für die Auswahl von Baumaßnahmen waren u.a. die Verfügbarkeit von Daten zum baulichen Zustand des Altkanals und zur Ausführung der Sanierung.

Ausgewählt wurden die in der Tabelle 13 dargestellten Sanierungsmaßnahmen.

Tabelle 13: Untersuchte Sanierungsmaßnahmen, IKT-Untersuchungen 2001 [6]

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

\*) Eiprofil DN 450/300

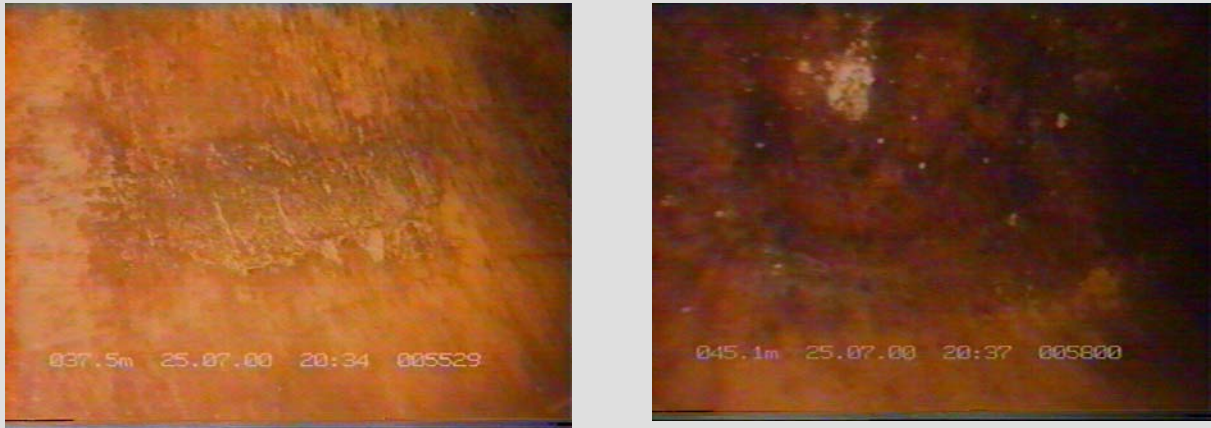
Die Aufnahme der für die untersuchten Sanierungsmaßnahmen verfügbaren Daten (Stammdaten, Schadensprotokolle, Ausschreibungsunterlagen, Abnahmeprotokolle u.a.) bei den Netzbetreibern zeigte, dass oftmals nur eine lückenhafte Dokumentation vorliegt (insbesondere statische Nachweise). Die Haltungs- und Sanierungsbeschreibungen, sowie Inspektionsdaten (u.a. Schadensbilder), die ermittelt werden konnten,



wurden in einer Datenbank erfasst. Beispielhaft wird in Tabelle 14 die Haltungsbeschreibung der Dortmunder Uranusstrasse gezeigt.

Häufig wurde in der Vergangenheit auf Qualitätsprüfungen und Baustellenproben verzichtet. Zum Teil fehlten in den Ausschreibungen auch weitergehende Anforderungen an die Ausführung und Qualität der Sanierungsmaßnahme, z.B. hinsichtlich der Umweltverträglichkeit der einzusetzenden Harzkomponenten, der Materialkennwerte und der Ausbildung der Hausanschlüsse. Auch lagen bei den Netzbetreibern kaum Protokolle zum Temperatur- und Druckverlauf der Wasserfüllung während der Aushärtung des Liners sowie hinsichtlich der angewendeten Einziehkräfte vor. Hier sind deutliche Unterschiede zu den heute geforderten Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Ausführung von Sanierungen mit Schlauchlining zu verzeichnen (vgl. ATV, GSTT, RSV, Güteschutz Kanalbau u.a.).

Tabelle 14: Auszug aus Datenbank, Dortmund, Uranusstrasse I

<b>Haltungsbeschreibung</b>
Betonrohr mit Kreisprofil; DN 500; Länge: 50,36 m
<b>Untersuchung vor der Sanierung</b>
Laut TV-Inspektion am 10.08.94: <ul style="list-style-type: none"> <li>• nicht fachgerecht eingebaute Stützen bzw. vor das Rohr gesetzte Stützen</li> <li>• fehlende Wandungsteile, teilweise mit sichtbarem Boden</li> </ul>
<b>Sanierungsbeschreibung</b>
1995 erfolgte die Sanierung dieser Haltung durch die Kanal-Müller-Gruppe nach dem KM-Inliner-Verfahren mit einem Nadelfilz-Liner. Der Schlauch wurde mit Polyesterharz getränkt und mit Wasser ausgehärtet.

<b>Untersuchung nach der Sanierung</b>
Laut Abnahmevideo vom 06.01.95 (Untersuchung in Fließrichtung) wurden Falten und Beulen am Haltungsanfang festgestellt. Weitere leichte Beulen in unregelmäßigen Abständen befanden sich in der gesamten Haltung. Eine zweite Sichtung erfolgte am 25.07.00 (Untersuchung in Fließrichtung) mit dem Ergebnis, daß keine Veränderung zum Abnahmevideo erkennbar ist und die leichten Beulen und Falten sich nicht verändert haben.



Der gegenwärtige Zustand der mit Schlauchlining sanierten Kanalhaltungen wurde auf Basis von aktuellen, im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten TV-Inspektionen und Dichtheitsprüfungen bewertet. An allen untersuchten Haltungen wurden Schäden festgestellt. Diese waren in der Regel örtlich begrenzt und ließen sich in den meisten Fällen, wie z.B. bei Faltenbildung in Längs- und Querrichtung und fehlerhafter Einbindung seitlicher Zuläufe, eindeutig auf einzelne Ausführungsfehler zurückführen.

Für acht der fünfzehn untersuchten Haltungen wurde zum Sanierungszeitpunkt ein Abnahmevideo erstellt, auf dem die Mehrzahl dieser Schäden bereits erkennbar waren. Bei dem Vergleich mit den neuen Inspektionsdaten konnten keine nennenswerten Veränderungen des Liners durch betrieblichen Einfluss festgestellt werden.

Nach Angaben der Netzbetreiber wurden bei den betrachteten Sanierungsfällen durch die ausführenden Firmen gesonderte Maßnahmen zur Einbindung der seitlichen Zuläufe oftmals nicht angeboten und dementsprechend auch nicht ausgeführt. Lediglich 26 % der seitlichen Zuläufe wurden nach dem Auffräsen z.B. mittels Mörtelverpressung mit dem Sammler verbunden. 74 % der seitlichen Zuläufe hingegen wurden nur aufgefräst (Bild 5). Die Folge sind Undichtigkeiten durch Hinterläufigkeiten im Ringspalt zwischen Linerwand und Altrohr. Die sanierten Anschlussstutzen wurden - soweit zugänglich (6 Anschlüsse) - einer Dichtheitsprüfung unterzogen. In allen untersuchten Fällen wurden die Prüfkriterien des ATV-DVWK-M 143 Teil 6 nicht erfüllt.

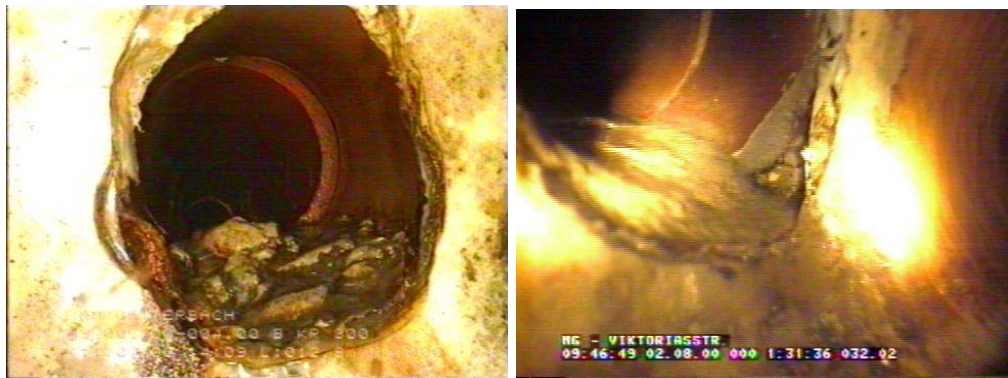


Bild 5: Schadhafte und nicht sachgerechte Einbindung der Zuläufe

Wie bei den Anschlussstellen kann es auch bei der Schachteinbindung zu Undichtigkeiten infolge von Hinterläufigkeiten im Ringspalt zwischen Linerwand und Altrohr kommen. Dies belegen zahlreiche aktuelle Inspektionsdaten.

Von zehn abschnittswisen Dichtheitsprüfungen mit Luftüberdruck in einzelnen Halungsbereichen zwischen den seitlichen Zuläufen mussten drei als nicht zufriedenstellend bezeichnet werden. In den geprüften Abschnitten wurden die Dichtheitskriterien der DIN EN 1610 nicht erfüllt. Eine erneute Dichtheitsprüfung - jedoch mit Was-

ser als Prüfmedium - ist zwar zulässig, für den beschriebenen Anwendungsfall existieren derzeit allerdings noch keine marktreifen Prüfsysteme.

Erwartungsgemäß zeigten die ältesten Sanierungsstrecken aus dem Jahre 1989 den schlechtesten Zustand. Hier wurden neben den o.a. Schäden zusätzlich Lufteinschlüsse (Lunker) und über fehlerhaft ausgeführte Schachteinbindungen eindringendes Fremdwasser festgestellt. Die vorgefundenen Schadensarten sind mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Fehler während der Bauausführung zurückzuführen. Dies bestätigt ein Vergleich der Ergebnisse der ersten TV-Inspektion aus dem Jahre 1995 mit den aktuellen Erhebungen. So konnte keine optisch feststellbare Zustandsänderung nachgewiesen werden, die allein auf betriebliche Beanspruchungen zurückzuführen wäre.

Da ähnliche Schadensbilder bei neueren Baumaßnahmen nur in deutlich geringerem Umfang beobachtet wurden, könnte von einer Verbesserung der Schlauchverfahren infolge technischer Weiterentwicklungen sowie intensiverer Qualitätssicherungsmaßnahmen ausgegangen werden.

Bei drei der fünfzehn untersuchten Haltungen wurden durch Aufgrabungen 2 m lange, sanierte Rohrabschnitte entnommen. Dabei wurden Probenkörper aus sanierten Kanälen herausgeschnitten, um u.a. die Materialeigenschaften der Altrohre und Sanierungswerkstoffe in Labor-Tests zu überprüfen.

Die drei ausgewählten Sanierungsfälle erfüllten die Dichtheitskriterien der abschnittswise Luftüberdruckprüfung. Zusätzlich wurde in diesen Fällen die Linerwand nach Anschnitt der Innenfolie im Labor untersucht. Es wurden Linerausschnitte mit Lufteinschlüssen (Lunkern), Bereichen unvollständiger Aushärtung und freiliegenden Fasern, herausgeschnitten und mit 0,5 bar Unterdruck geprüft. Durchlässigkeiten der Linerwand wurden bei keiner Prüfung beobachtet.

Um Aussagen zum statischen Tragverhalten des Liners zu gewinnen, wurden bei den o.a. drei ausgewählten Sanierungsfällen die Materialkennwerte ermittelt sowie ergänzend eine Inaugenscheinnahme und Vermessung der Proben durchgeführt.

Die ermittelten Materialkennwerte wurden mit den Ansätzen in der statischen Berechnung und ggf. mit den Ergebnissen der damals durchgeführten Werkstoffprüfungen verglichen. In einem Fall wurden die in der statischen Berechnung getroffenen Annahmen für die Materialkennwerte erheblich unterschritten. Die im statischen Nachweis geforderte Sicherheit war nicht mehr gegeben.

In einem zweiten Fall wurde eine Vorverformung des Liners von nahezu 12 % gegenüber dem ursprünglichen Rohrdurchmesser festgestellt, die in der damaligen statischen Berechnung nicht berücksichtigt worden ist. Auch hier muss davon ausgegangen werden, dass die geforderte Sicherheit nicht mehr gegeben ist.

In einem weiteren Fall wurden unter der Außenfolie des Liners zahlreiche Luft einschüsse sowie eine klebrige Oberfläche festgestellt. Nach dem Entfernen der Folie dünstete das Harz trotz des Probenalters von 11 Jahren unter starkem Lösungsmittelgeruch aus. Darüber hinaus wurden unterschiedliche Wanddicken über den Linerquerschnitt festgestellt. Dieses ist ein Hinweis dafür, dass Materialzusammensetzung und Anpressdruck nicht optimal abgestimmt waren und so der Aushärtungsvorgang gestört wurde.

### Zusammenfassung

In dem in 2001 abgeschlossenen Forschungsprojekt [6] wurden zusammenfassend folgende Sachverhalte festgestellt:

- Die Schadensintensität und -häufigkeit in den untersuchten Haltungen war aufgrund der Inspektionsergebnisse als gering einzustufen. Eine Ausnahme bildeten allerdings die Einbindungen an den Schächten und seitlichen Zuläufen. Für eine fachgerechte Einbindung der Schächte und seitlichen Zuläufe standen den beauftragten Firmen zum Zeitpunkt der Sanierung offensichtlich keine zuverlässigen Verfahren zur Verfügung, so daß die Zuläufe in den meisten Fällen lediglich aufgefräst und der Liner im Schacht bündig mit der Schachtwandung abgeschnitten wurde. Als Folge wurden im Rahmen der Inspektion Undichtigkeiten festgestellt, durch die Fremdwasser infiltrierte, Abwasser exfiltrierte und Baumwurzeln einwuchsen.
- Die abschnittswiseen Dichtheitsprüfungen an Haltungsteilstücken führten in 7 von 10 Fällen zu zufriedenstellenden Ergebnissen. Sanierte Anschlussstutzen wurden – soweit zugänglich (6 Anschlüsse) – einer Dichtheitsprüfung unterzogen. In allen untersuchten Fällen wurden die Prüfkriterien des ATV-DVWK- M 143 Teil 6 (Prüfung mit Luft) nicht erfüllt. Die Prüfergebnisse legen die Überprüfung der Dichtheit des Liners sowie der Schachteinbindung und der seitlichen Zuläufe nahe – beispielsweise im Rahmen der Gewährleistungsabnahme.
- Die jüngeren Baumaßnahmen zeigten i.d.R. eine geringere Anzahl Schadensbilder, die auf Ausführungsfehler zurückzuführen sind, d.h. Falten in Quer- und Längsrichtung sowie fehlerhafte Anschlüsse. Dies legt nahe, dass in jüngster Zeit eine Verbesserung der Schlauchverfahren infolge technischer Weiterentwicklungen sowie eine intensivere Qualitätssicherung stattgefunden haben.
- Erste Untersuchungsergebnisse an drei ausgewählten Haltungen und hier insbesondere die Werkstoff- und Systemprüfungen lassen vermuten, dass intakt aussehende, funktionsfähige und dichte Schlauchliner die in der statischen Berechnung eingesetzten Materialkennwerte u.U. nicht erreichen. Es ist nicht auszuschließen, dass die „statische“ Nutzungsdauer von Schlauchlinern dadurch erheblich verringert wird.

Zur weiteren Klärung der o.a. Sachverhalte setzte das IKT, Gelsenkirchen die Untersuchungen fort. Die Ergebnisse der weiterführenden Werkstoff- und Systemprüfungen werden nachfolgend dargestellt.

### 3 Prüfprogramm und -ergebnisse

Die Schlussfolgerung, dass „intakt aussehende, funktionsfähige Schlauchliner die in der statischen Berechnung eingesetzten Materialkennwerte u.U. nicht erreichen“ [6] (vgl. Abschnitt 2.4), waren anhand weiterer, bzw. auch weitergehender Werkstoff- und Systemprüfungen auf eine breitere Basis zu stellen. Aussagen über die Alterung bzw. aufgetretenen Materialveränderungen während des Betriebes sollten getroffen und eine Abschätzung der Nutzungsdauer von Schlauchlinern hinsichtlich ihrer statischen Tragfähigkeit unter Betriebsbedingungen unterstützt werden.

#### 3.1 Probengewinnung und Prüfumfang

Es wurden acht Proben aus in der Vergangenheit sanierten Haltungen entnommen. Die Auswahl der Probenentnahmestellen und die Ausrichtung des Untersuchungskonzeptes basierte im wesentlichen auf den Ergebnissen des vorangegangenen Forschungsprojektes „Untersuchung der Qualität ausgeführter Kanalsanierungen - am Beispiel der Schlauchverfahren“ [6] (vgl. Abschnitt 2.4).

Maßgebende Kriterien für die Auswahl der Entnahmestellen waren u.a.

- die Verfügbarkeit von Daten, die den hydraulischen, betrieblichen und baulichen Zustand des Kanals dokumentieren (Abnahmevideos, statische Berechnungen, Angaben hinsichtlich Betriebsdauer und Sanierungsverfahren),
- festgestellte, charakteristische Schadensarten auf Grundlage der ausgewerteten Inspektionsvideos,
- die Zugänglichkeit der sanierten Haltungen für die Durchführung der geplanten Untersuchungen bzw. für die Entnahme von sanierten Rohrabschnitten.

Darüber hinaus wurden im IKT drei „neue“ Schlauchliner in eigens dafür aufgebaute Rohrleitungsstrecken unter praxisnahen Verfahrensabläufen eingebaut. Hieraus wurden ebenfalls Prüfkörper gewonnen. Insgesamt wurden somit elf verschiedene Linerproben untersucht.

Tabelle 15 gibt einen Überblick hinsichtlich Ort, Baufirma und Sanierungsdatum der verschiedenen Baumaßnahmen und der Grunddaten des jeweiligen Liners, wie z.B. Härtung, Trägermaterial und das verwendete Harz sowie der Beschaffenheit der Probenkörper.

Tabelle 15: Untersuchte Haltungen

	Entnahmeort/	Ortslage	Baufirma	Schlauch- bezeichnung	Sanierungsda- tum	Härtung	Material Al- trohr/DN	Trägermaterial	Harz	Probenent- nahme	Statik vorhanden?
1	Dortmund	Uranusstr.	KMG	KM-Inliner	1995	Wasser	B 500	Nadelfilz	UP-Harz	A	Nein
2	Dortmund	Hagener Str.	Preussag	Phoenix	1994	Dampf	Stz 300	Nadelfilz	UP-Harz	A	Nein
3	Duisburg	Im Eggenkamp	Union Bau	Inpipe	1998	Dampf	B 350	Nadelfilz	EP-Harz	A	Nein
4	Gladbeck	Mittelstr.	Betowa	Flexo-Lining	1997	UV-Licht	B 400	E-CR-Glas	UP-Harz	A	Ja
5	Mönchengladbach	Karmannstr.	Insituform-Bro- chier	Insituform	1995	Wasser	Stz 300	Nadelfilz	UP-Harz	A	Ja
6	Münster	Am Getterbach	Teerbau	Inpipe	1989	UV-Licht	B 300	Glasfaser	UP-Harz	A	Nein
7	Düsseldorf	Fa. Henkel, Industrie	-	-	-	-	Stz 900	Nadelfilz	-	C	Nein
8	Hilden	Zur Verlach	Puhlmann & Hemscheidt	-	-	-	Stz 250	Nadelfilz	-	B	Nein
9	Nürnberg	Schmausenbuckstr. I	Insituform-Bro- chier	KM-Inliner	1991	Wasser	B 600	Nadelfilz	UP-Harz	C	Ja
10	Nürnberg	Schmausenbuckstr. II	Insituform-Bro- chier	KM-Inliner	1991	Wasser	B 600	Nadelfilz	UP-Harz	C	Ja
11	Versuchshaltung IKT	Strecke 1	-	-	2002	Dampf	PVC 300	Nadelfilz	EP-Harz	B	Nein
12	Versuchshaltung IKT	Strecke 2	-	-	2002	Dampf	PVC 300	Nadelfilz / GFK	EP-Harz	B	Nein
13	Versuchshaltung IKT	Strecke 3	-	-	2003	-	PVC 300	GFK	UP-Harz	B	Nein

- A Altrohr + Liner -) Informationen standen nicht zur Verfügung
- B Liner
- C Kleinproben



Neben einem vollständigen Linerrohr sollte möglichst auch das Altrohr zum Probenumfang gehören. Dadurch wird eine Beurteilung des Altrohrzustandes und des Gesamtsystems (Altrohr + Liner) ermöglicht. Darüber hinaus sind für einen Teil der Materialprüfungen, wie z.B. Scheiteldruckversuche, geschlossene Linerabschnitte Grundvoraussetzung zur Durchführung der Prüfung. Bei den Städten Dortmund und Duisburg konnten drei Liner zusammen mit dem Altrohr in offener Bauweise ausgebaut werden. In den Städten Gelsenkirchen und Hilden wurden vollständige Linerabschnitte ohne Altrohr ausgebaut.

Aus den Inspektionsdaten ergaben sich Ort und Abmessungen der Entnahme-Baugruben, die mit Hilfe eines Baggers erstellt wurden (Bild 6). Im Nahbereich des sanierten Altrohres erfolgte die Freilegung per Handschachtung. Die Rohrabschnitte wurden möglichst unversehrt aus der Kanalhaltung herausgetrennt, mit Kanthölzern gesichert und an Tragegurten mit dem Bagger aus der Baugrube gehoben. Durch den Einbau eines neuen Einzelrohres wurde die Fehlstelle in diesem Kanalabschnitt wieder geschlossen und im Inneren mit Kurzschläuchen an die sanierte Haltung angeschlossen.












Bild 6: Entnahme von Probekörpern aus in Betrieb befindlichen Haltungen, Beispiel

In drei Fällen wurden aufgrund des unverhältnismäßigen Aufwandes für die Entnahme vollständiger Rohrabschnitte lediglich Teilausschnitte entnommen.

Tabelle 16 zeigt eine Übersicht zum durchgeführten Prüfprogramm.

Tabelle 16: Versuchsprogramm, Übersicht

Versuchsprogramm/Ablauf	Prüfgrundlage	Ermittelter Kennwert	Probenanzahl	Probenform
<b>Geometrische Kennwerte</b>				
Wandaufbau Dicke	DIN EN 13566, Teil 4	Beschreibung des Wandaufbaus $s_{ges}$ [mm]	60	
<b>Werkstoffkennwerte</b>				
3-Punkt-Biegeversuche	DIN EN ISO 178	Biege-E-Modul $E_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	65	
Kurzzeit-Scheiteldruckversuch	DIN EN 1228	Anfangs-Ringsteifigkeit $S_o$ [N/mm <sup>2</sup> ]	8	
Langzeit-Scheiteldruckversuch	DIN 53769, Teil 3	E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ] Ringsteifigkeit $S_R$ [N/mm <sup>2</sup> ]	4	
Dichte	DIN 53479	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$s_{ges}$ [mm]	
<b>Betriebliche Kennwerte</b>				
Darmstädter Kipprinne	DIN 19565, Teil 1	Abrieb in [mm]	4	
Chemische Beständigkeit	DIN EN ISO 175	Veränderungen des Linermaterials	52	
Hamburger Spülversuch		Beschädigungen des Linermaterials	2	
Spülversuch im Pipe-Tester		Beschädigungen des Linermaterials	3	
<b>Dichtheit</b>				
Haltungsweise bzw. abschnittsweise Dichtheitsprüfung	DIN EN 1610	Dichtheitskriterium erfüllt / nicht erfüllt	6	
Prüfung der Wasserundurchlässigkeit	In Anlehnung an DIN EN 1610	Dichtheitskriterium erfüllt / nicht erfüllt	14	
<b>Chemische Untersuchung der Harze</b>				
Weitergehende chemische Analysen	DSC, DMA, TGR, IR	Alterungsphänomene	60	



Für die beprobten Haltungen wurden zum damaligen Sanierungszeitpunkt nur in wenigen Fällen Berechnungen nach ATV-A 127 [36] durchgeführt. Vor diesem Hintergrund wurden von der Fachhochschule Münster, Fachbereich Bauingenieurwesen, Prof. Dr.-Ing. B. Falter im Rahmen des Berichtes zur „Standicherheit von Schlauchlinern anhand von Praxisbeispielen“ [37] ergänzende statische Berechnungen durchgeführt. Dabei wurden die an den realen Proben aus dem Kanalnetz ermittelten statischen Kennwerte auch für Parameterstudien (Sensitivitätsanalysen) genutzt. So konnten die Einflüsse aus verschiedenen Einbaufehlern und Betriebsbeanspruchungen hinsichtlich ihrer Folgen für die statische Sicherheit realitätsnah gewichtet werden.

Seit dem Jahr 2000 liegt das Merkblatt ATV-DVWK-M 127-2 [38] vor. Demnach sind die folgenden Imperfektionen aus dem Altrohrzustand bzw. dem Linereinbau in der Nachweisführung zu berücksichtigen:

1. örtliche Vorverformungen in Höhe von 2 % des Linerradius, die bei Kreisquerschnitten in der Rohrsohle über ca. 40° verteilt sind,
2. Gelenkringvorverformungen in Höhe von mindestens 3 % des Linerradius, die durch Längsrissbildung des Altrohres und dadurch bedingte Verformungen des Querschnitts bedingt sind, und
3. eine Spaltbildung zwischen Liner und Altrohr, die beim Schlauchverfahren mit mindestens 0,5 % des Linerradius anzunehmen ist.

In den Berechnungen wurde der Altrohrzustand I (Altrohr allein tragfähig) angenommen, da die hier betrachteten Altrohrproben keine Längsrisse aufwiesen. Somit wurden die Mindestanforderungen nach ATV-DVWK-M 127-2 [38] bezüglich der örtlichen Vorverformung (Punkt 1) und der Spaltweite (Punkt 2) entsprechend Altrohrzustand I zugrunde gelegt (Tabelle 17). Die geometrischen Kennwerte wie Spaltweite des Ringraums, Faltenbildung, Abrieb in der Sohle usw. wurden in der Größenordnung der festgestellten Untersuchungswerte variiert.

Tabelle 17: Annahmen für die nachträglichen statischen Berechnungen

<b>Geometrische Kennwerte</b>			
1. Örtliche Vorverformung:			
- Stich:	$w_v$	=	2% des Linerradius (Mindestwert nach ATV-DVWK-M 127-2 [38])
- Lage:	in der Sohle, Öffnungswinkel:	$2\varphi_1$	= 40°
2. Spaltbildung:			
-	$w_s$	=	0,5 % des Linerradius (Mindestwert nach ATV-DVWK-M 127-2 [38])
<b>Einbau-Randbedingungen</b>			
Als realitätsnahe Ausgangssituationen für die Sensitivitätsanalyse wurden unterschiedliche Grundwasserhöhen mit $h_{w,So} = 2,0$ m bis 4,0 m über Linersohle gewählt – der Mindestwert nach ATV-DVWK-M 127-2 [38] beträgt $h_{w,So} = 1,5$ m bzw. $h_{w,So} = DN + 0,1$ m. Bei Vorliegen des Altrohrzustandes I werden nach [38] die Erd- und Verkehrslasten weiterhin vom Altrohr-Bodensystem übernommen, sie treten daher in der statischen Berechnung des Liners nicht auf.			
<b>Werkstoffkennwerte</b>			
Für die Werkstoffkennwerte werden Werte angenommen, wie sie für Schlauchliner aus Synthesefaserlaminat üblich sind (vgl. z. B. [14]):			
Kurzzeit-E-Modul	E	=	2.800 N/mm <sup>2</sup>
Langzeit-E-Modul	E	=	1.400 N/mm <sup>2</sup>
Biegezugfestigkeit	$\sigma_{bz}$	=	20 N/mm <sup>2</sup>
Druckfestigkeit	$\sigma_D$	=	25 N/mm <sup>2</sup>

### 3.2 Geometrische Kennwerte

#### 3.2.1 Wanddicke

Bedingt durch das Herstellverfahren eines Liners ergibt sich der endgültige Wert der Linerwanddicke erst nach dem Aushärten im Kanal. Aus diesem Grund ist mit größeren Schwankungen der Wanddicke zu rechnen, als dies bei im Werk hergestellten und dabei laufend z.B. durch Ultraschall kontrollierten Kunststoffrohren der Fall ist. Als Eingangswert für die statische Berechnung muss jedoch für das gewählte Linersystem eine Sollwanddicke festgelegt werden, die von den Materialeigenschaften und der zu erwartenden Beanspruchung abhängig ist. Für die untersuchten Sanierungsmaßnahmen lagen jedoch keine Angaben zu Sollwanddicken vor, so dass ein Vergleich der gemessenen Wanddicke mit einem Sollwert nicht möglich war. Die Messung der Wanddicke erfolgte je Rohrabschnitt an 16 Messpunkten (vgl. Bild 7). Die Lage der Messpunkte befindet sich in den Achtelpunkten an beiden Enden des Probestückes über den Umfang verteilt angeordnet.



Bild 7: Wanddickenverteilung über den Umfang, 16 Messpunkte

Erwartungsgemäß schwankt die Wanddicke über den Umfang und in der Längsrichtung des Rohres. Auch kann es beim Aushärteprozess zu Wanddickenüber- oder -unterschreitungen infolge zu hohem oder zu niedrigem Verdichtungsdruck kommen [39]. Im Rahmen der Auswertung der Messungen konnte keine systematische Schwankung der Wanddicke über den Umfang, z.B. eine grundsätzlich verstärkte oder verminderte Wanddicke in der Sohle, nachgewiesen werden.

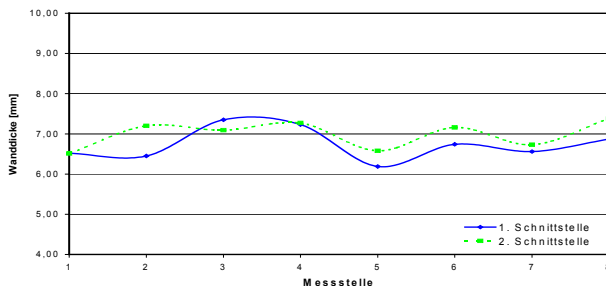


Bild 8: Wanddickenverteilung über den Umfang, Beispiel

Im Bild 9 sind die gemessenen minimalen und maximalen Wanddickenabweichungen (in Prozent), ausgehend von dem errechneten Mittelwert, dargestellt. Die Abweichungen vom Mittelwert geben dabei die erreichte Maßhaltigkeit nach Herstellung und Einbau des Schlauchliners wieder.

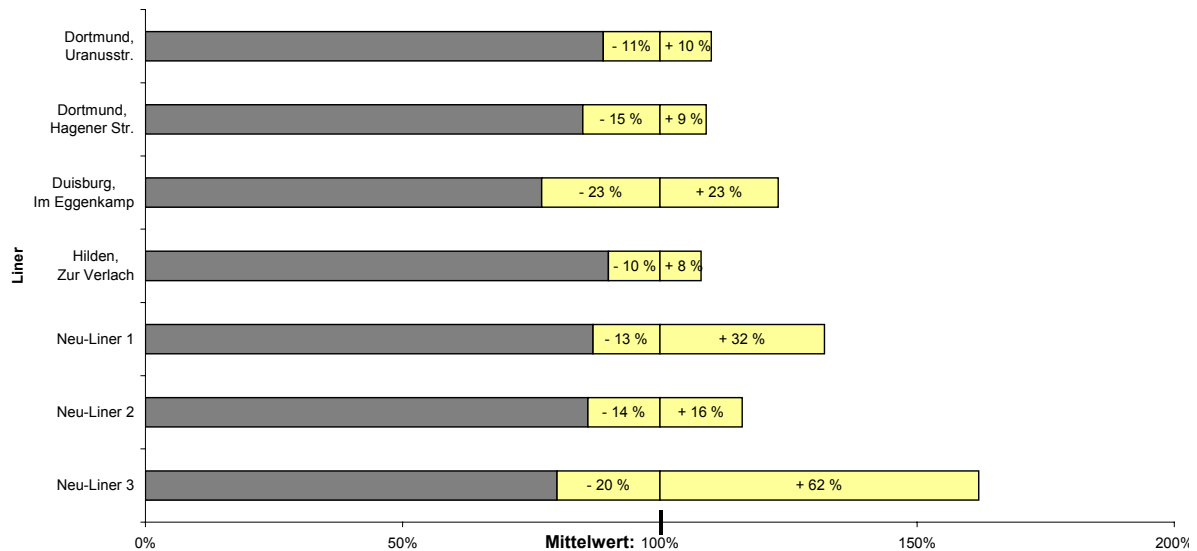


Bild 9: Wanddicke, minimale und maximale Abweichungen vom Mittelwert (100 %)

Der Schlauchliner mit der, über den Umfang betrachtet, größten Maßhaltigkeit der Wanddicke, zeigt eine Schwankungsbreite von 18 % (Bild 9, Hilden, Zur Verlach). D.h. der Unterschied zwischen der größten und kleinsten gemessenen Wanddicke beträgt über einen Millimeter (bei einer mittleren Wanddicke von ca. 7 mm). Die größte gemessene Schwankungsbreite betrug 46 % Abweichung vom Mittelwert. Dabei wurden Wanddicken zwischen 4,5 mm (Minimalwert) und 7,1 mm (Maximalwert) gemessen. Auf dem Versuchsgelände des IKT wurden auch drei „neue“ Liner von verschiedenen Herstellern in eigens erstellten Versuchshaltungen eingebaut. In DIN EN 13566 Teil 4 [8] wird dieses Vorgehen als „simulierter Einbau“ bezeichnet. Auch unter diesen Bedingungen kam es zu Abweichungen von 30 %, 45 % und 82 % von der mittleren Wanddicke.

Der Mittelwert aus den insgesamt sieben gemessenen Schwankungsbreiten beträgt 38 %. Berücksichtigt man dies bei einem Schlauchliner dessen Wanddicke i.M. 6 mm betragen soll, sind Wanddickenunterschiede von  $\pm 1,1$  mm zu erwarten. D.h. an einigen Stellen beträgt die Wanddicke des Schlauchliners u.U. deutlich weniger als 5 mm. Dabei beeinflusst die Wanddicke maßgeblich die Tragfähigkeit eines Liners. Eine einfache Betrachtung der Berechnungsformel für den E-Modul in Linerprüfungen verdeutlicht dies. Der Term für die Wanddicke (s) findet sich im Nenner in der dritten Potenz. Bereits geringe Veränderungen lassen das Ergebnis für den E-Modul erheblich schwanken.

$$s = \sqrt[3]{\frac{S_R \times r_m^3 \times 12}{E}} \quad [mm] \Rightarrow E = \frac{S_R \times r_m^3 \times 12}{s^3} \quad [N/mm^2]$$

$S_R$  = Ringsteifigkeit [N/mm<sup>2</sup>]

$r_m$  = mittlerer Radius [mm]

$s$  = Wanddicke [mm]

$E$  = E-Modul [N/mm<sup>2</sup>]

Exemplarisch für einen Schlauchliner in einem Altrohr DN 300 bei einer Sollwanddicke von 6 mm wird die Entwicklung der Ringsteifigkeit in Abhängigkeit der Wanddicke dargestellt.

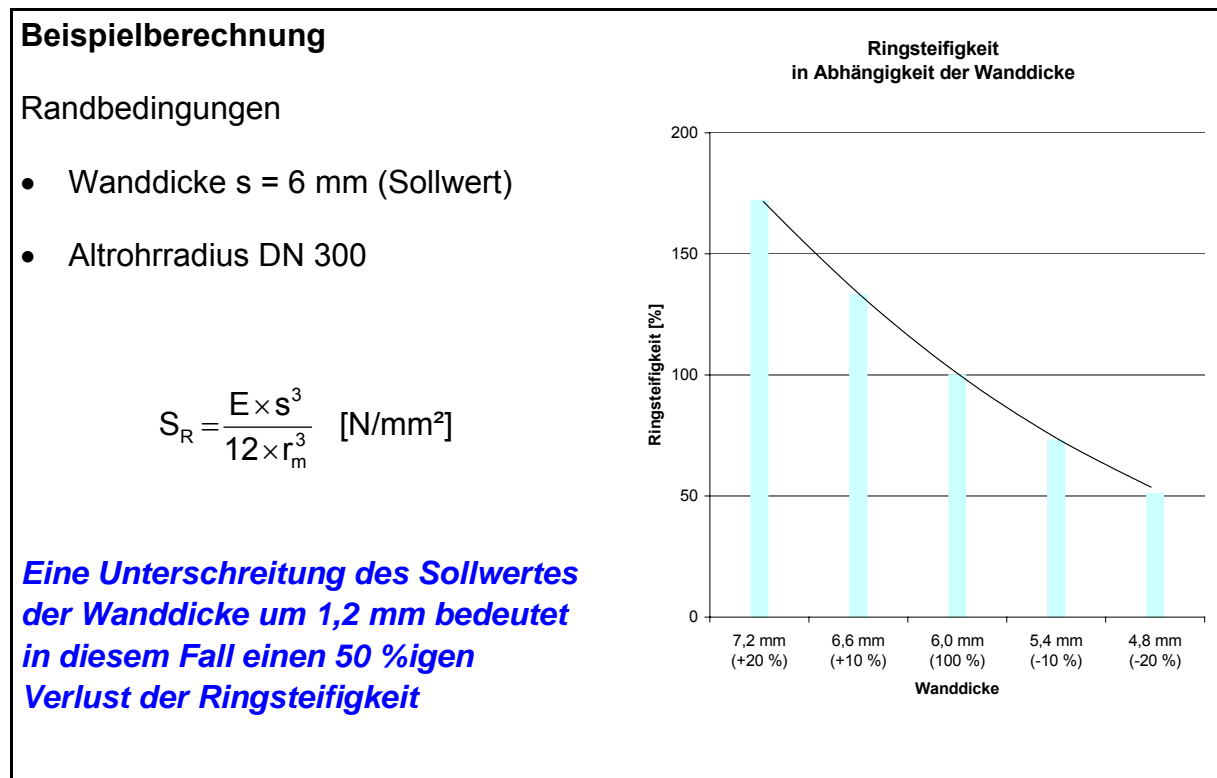


Bild 10: Beispielrechnung, Ringsteifigkeit in Abhängigkeit der Wanddicke

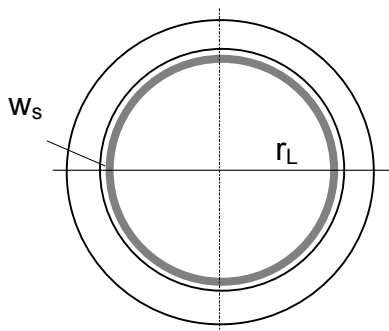
Es zeigt sich anhand dieser Ergebnisse, dass die Maßhaltigkeit der Linerwanddicke ein wesentliches Qualitätskriterium für eine sichere und wirtschaftliche Bemessung von Schlauchlinern ist und damit die Vorgabe einer Mindestwanddicke sinnvoll erscheint.

### 3.2.2 Ringspalt

Die Tragfähigkeit des Gesamtsystems wird durch eine formschlüssige Anpassung des Liners an das Altrohr erheblich verbessert. Praxiserfahrungen zeigen jedoch, dass bereits unmittelbar nach dem Einbau ein Ringspalt vorhanden sein kann. Aber auch bei einem formschlüssigen Einbau kann durch Schrumpfen des Schlauches u.U. ein Ringraum zwischen Altrohr und Liner entstehen [40]. Die Spaltbildung zwischen Liner und Altrohr ist demnach abhängig von der Altrohrgeometrie, der Verfahrenstechnik und den Werkstoffeigenschaften, bzw. der Kriech- und Schwindneigung

des Liners. In [41] wurden Messungen an fünf Jahre alten sanierten Kanälen mit Spaltweiten von über 2 mm dargestellt.

In den Richtlinien zur statischen Berechnungen wird die Spaltweite auch durch die Vorgabe von Mindestwerten berücksichtigt. Im Altrohrzustand I (Altrohr allein tragfähig) wird nach ATV-DVWK-M 127-2 [38] ein Rechenwert der Spaltweite ( $w_s$ ) von mindestens 0,5 % des Linerradius angenommen.



Nach ATV-DVWK-M 127 Teil 2 [38] ist bei Standsicherheitsnachweisen ein Mindestwert der Spaltweite von 0,5 % des Linerradius anzusetzen

$w_s$  Spaltweite  
(Angabe in % vom Linerradius)

Bild 11: Spaltweite  $w_s$

In der Praxis ist der Ringspalt an ausgeführten Sanierungen nur mit großem Aufwand zu messen [40]. Bisher ist dazu der Ausbau von Rohrabschnitten notwendig. Deswegen gibt es nur wenige wissenschaftlich abgesicherte Erfahrungen zu der Größe von Spaltweiten unmittelbar nach dem Einbau und insbesondere nach mehreren Betriebsjahren (vgl. [41]).

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes konnte eine Spaltweitenvermessung an fünf ausgebauten Altrohr-Linerproben aus drei in Betrieb stehenden Haltungen durchgeführt werden. Darüber hinaus wurde eine Linerprobe aus einem „simulierten Einbau“ auf dem IKT-Prüfgelände betrachtet. Die Spaltweiten wurden über den Umfang in den Achtelpunkten gemessen (Bild 12).



Bild 12: Vermessung der Ringspaltweiten in den Achtelpunkten



Die gemessenen Spaltweiten waren nicht systematisch über den Umfang verteilt (z.B. größter Spalt im Scheitel oder in der Sohle). Bei größeren Spaltweiten und einer ausreichenden Ausbreitung in Rohrlängsrichtung ist allerdings zu vermuten, dass der Liner in der Sohle aufliegt. Für den Schlauchliner aus der Dortmunder Uranusstraße sind die gemessenen Spaltweiten im Bild 13 exemplarisch dargestellt. Bei den untersuchten Altrohr-Linerproben war teilweise auch nach dem Zuschneiden auf eine Länge von 30 cm eine Verspannung des Liners im Altrohr gegeben. So ist es zu erklären, dass über den Querschnitt verteilt ohne Ausnahme an allen Messstellen Spaltweiten gemessen wurden.

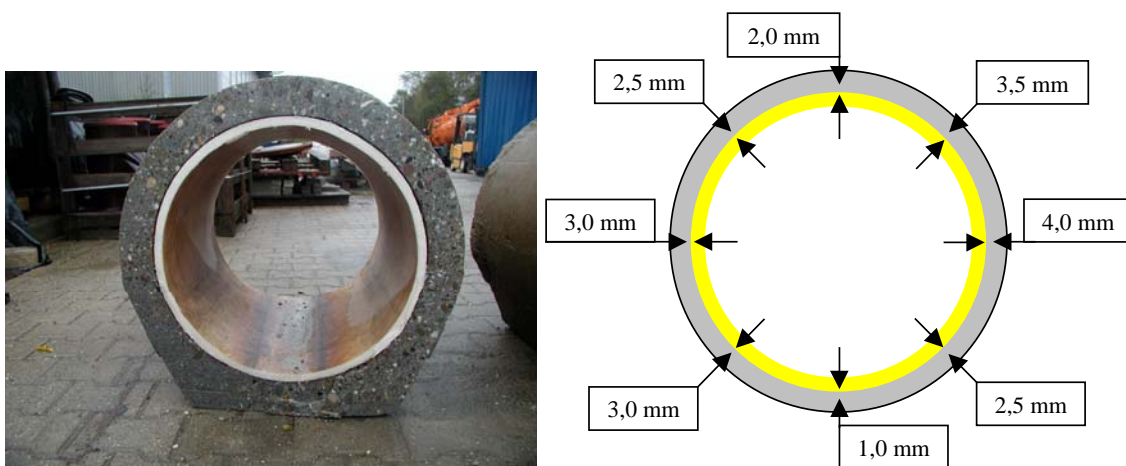


Bild 13: Messwerte über den Umfang verteilt bei der Probe Dortmund, Uranusstrasse

Einen optischen Eindruck der gemessenen Spaltweiten, im Vergleich zu dem in statischen Berechnungen mindestens angenommenen Rechenwert von 0,5 % des Linerradius, gibt Bild 14.

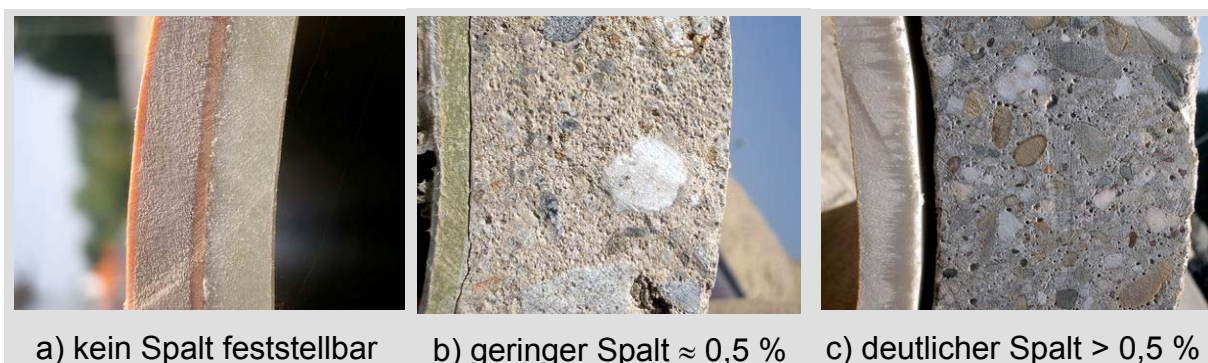


Bild 14: Ringspaltgrößen in der Ansicht, bezogen auf den Linerradius

Für die statische Berechnung ist der Mittelwert der über den Linerumfang gemessenen Spaltweiten maßgebend. Für alle Proben sind diese Mittelwerte in Tabelle 18 im Überblick dargestellt. An der Probe aus dem „simulierten Einbau“ (Linerprobe wurde in ein neues PVC-Rohr eingebaut) war kein Ringspalt feststellbar (Bild 14 a). Bei den fünf Altrohr-Linerproben, die aus in Betrieb befindlichen Haltungen ausgebaut wur-

den, ist der o.a. statische Rechenwert der Spaltweite von 0,5 % vom Linerradius in einem Fall eingehalten worden (Bild 14 b). Bei den übrigen Proben wird dagegen dieser Wert deutlich überschritten (Bild 14 c, vgl. auch Tabelle 18). Bei der Linerprobe der Dortmunder Uranusstrasse liegt die Spaltweite bei ca. 1,2 %, bei der Duisburger Probe sogar bei 2,2 % vom Linerradius. Die beträchtlichen Spaltweiten können insbesondere bei höheren Grundwasserständen und in Kombination mit örtlichen Vorverformungen die Tragreserven bzw. Standsicherheit des Liners deutlich herabsetzen.

Tabelle 18: Spaltweiten bei Baumaßnahmen

Baumaßnahme Schlauchbezeichnung	Spaltweite	
	Mittelwert in mm	Mittelwert $w_s$ in % vom Linerradius
Stadt Dortmund, Uranusstr. Probe I KM-Inliner, DN 500, Nadelfilz, UP-Harz	2,9	1,2
Stadt Dortmund, Uranusstr., Probe II KM-Inliner, DN 500, Nadelfilz, UP-Harz	2,4	1,0
Stadt Dortmund, Uranusstr. Probe III KM-Inliner, DN 500, Nadelfilz, UP-Harz	2,9	1,2
Stadt Dortmund, Hagener Str. Phoenix, DN 300, Nadelfilz, UP-Harz	0,6	0,4
Stadt Duisburg, Im Eggenkamp Inpipe, DN 350, Nadelfilz, EP-Harz	3,8	2,2
Linerprobe 3 aus „simuliertem Einbau“ DN 300, Glasfaser	0,0	0,0

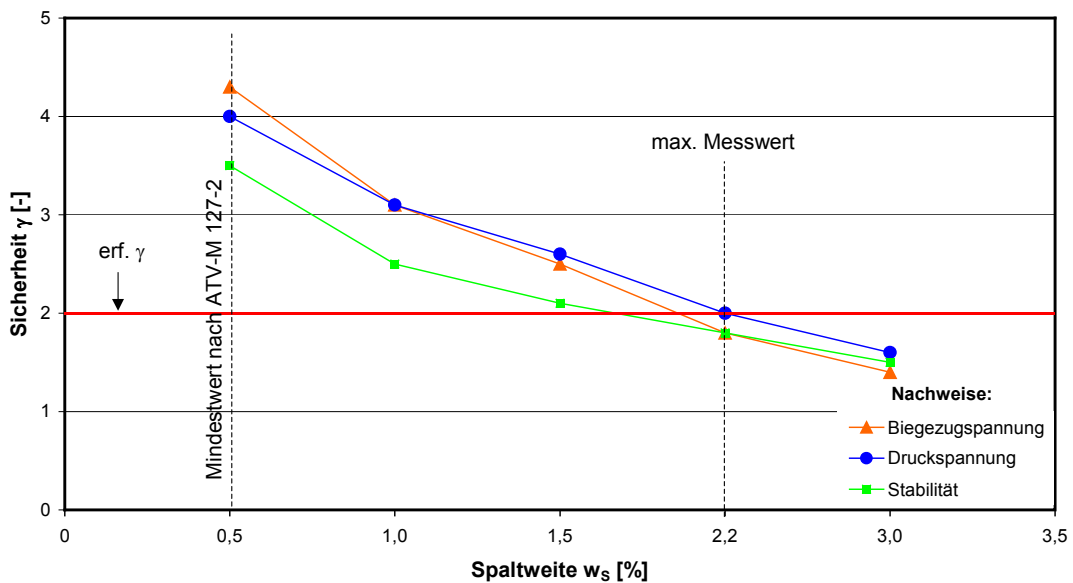
Im Ergebnis lagen die gemessenen Spaltweiten bei zwei von drei sanierten Haltungen deutlich über dem allgemeinen Rechenwert nach ATV-DVWK-M 127-2 von 0,5 % des Linerradius. Damit stellt sich die Frage nach den Auswirkungen auf den statischen Nachweis bzw. die Tragsicherheit des Gesamtsystems. Da in den beiden o.a. Sanierungsfällen keine statischen Berechnungen vom Sanierungszeitpunkt vorlagen, wurden neue statische Berechnungen nach [38] herangezogen. Dabei wurden die Spaltweiten im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse entsprechend den tatsächlich gemessenen Werten variiert, so dass der Einfluss der Spaltweite auf die Standsicherheit quantifiziert werden konnte.

Für die Probe aus Duisburg, Im Eggenkamp sind die statischen Berechnungen beispielhaft dargestellt (vgl. Tabelle 19).



Tabelle 19: Tragsicherheiten des Duisburger Liners „Im Eggenkamp“, bei Variation des Ringspaltes für Wasseraußendruck  $h_{W,So} = 3,0$  m, nach [37]

Spaltweite $w_s$	Wasseraußendruck	Biegezugspannungsnachweis	Druckspannungsnachweis	Verformungsnachweis	Stabilitätsnachweis
-	$h_{W,So}$	$\gamma_{bz}$	$\gamma_D$	$\delta_v$	$\gamma_I$
%	m	-	-	%	-
0,5 (Mindestwert)	3,0	20 / 4,61 = 4,3 > 2,0	25 / 6,28 = 4,0 > 2,0	2,3 < 10	3,5 > 2,0
1,0		20 / 6,50 = 3,1 > 2,0	25 / 8,13 = 3,1 > 2,0	3,1 < 10	2,5 > 2,0
1,5		20 / 8,04 = 2,5 > 2,0	25 / 9,62 = 2,6 > 2,0	3,9 < 10	2,1 > 2,0
2,2 (max. Messwert)		20 / 10,95 = 1,8 < 2,0	25 / 12,52 = 2,0 = 2,0	5,1 < 10	1,8 < 2,0
3,0		20 / = 1,4 < 2,0	25 / 15,9 = 1,6 < 2,0	6,5 < 10	1,5 < 2,0
Abminderung der Sicherheiten, Verformungserhöhung (Mindestwert / max. Messwert · 100%)		- 58 %	- 50 %	+ 122 %	- 49 %



<b>Geometrie:</b>	DN 350	<b>Lasten/Zustand:</b>	<b>Werkstoff:</b> Nadelfilz
Wanddicke	$s_L = 5,80$ mm	$h_{W,So} = 3,0$ m	Kurzzeit-E-Modul $E = 2800$ N/mm <sup>2</sup>
	$r_L / s_L = 30$ -		Langzeit-E-Modul $E = 1400$ N/mm <sup>2</sup>
Vorverformung	$w_V = 2$ %	Altrohrzustand I	Biegezugfestigkeit $\sigma_{bz} = 20$ N/mm <sup>2</sup>
Lage in der Sohle	$2 \varphi_1 = 40^\circ$		Druckfestigkeit $\sigma_D = 25$ N/mm <sup>2</sup>
Spalt (Mindestwert)	$w_s = 0,5$ %		

Bild 15: Tragsicherheiten des Duisburger Liners „Im Eggenkamp“ bei Variation des Ringspaltes für Wasseraußendruck  $h_{W,So} = 3,0$  m.

Für den nach ATV-DVWK-M 127-2 anzunehmenden Mindestwert von  $w_s = 0,5 \%$  ergibt sich eine hohe rechnerische Tragsicherheit von  $\gamma = 4,6$ . Unter Berücksichtigung der erhöhten Spaltweite von  $w_s = 2,2 \%$  verringert sich die rechnerische Tragsicherheit des Duisburger Schlauchliners jedoch um mehr als 60 Prozent auf  $\gamma = 1,8$ . Die in ATV-DVWK-M 127-2 [38] geforderte Sicherheit von  $\gamma = 2,0$  wird in diesem Fall um 10 % unterschritten. Nach [40] ist aufgrund von Erfahrungen mit Schlauchverfahren vorgesehen, den Rechenwert des Ringspaltes für Linner der Nennweiten  $\geq 800$  mm von 0,5 % auf 0,25 % vom Scheitelradius zu reduzieren, jedoch unter folgenden Bedingungen:

- Ermittlung der Spaltweite durch Messungen im Rahmen der *Erstprüfung*, d.h. Hersteller sollen im Rahmen von Eignungsprüfungen den Ringspalt ermitteln.
- Durchführung von mindestens drei Wiederholungsprüfungen pro Jahr an *Baustellen*, die durch den Auftraggeber ausgewählt werden, wie folgt:
  - a) Messung des Altrohrinnendurchmessers vertikal und horizontal in mindestens 0,5 m Entfernung vom Anfangs- und Endschacht
  - b) Ermittlung der Linnerwanddicke als Mindestwert der Rückstellproben
  - c) Erneute Messung des Linnerinnendurchmessers an den o.a Stellen
  - d) Berechnung der Ringspaltweite aus den Messwerten.
- jede Messung muss bestätigen, dass  $w_s \leq 0,25 \%$  vom Linneradius ist.

Nach Betreiberangaben (vgl. [42]) wird der verminderte Rechenwert für die Spaltweite von 0,25 % bereits von einigen Sanierungsfirmen für die statische Berechnung genutzt. Die o.a. Vorgehensweise zur Messung des Ringspaltes auf der Baustelle wurde vergleichend zu der hier möglichen Messung an ausgebauten Rohrabschnitten für drei Proben beispielhaft durchgeführt. Bei Messungen des Innendurchmessers zur Ermittlung von Spaltweiten muss allerdings auf Grundlage der hier durchgeführten Wanddickenmessungen (vgl. Abschnitt 3.2.1) von einer wanddickenbedingten Toleranz von ca.  $\pm 1$  mm ausgegangen werden. Im Ergebnis waren die nach der o.a. Vorgehensweise gemessenen Spaltweiten deutlich größer als die direkt gemessenen Spaltweiten und lagen damit in diesen Fällen auf der „sicheren Seite“.

Tabelle 20: Vergleichende Messwerte der Spaltweiten

Baumaßnahme Schlauchbezeichnung	Spaltweite Direkte Messung (in Achtelspankten)	Spaltweite Indirekte Messung (nach [40])	$\Delta$ [%]
	Mittelwert $w_s$ in % vom Linneradius	Mittelwert $w_s$ in % vom Linneradius	
Stadt Dortmund, Uranusstr., Probe II KM-Inliner, DN 500, Nadelfilz, UP-Harz	1,4 100 %	2,3 164 %	+ 64 %
Stadt Dortmund, Hagener Str. Phoenix, DN 300, Nadelfilz, UP-Harz	0,4 100 %	1,7 425 %	+ 325 %
Stadt Duisburg, Im Eggenkamp Inpipe, DN 350, Nadelfilz, EP-Harz	2,2 100 %	2,8 127 %	+ 27 %

■ in rot dargestellt sind Überschreitungen des Rechenwertes  $w_s$  von 0,5 % (nach ATV-DVWK M 127 T. 2)

### 3.2.3 Vorverformung, Längsfalte

Unter statischen Gesichtspunkten werden Vorverformungen, aber auch die o.a. Schwankungen der Wanddicke und die Ausbildung des Ringspaltes, als geometrische Imperfektionen bezeichnet. Imperfektionen nach Bild 16 vermindern den Beulwiderstand und erhöhen die Spannungen und Verformungen des Liners [40]. Daher werden in statischen Berechnungen zur Bemessung von Schlauchlinern Vorverformungen berücksichtigt. Örtlich begrenzte Vorverformungen (Falten, Abflachungen usw.) sind beim Altrohrzustand I (Altrohr allein tragfähig) und Altrohrzustand II (Altrohr-Bodensystem allein tragfähig) entsprechend Bild 16a mit mindestens 2 % des Linerradius anzunehmen, wenn keine durch Inspektion nachgewiesenen größeren Werte vorliegen. Zusätzlich sind für den Altrohrzustand II Gelenkringvorverformungen (Ovalisierungen) entsprechend Bild 16b von mindestens 3 % des Linerradius anzunehmen.

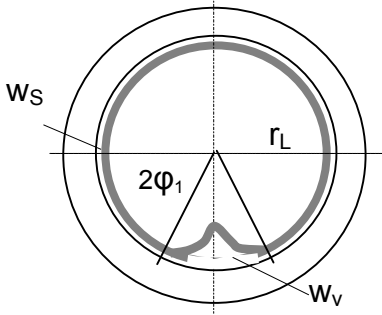
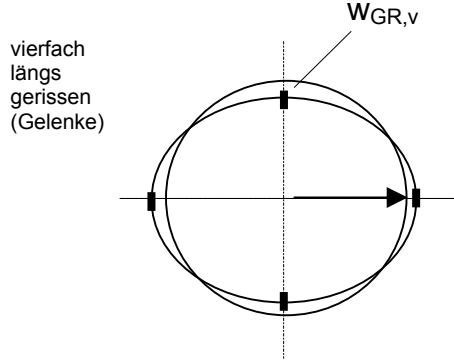
örtlich begrenzte Vorverformung $w_v$ $w_v = 2 \%$ (von $r_L$ )	Gelenkringvorverformung $w_{GR,v}$ (Ovalisierung) $w_{GR,v} = 3 \%$ (von $r_L$ )
	

Bild 16: Vorverformungen von Schlauchlinern, Rechenwerte für statische Berechnungen nach ATV-DVWK-M 127-2 [38]

Die o.a. Imperfektionen wurden auch an den ausgebauten Proben aus dem Kanalnetz vorgefunden. Bei einer Altrohr-Linerprobe ist im Bereich der Sohle eine ausgeprägte, örtlich begrenzte Vorverformung (Bild 17) festgestellt worden. Die Tiefe der Einbeulung gegenüber der runden Form wurde mit ca. 38 mm gemessen. Bei einem mittleren Linerradius von 168,8 mm entspricht dies einer örtlichen Vorverformung  $w_v$  von ca. 23 %. Damit wird in diesem Fall der für statische Berechnungen vorgegebene Mindestwert von 2 % mehr als zehnfach überschritten. Möglicherweise ist die örtliche Verformung durch Einbaufehler entstanden. Auch können sich beim Aufstellens des Liners Wasser oder Schmutz im Sohlbereich zwischen Altrohr und Liner gesammelt und die vollständige Aufstellung des Liners eingeschränkt haben.

In einem zweiten Fall wurde eine Gelenkringverformung (Ovalisierung) des Liners von nahezu 12 % gegenüber dem ursprünglichen Rohrdurchmesser festgestellt. Das Altrohr aus Steinzeug war vierfach längs gerissen und infolgedessen stark verformt. Bei dem Ausbau des Probenkörpers zerfiel das Altrohr in einzelne Bruchstücke. In der damaligen statischen Berechnung (1995) wurde die Ovalisierung nicht berücksichtigt. Nach ATV-DVWK-M 127 [38] wäre dieser Altrohrzustand durch einen entsprechenden Ansatz für die Gelenkringverformung zu berücksichtigen.


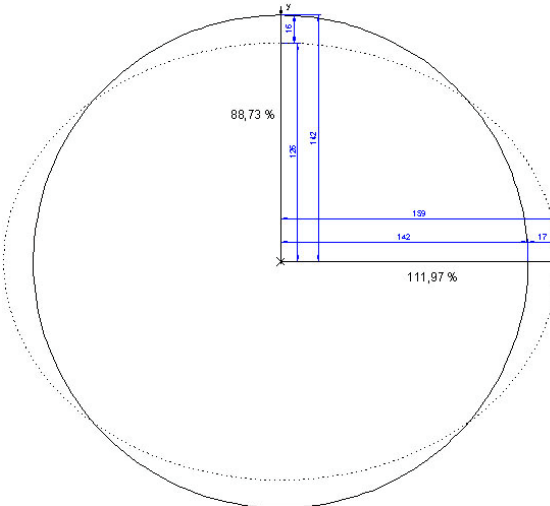

<p>örtlich begrenzte Vorverformung</p> <p><math>w_V = 23 \% (&gt; 2,0 \%)</math>; <math>w_S = 2,2 \% (&gt; 0,5 \%)</math></p>	<p>Gelenkringverformung (Ovalisierung)</p> <p><math>w_{GR,v} = 12 \% (\text{von } r_L)</math></p>
	 

Bild 17: links: örtliche Vorverformung an den ausgebauten Proben aus dem Kanalnetz; rechts: Ovalisierung

*Auswirkungen auf die Standsicherheit*

In dem IKT-Forschungsprojekt [6] aus dem Jahr 2001 wurden die sanierten Haltungen bereits mittels TV-Inspektion untersucht (vgl. Abschnitt 2.4). Dabei wurden verschiedene örtliche Vorverformungen, insbesondere auch Längsfalten als Folge unzureichend konfektionierter Schläuche festgestellt. Um den Einfluss von Vorverformungen bzw. Längsfalten auf die Tragfähigkeit des Liners zu quantifizieren, werden statische Berechnungen (Sensitivitätsanalysen, [37]) durchgeführt. Die in den Berechnungen angesetzten Vorverformungen sind auf Basis einer Inspektion und Vermessung der Probenkörper ermittelt worden.

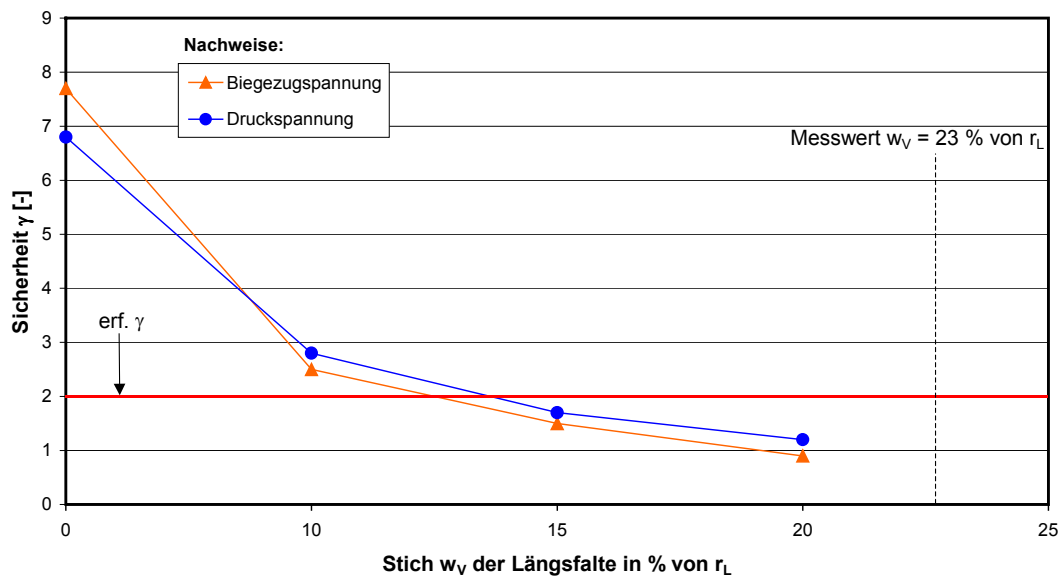
Nachfolgend werden für den Duisburger Schlauchliner DN 350 (Bild 17) die Tragfähigkeits- und Verformungsnachweise für Liner mit Längsfalten bzw. örtliche Vorverformungen mit einem Stich von  $w_v = 2 \%$  des Linerradius (Mindestwert nach ATV-DVWK-M 127-2 [38]) und für höhere Werte bis zu dem gemessenen Stichmaß der Falte von ca. 20 % des Linerradius dargestellt (Tabelle 21).

Tabelle 21: Nachweise für einen Liner,  $d_a = 350$ ,  $s_L = 5,8$  mm, Altrohrzustand I, Wasseraußendruck aus  $h_{W,So} = 2,0$  m,  $w_s = 0,5 \%$

Ausbildung der Längsfalte (Stich)	Wasseraußendruck	Biegezugspannungsnachweis	Druckspannungsnachweis	Verformungsnachweis
$w_{v,Falte}$	$h_{W,So}$	$\gamma_{bZ}$	$\gamma_D$	$\delta_v$
% von $r_L$ (mm)	m	-	-	%
ohne Falte	2	20 / 2,60 = 7,7 > 2,0	25 / 3,69 = 6,8 > 2,0	2,0 < 10
10 % (17 mm)		20 / 8,15 = 2,5 > 2,0	25 / 9,06 = 2,8 > 2,0	2,5 < 10
15 % (26 mm)		20 / 13,67 = 1,5 < 2,0	25 / 14,41 = 1,7 < 2,0	3,2 < 10
20 % (35 mm) ≈ Messwert		20 / 21,24 = 0,9 < 2,0	25 / 21,75 = 1,2 < 2,0	4,9 < 10
Abminderung der Sicherheiten und Verformungserhöhung infolge einer Längsfalte mit 20 % Stich (≈ Messwert)		- 89 %	- 83 %	+ 145 %

Während für Imperfektionen nach ATV-DVWK-M 127-2 [38] im Biegezugspannungsnachweis eine Sicherheit von  $\gamma_{bZ} = 7,7$  resultiert, hat ein zunehmender Stich der Längsfalte eine rasch abfallende Sicherheit zur Folge. Im vorliegenden Fall wird für  $w_{v,Falte} = 20 \%$  (d. h. 35 mm Tiefe der Falte) die erforderliche Sicherheit mit  $\gamma_{bZ} = 0,9$  bereits deutlich unterschritten.

Tragsicherheiten des Schlauchliners Duisburg, Im Eggenkamp (B701)



<b>Geometrie:</b>	DN 350	<b>Lasten, Zustand:</b>	<b>Werkstoff:</b> Nadelfilz
Wanddicke	$s_L = 5,8$ mm	$h_{w,so} = 2,0$ m	Kurzzeit-E-Modul $E = 2800$ N/mm <sup>2</sup>
	$r_L / s_L = 30$ -		Langzeit-E-Modul $E = 1400$ N/mm <sup>2</sup>
Lage in der Sohle	$2 \varphi_1 = 40^\circ$	Altrohrzustand I	Biegezugfestigkeit $\sigma_{bZ} = 20$ N/mm <sup>2</sup>
Spalt (Mindestwert)	$w_S = 0,5$ %		Druckfestigkeit $\sigma_D = 25$ N/mm <sup>2</sup>

Bild 18: Sicherheiten im Biegezugspannungsnachweis bei unterschiedlich stark ausgeprägten Längsfalten

Im Bild 18 ist der Verlauf der Sicherheit  $\gamma$  für die Nachweise der Biegezugspannung und der Druckspannung in Abhängigkeit von der Höhe der Vorverformung bzw. der Längsfalte für das Rechenbeispiel grafisch dargestellt. Dabei wird anschaulich deutlich, dass bereits eine Längsfalte mit einem Stich von nur 10 % des Linerradius die Sicherheit auf knapp ein Drittel des Ausgangswertes reduziert. In diesem Fall beträgt der Absolutwert des Stichmaßes lediglich 17 mm. Bereits bei einer weiteren Erhöhung des Stichmaßes um wenige Millimeter sind die rechnerischen Nachweise für das gewählte Beispiel nicht mehr erfüllt. Die geometrischen Kennwerte haben auf die rechnerische Tragsicherheit des statischen Systems somit erheblichen Einfluss.

Vor diesem Hintergrund sind Kenntnisse über die Abmessungen von evtl. vorhandenen Vorverformungen und Falten für die statischen Nachweisrechnungen sehr bedeutsam. Auf der Grundlage von Inspektionsvideos können diese jedoch nur bedingt eingeschätzt werden. Im Bedarfsfall, bspw. im Rahmen einer Abnahmeuntersuchung, könnten genauere Vermessungsergebnisse helfen, die Tragreserven einer Sanierung besser einzuschätzen.



### Querfalten

Als Schadensbild werden in der Praxis auch quer zur Rohrachse oder diagonal verlaufende Falten beobachtet. Auch im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Sanierungen mit ausgeprägten Querfalten angetroffen (Bild 19). Nach [37] ist der Einfluss von Querfalten hinsichtlich der statischen Tragfähigkeit weniger kritisch als bei Längsfalten, „da hier eine räumliche Tragwirkung in Längsrichtung unterstellt werden darf“. Wechselwirkungen mit betrieblichen Maßnahmen, z.B. HD-Reinigung, sind allerdings denkbar.



Bild 19: Querfalten, Haltung, Am Getterbach

### 3.3 Werkstoffkennwerte

Bei Schlauchlinern entstehen die für den Sanierungserfolg benötigten Werkstoff- und Systemeigenschaften erst mit dem Einbau und Aushärten in einem zu sanierenden Altrohr. Die Auswahl und Verarbeitung (konfektionieren, tränken, transportieren, einbauen, aushärten) geeigneter Materialien sowie die Baustellenrandbedingungen üben einen erheblichen Einfluss auf die Linerqualität aus. Deswegen werden ausgewählte, qualitätsbeschreibende Werkstoffkennwerte i.d.R. für jeden einzelnen Aushärtungsvorgang auf der Baustelle anhand von Proben bestimmt und mit den vertraglich vereinbarten (z.B. der Erstprüfung) verglichen.



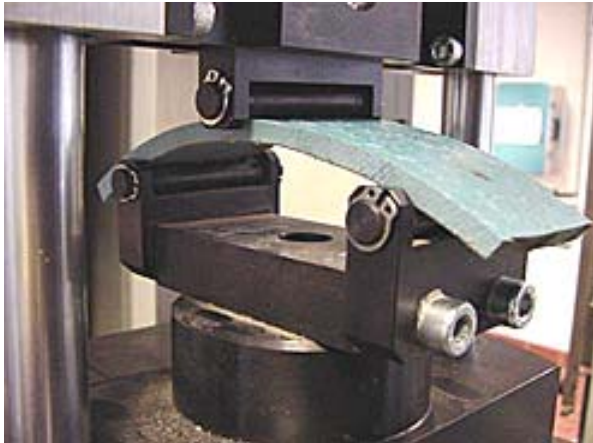
### 3.3.1 Kurzzeit-Elastizitätsmodul

Zur baustellenbegleitenden Erfolgskontrolle der Aushärtungsvorgänge und Bewertung der Tragfähigkeit eines Schlauchliners werden die Kurzzeitwerte der Biegezugfestigkeit  $\sigma_{bz}$  und des Biege-Elastizitätsmodul  $E_b$  bestimmt. Diese statischen Materialkennwerte wurden im Rahmen des Forschungsprojektes mit zwei verschiedenen Prüfverfahren ermittelt:

- 3-Punkt-Biegeversuch in Anlehnung an DIN EN ISO 178 [22] an Linausschnitten
- Scheiteldruckversuch nach DIN EN 1228 [43] am Linerabschnitt.

Der 3-Punkt-Biegeversuch wird in der Praxis üblicherweise als baubegleitende Prüfung durchgeführt. Zur Durchführung des Versuches kann auf Linausschnitte zurückgegriffen werden. Der Versuch ist insgesamt betrachtet weniger aufwändig als der Scheiteldruckversuch. Dieser wird überwiegend im Rahmen von Eignungs- und Erstprüfungen i.d.R. an vollständigen Rohrabschnitten aus dem „simulierten Einbau“ durchgeführt (Bild 20).

**3-Punkt-Biegeversuch  
nach DIN EN ISO 178**



**Kurzzeit-Scheiteldruckversuch  
nach DIN EN 1228**



Bild 20: Prüfungen zur Bestimmung von Biegefestigkeit und E-Modul

Die Ergebnisse des 3-Punkt-Biegeversuchs sollten dabei jedoch plausibel mit den Ergebnissen des Scheiteldruckversuchs übereinstimmen. Da es im Rahmen des Forschungsprojektes möglich war, vollständige Rohrabschnitte auszubauen, konnte eine vergleichende Betrachtung der Ergebnisse durchgeführt werden.

#### *Korrelation der Ergebnisse aus 3-Punkt-Biegeversuch und Scheiteldruckversuch*

Die Gegenüberstellung im Bild 21 zeigt eine gute Korrelation der nach beiden Verfahren ermittelten Elastizitätsmoduln. Damit wird die Vermutung unterstützt, dass der 3-

Punkt-Biegeversuch als baubegleitende Qualitätsprüfung ausreichend genaue Ergebnisse liefern kann.

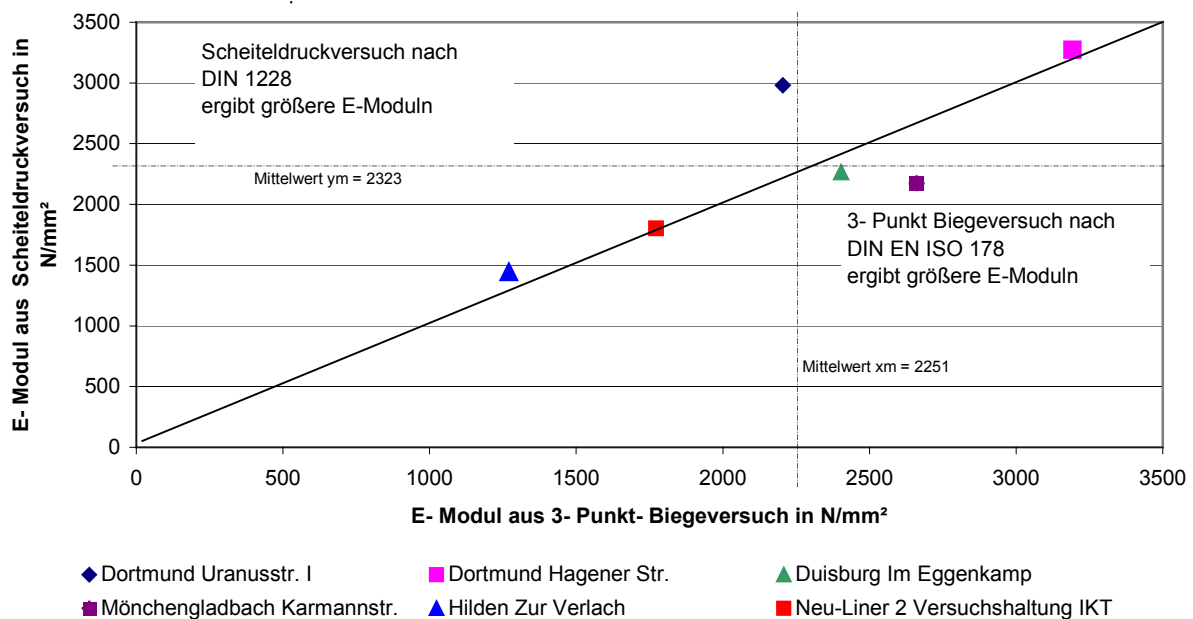


Bild 21: Korrelation der E-Moduln von Nadelfilzlinern aus zwei verschiedenen Prüfverfahren (vgl. [37])

Darüber hinaus zeigt Bild 21, dass die E-Moduln, die durch den Scheiteldruckversuch bestimmt wurden, im Rahmen der Untersuchungen tendenziell größer waren als die Werte aus dem 3-Punkt-Biegeversuch. Eine Bewertung der statischen Kennwerte auf der Basis des 3-Punkt-Biegeversuches ist in diesen Fällen eine vorsichtige bzw. auf der „sicheren Seite“ liegende Abschätzung der statischen Bauteileigenschaften. Im Mittel lagen die Versuchswerte aller 3-Punkt-Biegeversuche lediglich 6 % unterhalb der Werte aus dem Scheiteldruckversuch (siehe letzte Zeile in Tabelle 22). Allerdings ist zu beachten, dass die mittlere Wanddicke im Scheiteldruckversuch in einigen Fällen erheblich von der mittleren Wanddicke im 3-Punkt-Biegeversuch abweicht.

Bei der Versuchsauswertung des 3-Punkt-Biegeversuches nach DIN EN ISO 178 [22] wird der Einfluss der Probenkrümmung auf die Stützweite nicht berücksichtigt. DIN EN 13566-4 [8] berücksichtigt lediglich die Verschiebung des Kontaktpunktes zwischen Auflager und Lineroberfläche bei Probenkrümmung. Nach Anlage 1 des Merkblattes „Qualitätssicherung von Schlauchlinern“ der LGA Landesgewerbeanstalt Bayern [44] wird die Stützweite darüber hinaus unter Berücksichtigung des Wanddickeneinflusses bestimmt. Berücksichtigt man diesen Ansatz zur Ermittlung der Stützweite im Rahmen der Versuchsauswertung nach DIN EN ISO 178 führt dies zu einer Erhöhung des Rechenwertes des Biege-E-Moduls i.M. von 19 %. Die Ergebnisse aus dem Scheiteldruckversuch an einem vollständigen Linerabschnitt werden im Mittel um 12 % überschritten (vgl. Tabelle 22).

Tabelle 22: Übersicht zu den ermittelten E-Moduln

Baumaßnahme Schlauchbezeichnung	E-Modul, ermittelt nach:		
	3-Punkt- Biegeversuch (ohne Krümmung) [N/mm <sup>2</sup> ]	3-Punkt- Biegeversuch (mit Krümmung) [N/mm <sup>2</sup> ]	Kurzzeit- Scheiteldruck- versuch [N/mm <sup>2</sup> ]
Stadt Dortmund, Uranustr. KM-Inliner, DN 500, Nadelfilz, UP-Harz	2204	2560	2981
	(74 %) s = 13,49 mm	(86 %) s = 13,49 mm	(100 %) s = 14,41 mm
Stadt Dortmund, Hagener Str. Phoenix, DN 300, Nadelfilz, UP-Harz	3192	3829	3273
	(98 %) s = 4,54 mm	(117 %) s = 4,54 mm	(100 %) s = 5,05 mm
Stadt Duisburg, Im Eggenkamp Inpipe, DN 350, Nadelfilz, EP-Harz	2403	2802	2263
	(106 %) s = 5,38 mm	(124 %) s = 5,38 mm	(100 %) s = 5,81 mm
Stadt Gladbeck, Mittelstr. Flexo-Lining, DN 400, E-CR-Glas, UP- Harz	4215	4649	5158
	(82 %) -	(90 %) -	(100 %) -
Stadt Mönchengladbach, Karmannstr. Insituform, DN 300, Nadelfilz, UP-Harz	2661	3204	2174
	(122 %) -	(147 %) -	(100 %) -
Stadt Münster, Am Getterbach Inpipe, DN 300, Glasfaser, UP-Harz	1097	1321	1406
	(78 %) -	(94 %) -	(100 %) -
Stadt Düsseldorf, Fa. Henkel, Industrie DN 900, Nadelfilz	2122	2327	-
	- s = 15,67 mm	- s = 15,67 mm	-
Stadt Hilden, Zur Verlach DN 250, Nadelfilz	1307	1623	1445
	(90 %) s = 7,07 mm	(112 %) s = 7,07 mm	(100 %) s = 6,86 mm
Neu-Liner 1 DN 300, Nadelfilz	2109	2512	2256
	(93 %) s = 5,46 mm	(111 %) s = 5,46 mm	(100 %) s = 6,11 mm
Neu-Liner 2 DN 300, Nadelfilz / GFK, EP-Harz	1719	2038	1803
	(95 %) s = 6,66 mm	(113 %) s = 6,66 mm	(100 %) s = 7,20 mm
Neu-Liner 3 DN 300, Glasfaser	9753	11617	9536
	(102 %) s = 6,05 mm	(122 %) s = 6,05 mm	(100 %) s = 6,77 mm
<b>MITTELWERTE</b>	<b>94 %</b>	<b>112 %</b>	<b>100 %</b>
-) nicht untersucht bzw. nicht ermittelbar			

Ein Vergleich der ermittelten Biegefestigkeiten und Elastizitätsmoduln mit Sollwerten aus statischen Berechnungen vor Einbau kann nicht durchgeführt werden, da zum Zeitpunkt der Sanierung auf diese statischen Nachweise verzichtet wurde. Daher werden die Prüfergebnisse mit aktuellen Herstellerangaben (Tabelle 4) zu den statischen Kennwerten verglichen.

Der Vergleich in Bild 22 zeigt, dass auf Grundlage des 3-Punkt-Biegeversuchs und des Kurzzeit-Scheiteldruckversuchs zahlreiche Ergebnisse unterhalb des erwarteten Wertebereichs nach Literatur- bzw. auch Herstellerangaben liegen. Bei Berücksichtigung der Probenkrümmung (s.o.) weist nur noch ein Prüfergebnis einen niedrigeren Wert auf.

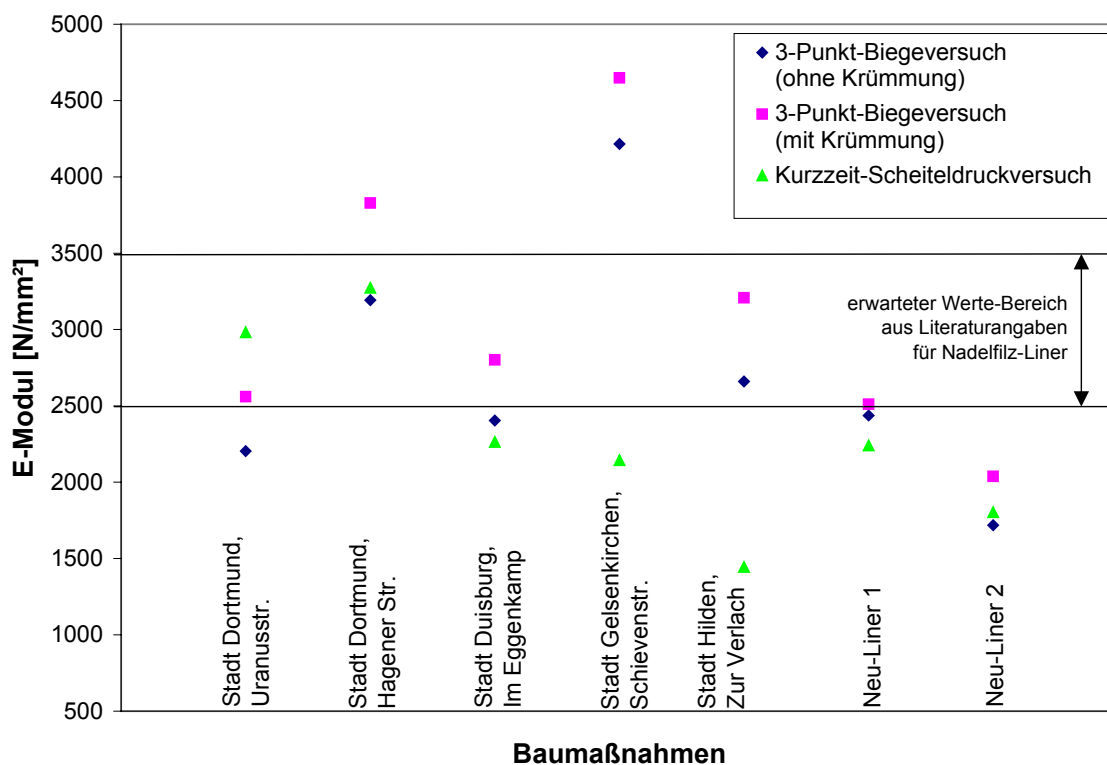


Bild 22: Ermittelte Werte des Biege-E-Moduls im Vergleich zu Herstellerangaben nach [15]

### 3.3.2 Langzeit-Elastizitätsmodul

Zug- oder Druckbeanspruchung von Schlauchlinern führen zu einer Verformung. Für kleine Spannungen wird angenommen, dass der Quotient aus Spannung und Dehnung konstant ist [21]. Die Entlastung des Werkstücks stellt die ursprüngliche Form wieder her. Im Bereich mittlerer bis hoher Verformungskräfte und bei steigender Temperatur, auch bei längerer Belastungszeit, überlagert eine viskose Verformung die elastische Verformung. Die Molekülketten gleiten aneinander vorbei, so dass ein Teil der Verformung sich nach der Entlastung nur verzögert oder gar nicht mehr zu-

rückstellt. Dieses viskoelastische Materialverhalten ist sowohl von der Temperatur als auch von der Belastungszeit abhängig.

Ein Schlauchliner wird u.U. während seiner gesamten Lebensdauer kontinuierlich belastet (z.B. durch Außenwasserdruck). Über eine längere Zeitdauer reagiert das Material auf die ständige Beanspruchung mit zunehmenden Verformungen (Kriechen) oder Spannungsrelaxation, d.h. eine Zunahme der Dehnung bei konstanter Spannung bzw. eine Abnahme der Spannung bei konstanter Dehnung. Üblicherweise wird dieses Verhalten in statischen Berechnungen zur Bemessung von Schlauchlinern näherungsweise berücksichtigt, indem über Kriechfaktoren die Kurzzeit-Moduln auf Langzeit-Moduln reduziert werden.

Dies geschieht in Abhängigkeit der Systemeigenschaften (Harz, Trägermaterial, etc.) mit dem Ziel, für einen Zeitraum von 50 Jahren eine ausreichende Standsicherheit sicher zu stellen. Die Abminderungsfaktoren werden i.d.R. über Eignungsprüfungen an Prüfkörpern, die aus einem „simulierten Einbau“ stammen (vgl. [8]), ermittelt. Der Langzeit-E-Modul von Schlauchlinern aus Synthesefaserlaminat wird in der Praxis mit Hilfe von 10.000 h-Ringsteifigkeitsversuchen unter Ansatz eines Abminderungsfaktors  $A_1 = 2,0$  ermittelt (vgl. z. B. [45]). Für Schlauchliner aus glasfaserverstärktem Kunststoff werden nach Herstellerangaben auch kleinere Abminderungsfaktoren angesetzt (vgl. [46] mit  $A_1 = 1,5$ ).

Vor diesem Hintergrund wurde das Langzeitverhalten der Schlauchliner unter Belastung von Probestücken im Langzeit-Scheiteldruckversuch untersucht. Der Abminderungsfaktor wird nach DIN 53769-3 durch Scheiteldruckversuche über 10.000 h ermittelt. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden allerdings zunächst qualitative 4.000 h-Vorversuche<sup>1</sup> an insgesamt vier Rohrabschnitten durchgeführt. Jeder einzelne Rohrabschnitt wurde über die gesamte Versuchsdauer mit einer konstanten Prüfkraft belastet, die eine Anfangsverformung von 3 % bewirkt. Die erforderliche Prüfkraft errechnet sich unter Ansatz der Anfangsringsteifigkeit des oben beschriebenen Kurzzeit-Scheiteldruckversuchs. Nach dem Versuchsstart wurden die Verformungen wöchentlich über eine Dauer von knapp einem halben Jahr gemessen.

Die Ergebnisse von vier Vorversuchen wurden in Anlehnung an DIN EN 705 [47] ausgewertet und für einen Zeitraum von 50 Jahren extrapoliert. Dabei sind Regressionen mit Funktionen 1. und 2. Ordnung möglich (Bild 23). Alle Zeitstandkurven zeigen im doppelt-logarithmischen Maßstab eine progressive (überlineare) Zunahme der Verformungen. Der zeitliche Verlauf der aus den Messwerten errechneten E-Moduln wird daher zutreffender durch eine nichtlineare Regression 2. Ordnung beschrieben [37].

---

<sup>1</sup> Die Langzeitversuche unter Normbedingungen waren zum Zeitpunkt der Berichterstellung noch nicht abgeschlossen.

**Langzeit-Scheiteldruckversuch nach DIN 53769-3  
Dortmund, Uranusstr. (H1060-3)**

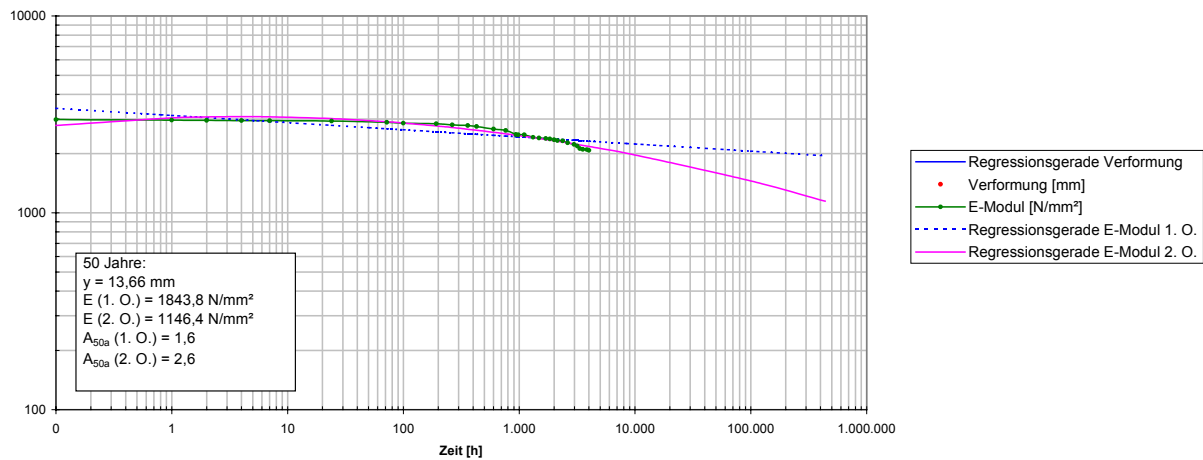


Bild 23: Regressionskurve zu einem 4000 h-Scheiteldruckversuch, Beispiel

Die Quotienten aus den Kurzzeitwerten und den extrapolierten Langzeitwerten ergeben die Abminderungsfaktoren zur Abschätzung der Standsicherheit nach 50 Jahren. Im Ergebnis liegen die auf diese Weise ermittelten Abminderungsfaktoren deutlich über dem in der Praxis für Synthesefaserlaminat und UP-Harz üblichen Wert von 2,0. (vgl. z.B. [48])

Allerdings ist bei der Bewertung der Messergebnisse aus den Vorversuchen auf die folgenden Abweichungen zu den nach DIN 53769–3 geforderten Normbedingungen der Versuchsdurchführung hinzuweisen:

- Die Temperaturschwankungen lagen über die Versuchsdauer bei 23 °C ±5 K (vgl. Normempfehlung: Raumtemperatur 23°C ± 2 K).
- ungleichmäßige Lastverteilung über die Scheitellinie.

Tabelle 23: Kriechfaktoren aus qualitativen 4.000 h-Versuchen für eine Extrapolation auf 50 Jahre

Haltung	E- Modul			Kriechfaktor
	Messwert nach 0,1 h	Messwert nach 4.000 h	Extrapolation für 50a	A <sub>1</sub>
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	-
H1069	3695	1777	864	4,3
B701	2540	1090	*)	-
H1060	2980	2080	1160	2,6
B756	1571	784	345	4,6

\*) Anmerkung zur Probe B701: Probe zeigte aufgrund mangelhafter Tränkung hohlraumreiche Konsistenz; dadurch kam es zu einer ungewöhnlich hohen, nicht extrapolierbaren Abnahme der Rohrsteifigkeit

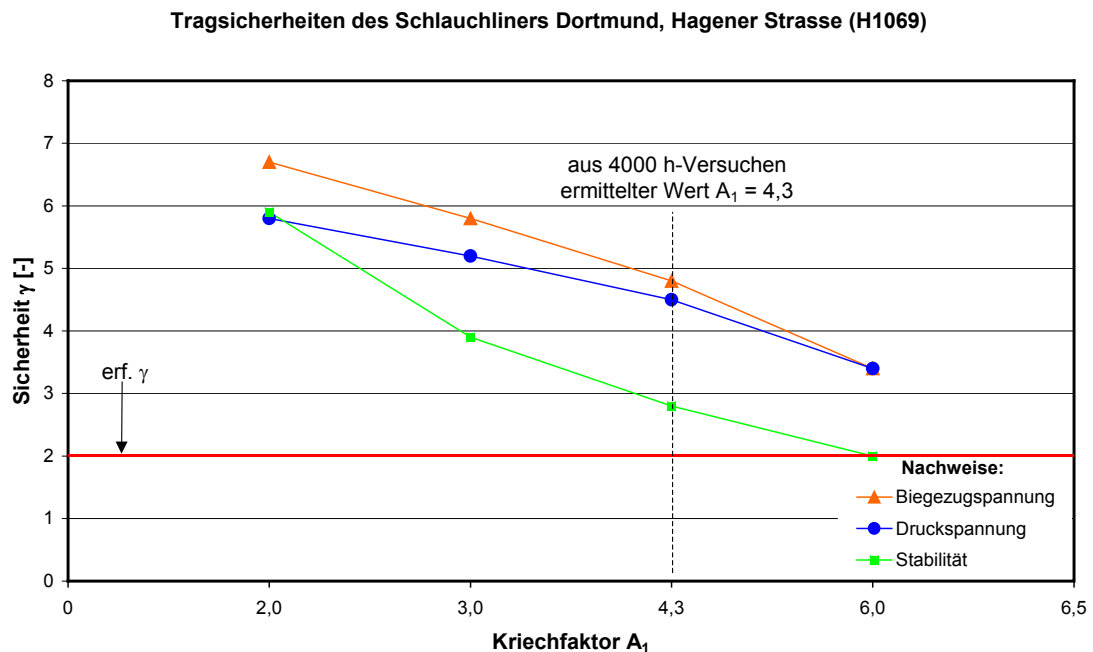
In Tabelle 24 und Bild 24 werden beispielhaft Ergebnisse aus vergleichenden statischen Berechnungen mit dem Standard-Abminderungsfaktor  $A_1 = 2,0$ , mit dem Faktor  $A_1 = 3,0$  und mit dem für 50 Jahre aus den 4.000 h-Versuchen der Linerprobe aus Dortmund (Nr.1069) extrapolierten Abminderungsfaktor  $A_1 = 4,3$  dargestellt. Dabei wird unterstellt, dass die o.a. Versuchsrandbedingungen die prinzipielle Aussage nicht beeinflussen.

Tabelle 24: Nachweise für den Dortmunder Liner,  $d_a = 300$ ,  $s_L = 5,1$  mm, Altrohrzustand I, Wasseraußendruck 2,5 m

Abminderungsfaktor für Langzeiteinflüsse	Wasseraußendruck	Biegezugspannungsnachweis	Druckspannungsnachweis	Verformungsnachweis	Stabilitätsnachweis
$A_1$	$h_{W,So}$	$\gamma_{bZ}$	$\gamma_D$	$\delta_v$	$\gamma_i$
-	m	-	-	%	-
$A_1 = 2,0$ (in der Praxis gebräuchlicher Wert)	2,5	20 / 2,98 = 6,7 > 2,0	25 / 4,30 = 5,8 > 2,0	1,9 < 10	5,9 > 2,0
$A_1 = 3,0$		20 / 3,44 = 5,8 > 2,0	25 / 4,78 = 5,2 > 2,0	2,2 < 10	3,9 > 2,0
$A_1 = 4,3$ (aus 4000h-Versuchen extrapoliertes Wert)		20 / 4,18 = 4,8 > 2,0	25 / 5,57 = 4,5 > 2,0	2,6 < 10	2,8 > 2,0
$A_1 = 6$		20 / 5,85 = 3,4 > 2,0	25 / 7,38 = 3,4 > 2,0	3,2 < 10	2,0 = 2,0
Abminderung der Sicherheiten, Verformungserhöhung (Mindestwert / max. Messwert · 100%)		- 28 %	- 22 %	+ 37 %	- 53 %

Für den Kriechfaktor  $A_1 = 4,3$  - durch Extrapolation der hier durchgeführten 4.000 h-Vorversuche ermittelt - wird die Sicherheit beim Stabilitätsnachweis um mehr als die Hälfte reduziert, d.h. von  $\gamma = 5,9$  auf  $\gamma = 2,8$  (Grundwasserstand von  $h_{W,So} = 2,5$  m), vgl. Bild 24. In der statischen Berechnung würde dies für einen am unteren Grenzwert bemessenen Liner den vollständigen Verlust der statischen Sicherheiten bedeuten.





<b>Geometrie:</b>	DN 300	<b>Einbau:</b>	<b>Werkstoff:</b> Nadelfilz
Wanddicke	$s_L = 5,10$ mm	$h_{w,so} = 2,5$ m	Kurzzeit-E-Modul $E = 2800$ N/mm <sup>2</sup>
	$r_L / s_L = 29$ -		Langzeit-E-Modul $E = 1400$ N/mm <sup>2</sup>
Vorverformung	$w_V = 2$ %	Altrohrzustand I	Biegezugfestigkeit $\sigma_{bZ} = 20$ N/mm <sup>2</sup>
Lage in der Sohle	$2 \varphi_1 = 40^\circ$		Druckfestigkeit $\sigma_D = 25$ N/mm <sup>2</sup>
Spalt (Mindestwert)	$w_S = 0,5$ %		

Bild 24: Sicherheiten aus Berechnungen mit unterschiedlichen Kriechfaktoren  $A_1$

### 3.3.3 Dichte

Die *Dichte* ist eine mit geringem Aufwand zu bestimmende Eigenschaft, die mit herangezogen werden kann, um physikalische und/oder chemische Veränderungen bei Kunststoffen und Elastomeren festzustellen. Die Bestimmung der Dichte wird häufig zur Überwachung der Herstellung und Verarbeitung von Kunststoffen und Elastomeren im Werk durchgeführt. Mit Hilfe von Dichtemessungen kann der Tränkungserfolg werkseitig durch einfaches Wiegen des Linerschlauches kontrolliert werden.

Die Sollwerte der Dichten sind produktspezifisch. Herstellerangaben zu den entsprechenden Sollwerten lagen für die hier untersuchten Fälle nicht vor. Allein aus der hier durchgeführten Dichtebestimmung der Schlauchlinerproben ließen sich keine vergleichenden Aussagen ableiten.

### 3.4 Betriebliche Kennwerte

Neben der Tragfähigkeit und Dichtheit zeichnet eine möglichst lange Haltbarkeit und Funktionsfähigkeit den Erfolg einer Schlauchlinersanierung aus. Die Beanspruchung des Schlauchliners durch die betriebliche Nutzung und Wartung kann allerdings Einfluss auf die Lebensdauer haben. Vor diesem Hintergrund wurden die nachfolgenden betrieblichen Kennwerte an ausgewählten Linerproben bestimmt:

- Materialabrieb durch Sedimenttransport,
- chemische Beständigkeit bei einer Einlagerung in Schwefelsäure,
- Festigkeit unter Einwirkung von Hochdruckspülstrahlen und
- Materialveränderung durch mehrjährige Betriebsbeanspruchung (Alterung).

#### 3.4.1 Abrieb

Um die Verschleißfestigkeit von Linern gegenüber Abrieb infolge Sedimenttransport zu untersuchen, wurden an vier Linerproben Prüfungen mit der Darmstädter Kipprinne nach DIN 19565, Teil 1 [27] durchgeführt (Bild 25).



Bild 25: a) Linerprobe in der „Darmstädter Kipprinne“; b) Zuschlagstoff

Der Zuschlagstoff, der den Sedimenttransport simuliert, besteht aus einem Normkies und wurde nach DIN 1823 Teil 6 [49] hergestellt. Die Gesamtzahl der Lastwechsel des Kipptisches betrug je Linerprobe 200.000. In Intervallen von 50.000 Lastwechseln erfolgte eine Zwischenauswertung. Im Bild 26 sind die Zwischenauswertungen beispielhaft für eine Linerprobe grafisch dargestellt.

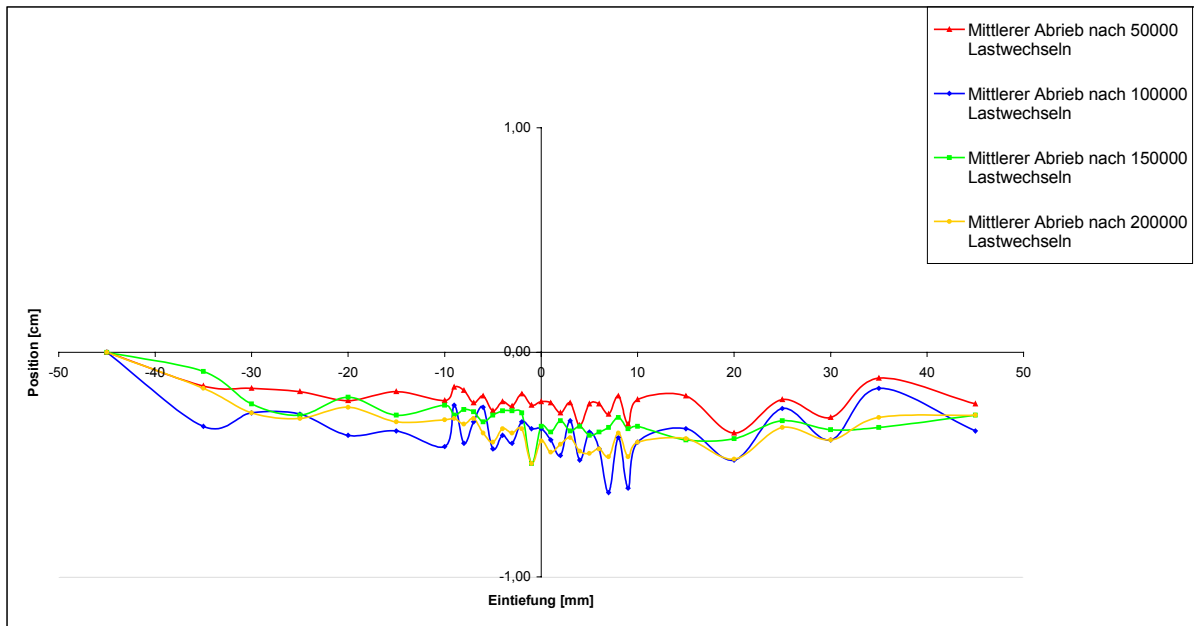


Bild 26: Messprotokoll der Abriebprüfung, Beispiel

Drei von vier untersuchten Schlauchlinern waren mit einer Innenfolie ausgestattet. Die Anschauung dieser Prüflinge nach der Abriebbelastung zeigte, dass der Abrieb an keiner Stelle über den Bereich der Innenfolie hinaus ging. Bei der vierten Probe war nur zum Teil eine Innenfolie vorhanden. Die optische Begutachtung nach der Abriebbelastung von 200.000 Lastwechseln zeigte lediglich eine etwas aufgerauhte Oberfläche der Linerinnenwand (Bild 27 a und b).



a)



b)

Bild 27 a und b: Innenwand der Linerprobe aus Duisburg, Im Eggenkamp

Die Auswertungen sämtlicher Messergebnisse ergaben durchweg geringe Abriebwerte. Es konnten zwar an verschiedenen Stellen der Rohrsohle Unterschiede zu den Nullmessungen ausgemacht werden, diese lagen jedoch im Bereich von nur einigen zehntel Millimetern. Im Beispiel liegt der gemessene Abrieb bei 0,1 bis 0,6 Millimetern. Der genaue Abrieb ist in dieser Größenordnung mit der gewählten Messmethode letztlich nicht bestimmbar gewesen, da dieser Messbereich nahezu den

Messtoleranzen entspricht (Toleranzen bedingt aus der Messuhr und den Lageabweichungen der Messpunkte durch wiederholten Ein- und Ausbau der Probe in den Messstand). Deswegen wurde in einigen Abschnitten sogar Materialauftrag anstatt des erwarteten Abtrags gemessen. Jedoch ist nicht auszuschließen, dass auch geringes Aufquellen von Fasermaterial die Ursache sein kann.

Bei statischen Berechnungen von Linern wird der Abrieb üblicherweise nicht berücksichtigt, da der im Rahmen von Eignungsprüfungen gemessene Abrieb meist sehr gering ist und unterhalb der Dicke der Innenfolie liegt. In [17] wird der Abrieb des Laminats nach 50-jährigen Kanalbetrieb mit 0,5 mm angenommen und als Zuschlag zur statisch berechneten Wanddicke gefordert. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen zum Abriebverhalten bestätigen die Vermutung, dass eine Minderung der Wanddicke in der Rohrsohle infolge Sedimenttransport eine Ausnahme im Materialverhalten von Schlauchlinern darstellt, die nur bei äußerst mangelhafter Harztränkung überhaupt möglich scheint.

Um jedoch auch diesen Fall aus statischer Sicht bewerten zu können und den Einfluss von Abrieb infolge Sedimenttransport zu quantifizieren, wurden statische Berechnungen für Liner durchgeführt, die in der Sohle eine verringerte Wanddicke aufweisen. So wurden statische Berechnungen für Liner ohne Abrieb mit Berechnungen verglichen, in denen ein Abrieb von 20 % der Wanddicke angenommen wurde. Im statischen Modell werden die Wanddicken im Sohlbereich auf einer Breite von  $2\alpha = 30^\circ$ ,  $60^\circ$  und  $90^\circ$  entsprechend der o.a. Annahme verringert (Bild 28).

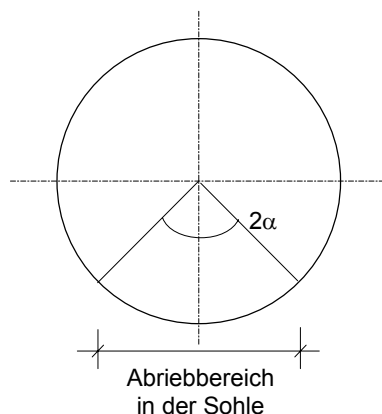


Bild 28: Rechnerische Variation des Abriebbereichs  $2\alpha = 30^\circ$ ,  $60^\circ$  und  $90^\circ$

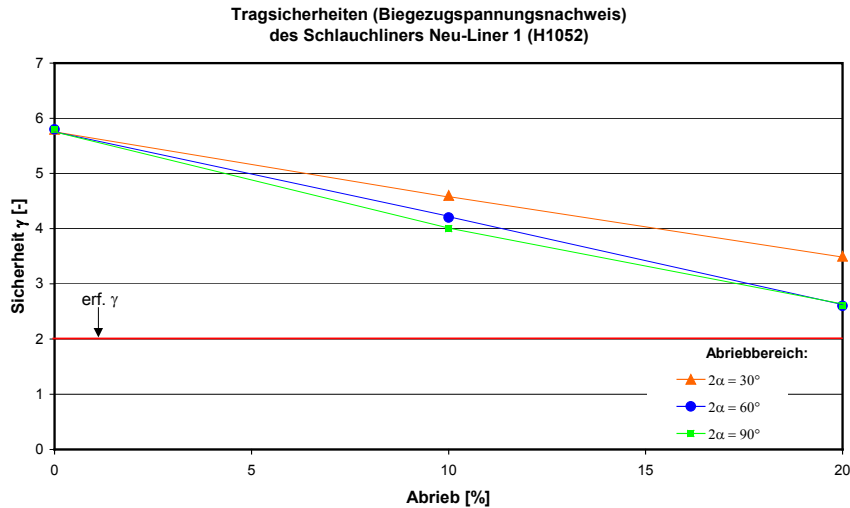
Die Ergebnisse der im Rahmen der statischen Berechnungen durchgeführten Parametervariationen sind unter Berücksichtigung der erforderlichen Nachweise in Tabelle 25 und Bild 29 sowie Bild 30 dargestellt.

Tabelle 25: Nachweise für einen Liner,  $d_a = 300$  mm,  $s_L = 6,11$  mm, Altrohrzustand I, Wasseraußendruck  $h_{W,So} = 4$  m, Abrieb in der Sohle über  $2\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$

Abriebbereich	Abrieb	Wasseraußendruck	Biegezugspannungsnachweis	Druckspannungsnachweis	Verformungsnachweis	Stabilitätsnachweis <sup>1)</sup>
$2\alpha$	-	$h_{W,So}$	$\gamma_{bz}$	$\gamma_D$	$\delta_v$	$\gamma_I$
	mm % von $s_L$	m	-	-	%	-
ohne Abrieb		4	20 / 3,46 = 5,8 > 2,0	25 / 5,23 = 4,8 > 2,0	2,1 < 10	4,4 > 2,0
30°	0,6 mm 10 %	4	20 / 4,34 = 4,6 > 2,0	25 / 6,32 = 4,0 > 2,0	2,5 < 10	3,2 > 2,0
	1,2 mm 20 %		20 / 5,73 = 3,5 > 2,0	25 / 7,98 = 3,1 > 2,0	2,6 < 10	2,3 > 2,0
	Abminderung der Sicherheiten, Verformungserhöhung bei 20 % Abrieb		- 40 %	- 34 %	+ 25 %	- 49 %
60°	0,6 mm 10 %	4	20 / 4,80 = 4,2 > 2,0	25 / 6,76 = 3,7 > 2,0	2,5 < 10	3,2 > 2,0
	1,2 mm 20 %		20 / 7,62 = 2,6 > 2,0	25 / 2,53 = 2,5 > 2,0	2,8 < 10	2,3 > 2,0
	Abminderung der Sicherheiten, Verformungserhöhung		- 55 %	- 47 %	+ 36 %	- 49 %
90°	0,6 mm 10 %	4	20 / 4,93 = 4,0 > 2,0	25 / 6,92 = 3,6 > 2,0	2,6 < 10	3,2 > 2,0
	1,2 mm 20 %		20 / 7,55 = 2,6 > 2,0	25 / 9,86 = 2,5 > 2,0	2,9 < 10	2,3 > 2,0
	Abminderung der Sicherheiten und Verformungserhöhung		-56 %	- 45%	+ 36 %	- 49 %

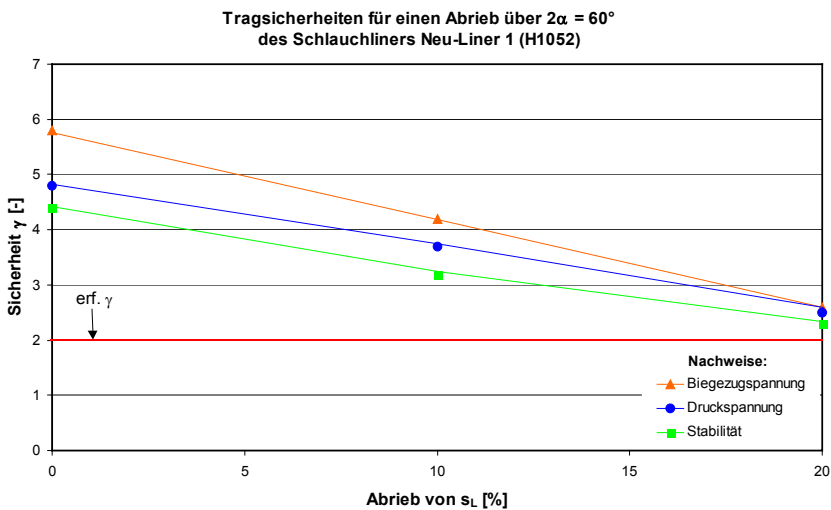
Die maximale Reduktion der Sicherheit beträgt beim Spannungsnachweis 56 %. Die Verformung vergrößert sich entsprechend. Eine Vergrößerung des Abriebbereichs von  $60^\circ$  auf  $90^\circ$  ergibt keine nennenswerte Abminderung der Sicherheiten des Spannungsnachweises.

<sup>1)</sup> Der Stabilitätsnachweis wird für einen Liner mit über dem gesamten Umfang reduzierter Wanddicke geführt. Daher sind die Sicherheitsbeiwerte unabhängig von der Größe  $2\alpha$  des Abriebbereichs, vgl. Tabelle 25, letzte Spalte.



<b>Geometrie:</b>	DN 300	<b>Lasten, Zustand:</b>	<b>Werkstoff:</b> Nadelfilz
Wanddicke	$s_L = 6,11$ mm	$h_{w,So} = 4,0$ m	Kurzzeit-E-Modul $E = 2800$ N/mm <sup>2</sup>
	$r_L / s_L = 25$ -		Langzeit-E-Modul $E = 1400$ N/mm <sup>2</sup>
Vorverformung	$w_V = 2$ %	Altrohrzustand I	Biegezugfestigkeit $\sigma_{bZ} = 20$ N/mm <sup>2</sup>
Lage in der Sohle	$2 \varphi_1 = 40^\circ$		Druckfestigkeit $\sigma_D = 25$ N/mm <sup>2</sup>
Spalt (Mindestwert)	$w_S = 0,5$ %		

Bild 29: Rechnerische Tragsicherheit (Biegezugspannungsnachweis) des Schlauchliners bei veränderlicher Abriegtiefe und –breite auf einer Breite von  $2\alpha = 30^\circ, 60^\circ$  und  $90^\circ$



<b>Geometrie:</b>	DN 300	<b>Lasten, Zustand:</b>	<b>Werkstoff:</b> Nadelfilz
Wanddicke	$s_L = 6,11$ mm	$h_{w,So} = 4,0$ m bzw.	Kurzzeit-E-Modul $E = 2800$ N/mm <sup>2</sup>
	$r_L / s_L = 25$ -		Langzeit-E-Modul $E = 1400$ N/mm <sup>2</sup>
Vorverformung	$w_V = 2$ %	Altrohrzustand I	Biegezugfestigkeit $\sigma_{bZ} = 20$ N/mm <sup>2</sup>
Lage in der Sohle	$2 \varphi_1 = 40^\circ$		Druckfestigkeit $\sigma_D = 25$ N/mm <sup>2</sup>
Spalt (Mindestwert)	$w_S = 0,5$ %		

Bild 30: Rechnerische Tragsicherheit (Biegezugspannung, Druckspannung, Stabilität) des Schlauchliners für einen Abrieb im Sohlbereich über  $2\alpha = 60^\circ$



### 3.4.2 Chemische Beständigkeit gegen Schwefelsäure

Für ein Schlauchlinersystem sollte auch bei Verwendung einer inneren Beschichtung oder einer innen verbleibenden Folie ein Beständigkeitsnachweis nach DIN EN ISO 175 im Rahmen einer Eignungsprüfung vorliegen. Dabei wird i.d.R. eine Beständigkeit gegen kommunales Abwasser im pH-Wert Bereich 1 – 10 (beständig insbesondere gegen biogene Schwefelsäure) und eine Temperaturbeständigkeit bis 55 °C gefordert (vgl. [30]).



Bild 31: Eingelagerte Linerproben auf Heizplatte

Im Rahmen der Untersuchungen zeigten sich in dem Einlagerungsversuch fast alle Linerproben beständig gegenüber Schwefelsäure. Nach der Entnahme aus dem Schwefelsäurebad wurden keine Veränderungen bzgl. Form und Farbe festgestellt. Auch eine Ablösung der Innenfolie wurde bei keiner der Proben beobachtet. Lediglich die Proben des Liners Nr. 13 nach Tabelle 15 wiesen farbliche Veränderungen im Randbereich sowie Verformungen auf, die auf chemische Reaktionen zurückzuführen sind (Bild 32). Zur Klärung der Ursache für diese Reaktionen wären weitergehende chemische Analysen erforderlich, die nicht Gegenstand dieses Projektes waren.

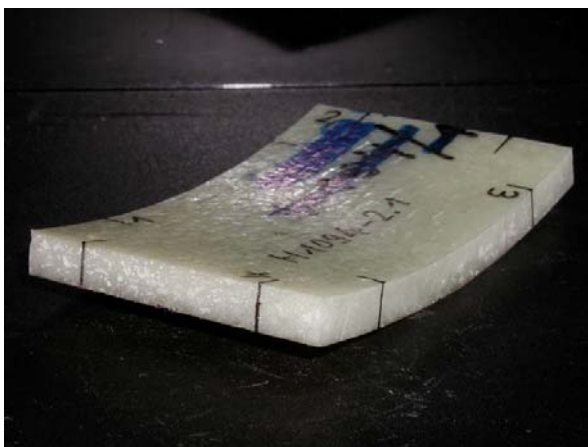


Bild 32: Materialveränderung: Ansicht einer Linerprobe vor und nach der Einlagerung

### 3.4.3 Hochdruck-Spülfestigkeit

Bei der Kanalreinigung mittels Hochdruck-Spülverfahren entstehen an den Rohrwandungen zeitweilig hohe Belastungen:

- Wasserstrahlen treffen mit hohem Druck und großer Kraft auf die Rohroberfläche.
- Von festen Ablagerungen gelöste Partikel werden durch die Wasserstrahlen und den Luftsog beschleunigt und schlagen auf die Wandung auf.
- Abschwemmen der gelockerten Sedimente (Kanalablagerungen).
- Düsenkörper und Schlauch schleifen über die Rohrsohle.
- Bei hoher Vorschub- oder Rückzugsgeschwindigkeit und bei gleichzeitig ausgeprägten Muffenversätzen ist ein Schlagen des Düsenkörpers an die Rohrwandung denkbar.

Diese Belastungen können im Extremfall zu hohen Beanspruchungen des Rohrmaterials mit Schadensfolgen wie Abrieb, Abplatzungen, Risse und Delamination [50, 51] führen. Entscheidenden Einfluss auf die Intensität der Belastung des Rohrwerkstoffes haben:

- Druck und Durchfluss an der Hochdruckdüse,
- Anzahl, Querschnitt und Austrittswinkel der Düseneinsätze,
- Geschwindigkeit und Anzahl der Reinigungsdurchgänge, (Dauer der örtlichen Belastung)
- Menge, Konsistenz und Zusammensetzung der zu lösenden Ablagerungen.

Zur Prüfung der Hochdruckspülfestigkeit von zwei Schlauchlinern (Länge ca. 1 m) aus in Betrieb befindlichen Haltungen wurde eine speziell angefertigte Versuchseinrichtung, der sogenannte „Pipe-Tester“ (vgl. [52]), eingesetzt. Der „Pipe-Tester“ besitzt eine horizontal fahrbare Arbeitsfläche zur Auflagerung der Prüfkörper, die mit Hilfe eines Elektromotors in eine Rechts-/Links-Bewegung versetzt werden kann. An einer durch das prüfende Rohr geführten Stange wird eine zehnstrahlige, in der Praxis häufig verwendete Rundstrahl-Düse befestigt. Das Linerrohr wird während des Spülvorgangs durch eine Vor- und Rückwärtsbewegung des Auflagetisches an der wasserstrahlenden Prüfdüse entlang geführt (Bild 33). Um die Kanalreinigung über die gesamte Lebensdauer zu simulieren, wurde der Spülvorgang 50 mal wiederholt.



a) HD-Spülfahrzeug stellt Pumpenleistung



b) Versuchseinrichtung mit Schwenktisch



b) Prüfdüse wird in das Rohr geführt



d) Liner wird 50 x entlang der Düse bewegt

Bild 33: „Pipe-Tester“ (vgl. [52]) zur Prüfung der Hochdruckspülfestigkeit von Rohrwerkstoffen; Prüfparameter: Durchfluss 320 l/min, Düsendruck 120 bar, 50 Spülungen

Darüber hinaus wurden drei jeweils 20 m lange Rohrstränge neuer Schlauchliner einer realitätsnahen Systemprüfung unterzogen, dem sogenannten Hamburger Spülversuch (vgl. [53]). Nach dem Hamburger Modell wird das Langzeitverhalten von Rohren, Rohrverbindungen und eingebundenen Seitenzuläufen gegenüber der Hochdruckreinigung unter Zugrundelegung realistischer Randbedingungen aus der täglichen Reinigungspraxis geprüft. Bei der Versuchsdurchführung wurde mit heute üblichen Reinigungsfahrzeugen, Spülschläuchen und einer ausgewählten Spüldüse (zehnstrahlig) gearbeitet. Alle für die Prüfung eingesetzten Betriebsmittel entsprechen dem heutigen Stand der Technik.

Es wurden insgesamt 50 Spüldurchgänge, entsprechend einer Lebensdauer von 50 Jahren bei jährlicher Reinigung, durchgeführt. Vor jedem Reinigungszyklus, bestehend aus dem Einbringen und Zurückziehen der Spüldüse, werden 20 Liter Prüfgeschiebe am Ende der Haltung eingefüllt. Durch die Reinigung wird das Geschiebe durch die Haltung transportiert und schließlich herausgespült. Durch diesen Transportvorgang treten mit der Praxis vergleichbare Beanspruchungen an den Rohrwandungen, den Rohrverbindungen und an den Zuläufen auf. Zusätzlich wurden statio-



näre Untersuchungen (punktuelle Dauerbelastungen über 3 min an drei Stellen) durchgeführt (Bild 35).



Bild 34: Prüfaufbau



Bild 35: stationäre Belastung über 3 min



Bild 36: Zustandskontrolle mit TV-Kamera

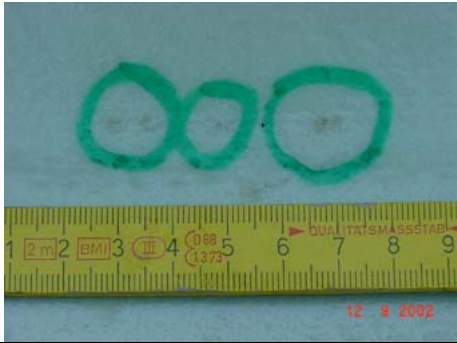





Bild 37: Prüfgeschiebe, Splitt (1-5 mm)

Die Prüfkriterien sind erfüllt, wenn durch die Prüfbelastung keine Veränderungen an Rohren, Rohrverbindungen und Anschlüssen optisch feststellbar sind, welche die Funktionsfähigkeit, Tragfähigkeit und Dichtheit des Rohres beeinflussen. Der vorgeschriebene Prüfdruck beträgt 120 bar an der Düse, bei einem Volumenstrom von ca. 320 l/min. Insgesamt wurden, wie bei den Versuchen im „Pipe-Tester“, 50 Reinigungszyklen durchgeführt, wobei ein Zyklus aus einer Vor- und einer Rückwärtsbewegung durch den gesamten Rohrstrang besteht. Während der Versuchsdurchführung wurden nach jedem Reinigungszyklus 20 Liter Kalkstein-Edelsplitt als Prüfgeschiebe am Ende der Haltung eingefüllt (Bild 37). Nach Abschluss der Prüfung wurde der Rohrstrang z.T. aufgeschnitten, um die Rohrrinnenflächen detailliert auf Schäden untersuchen zu können.

An den Linerproben und Rohrsträngen, die im *Pipe-Tester* und im *Hamburger Spülversuch* belastet wurden, waren nach optischer Begutachtung keine wesentlichen Veränderungen der Linerwandung feststellbar. Lediglich im Sohlenbereich der Rohre waren leichte Schleifspuren, verursacht durch die Reinigungsdüse, zu erkennen. Darüber hinaus zeigte sich an der Rohrwand geringfügiger Abrieb durch das Prüfgeschleife.

Tabelle 26: Visuelle Prüfung nach dem Hamburger Spülversuch, Beispiel

Versuchsprotokoll Hochdruckspülfestigkeit Schlauchliner			
Ort:	Auffälligkeit:		Bildhinweise:
Abzweig / Stutzen	ja <input type="radio"/>	nein <input checked="" type="radio"/>	- sämtliche vier Einbindungsstellen zeigten keine Auffälligkeiten
Rohrschaft	ja <input checked="" type="radio"/>	nein <input type="radio"/>	- Rohrsohle mit 1-2 mm großen punktuellen Veränderungen an der Oberfläche der Innenfolie nach den stationären Belastungen (Bild 38) - Rohrsohle mit leichten Schleifspuren der Spüldüse und Abrieb des Schlauchmaterials auf der Oberfläche der Innenfolie (Bild 39) - Kämpfer und Scheitelbereiche ohne sichtbare Veränderung, Beispiel Rohrscheitel (Bild 41)
			
Bild 38: Rohrsohle		Bild 39: Rohrsohle	
			
Bild 40: Rohrsohle		Bild 41: Rohrscheitel	
<b>Bemerkung:</b> Vor Beginn der Prüfung war die Innenfläche des Liners ohne visuell feststellbare Auffälligkeiten oder Beschädigungen. Nach Abschluss der instationären Prüfung waren lediglich im Sohlbereich an der Oberfläche der Innenfolie leichte Schleifspuren bzw. eine geringe Rauigkeit zu erkennen. Darüber hinaus zeigten sich an einer Stelle, die stationär über drei Minuten belastet wurde, punktuelle Beschädigungen der Innenfolie mit einem Durchmesser von ca. 1-2 mm (vgl. Bild 38).			

### 3.4.4 Untersuchungen zur Materialalterung

Die Alterung von Materialien ist ein fortwährender Prozess mit sehr fließenden Übergangsstadien, die schwer zu beobachten sind. In vielen Fällen wird der Alterungsprozess erst offensichtlich, wenn Bauteile versagen oder nicht mehr den an sie gestellten Anforderungen genügen. Verhindert werden kann der Alterungsprozess grundsätzlich nicht. Allerdings können gewisse Maßnahmen ergriffen werden, den Ausfall der Bauteile beträchtlich hinauszuzögern. Zum einen zählt hierzu die Auswahl eines möglichst beständigen Materials, zum anderen müssen die eingesetzten Rohstoffe so verarbeitet werden, dass das Endprodukt seine optimale Leistungsfähigkeit erhält. Da auch bei qualitativ hochwertigem Material ein Alterungsprozess abläuft, sind die Zusammenhänge zwischen den Materialeigenschaften und den Alterungsbedingungen zu erkennen, um rechtzeitig Instandsetzungsmaßnahmen planen zu können.

Bezogen auf Schlauchliner bedeutet dies, dass z.B. hohe Abwassertemperaturen, chemischer Angriff durch besondere Abwasserinhaltsstoffe oder extremer Wasser- außen- bzw. -innendruck (z.B. Überflutung) zu einer beschleunigten und vorzeitigen Alterung führen können. Eine schlechte Verarbeitung des Liners beim Verlegen, z.B. bei zu niedrigen Aushärtungstemperaturen, verursacht u.U. eine Beschleunigung der Alterung des Linermaterials. Wird vom Verarbeiter anstelle der geforderten Harzqualität ein „billigerer“ Typ verarbeitet, kann der so hergestellte Liner ebenfalls den Anforderungen nicht lange genug standhalten. Aber auch beim ganz normalen Betrieb des Schlauchliners ist das Alterungsverhalten bislang noch unbekannt.

Im Fokus der Untersuchungen zur Materialalterung stand daher die Frage, inwieweit bei Linern, die längere Zeit der Kanalatmosphäre ausgesetzt waren, Alterungseffekte nachgewiesen werden können. Hierzu wurden Liner aus zwei in Betrieb befindlichen Kanälen mit Hilfe von chemischen Untersuchungsmethoden näher analysiert. Dabei bestand die besondere Aufgabe darin, Aussagen über das Alterungsverhalten zu erlangen, ohne die Ergebnisse der gealterten Proben mit denen von Rückstellmustern aus der Zeit des Einbaus vergleichen zu können. Im Vordergrund stand daher die Erarbeitung von Grundlagen zur Beurteilung der Materialeigenschaften im Hinblick auf das Alterungsverhalten. Besonderes Augenmerk wurde darüber hinaus auf die Bestimmung der Identität der Reinharze, des Aushärtegrades und den Nachweis evtl. Schädigungen des Liner-Materials gelegt. Sämtliche Untersuchungen zur Materialalterung wurden in Kooperation mit Prof. Dr. Klaus-Uwe Koch von der Fachhochschule Gelsenkirchen, des Fachbereichs für angewandte Naturwissenschaften (LG Organische Chemie und Polymere) durchgeführt (vgl. [54]).

#### *Vorgehensweise*

Es wurden Schichtaufnahmen aus der Linerwandung an unterschiedlichen Stellen des Rohrquerschnitts herausgelöst. So konnten die chemischen Analysen von Proben der Innenwand des Liners, die über mehrere Jahre dem Abwasser und der Kanalatmosphäre ausgesetzt war, mit vermeintlich weniger beanspruchten Proben aus



der Mitte des Querschnitts oder aber der äußeren Schicht im Scheitelbereich verglichen werden. Diese Proben wurden sowohl aus dem Bereich der Kanalsole als auch aus dem Bereich des Scheitels entnommen (s. Abb. 1). Es standen hierfür ein EP- und ein UP-Harz-Liner zur Verfügung.

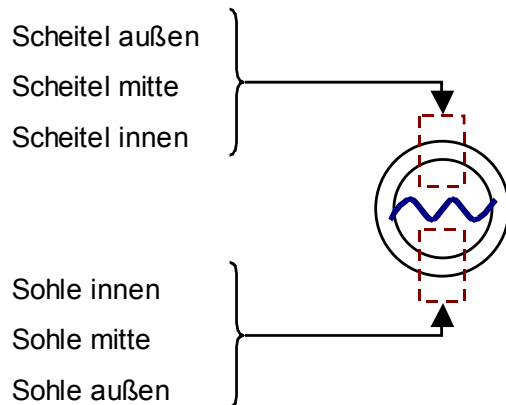


Bild 42: Probenahmestellen für chemische Untersuchungen, aus [54]

Darüber hinaus konnten für den aus dem Kanalnetz entnommenen EP-Harzliner zwei vom Hersteller aus der gleichen Harztype frisch hergestellte Probenserien im Vergleich zu den gealterten Proben untersucht werden. Eine Serie wurde bei drei unterschiedlichen Temperaturen im Ofen ausgehärtet und enthielt keinen Verstärkungsfalz. Die andere Serie wurde analog der Aushärtung im Kanal durch Wärmeeintrag auf nur einer Seite ausgehärtet. Die Aushärtung erfolgte ebenfalls bei drei verschiedenen Temperaturen allerdings mit Verstärkungsfalz.

### Untersuchungsprogramm

Zur Beurteilung wurden eine Reihe von Prüfkriterien untersucht. In Tabelle 1 sind sie der jeweiligen Prüfmethode zugeordnet.

Tabelle 27: Prüfkriterien und Prüfmethoden

Prüfkriterium	Prüfmethode
Glasübergangstemperatur ( $T_g$ )	Dynamisch Mechanische Thermoanalyse (DMA) Differential Scanning Calorimetry (DSC) Mikrothermoanalyse ( $\mu$ -TA)
Mechanischer Verlustfaktor ( $\tan \delta$ )	Dynamisch Mechanische Thermoanalyse (DMA)
Komplexe Viskosität ( $\eta^*$ )	Dynamisch Mechanische Thermoanalyse (DMA)
Thermischer Abbau, Masseverlust	Thermogravimetrie (TGA)
Oberflächenhärte	Härteprüfung nach Vickers
Identität, Zusammensetzung	Infrarotspektroskopie (IR)
Restmonomeregehalt	Head-Space-Gaschromatographie (Head-Space GC)

Die **Glasübergangstemperatur  $T_g$**  stellt, ähnlich wie die Schmelztemperatur einer Substanz, einen charakteristischen Kennwert für polymere Materialien dar. Sie beschreibt den Punkt (oder eher Bereich), an dem das Material von einem glasartigen in einen eher elastischen Zustand übergeht. Ist ein Liner aufgrund zu niedriger Aushärtetemperaturen z.B. nicht vollständig ausgehärtet, wird er gegenüber dem korrekt verarbeiteten Material eine niedrigere  $T_g$  aufweisen. Schädigung oder Alterung des Liners sollte sich genauso äußern. Messungen der  $T_g$  erfolgten mit Hilfe der **Dynamisch Mechanische Thermoanalyse DMA**, **Differential Scanning Calorimetry DSC** und mit der **Mikrothermoanalyse  $\mu$ -TA**. Die letztgenannte Methode sollte orts aufgelöste Aussagen ermöglichen.

Der mechanische Verlustfaktor  **$\tan \delta$**  beschreibt das elastische Verhalten einer Probe. Hohe Werte zeigen dabei ein plastisches Verhalten an. Dies wird im betrachteten Anwendungsfall von einem Material niedriger Güte erwartet. Im Vergleich dazu sollte ein mechanisch höherwertiger, standfesterer Liner niedrigere Werte zeigen. Diese Aussagen werden ebenfalls von der DMA geliefert. Mit Hilfe dieser Methode erhält man auch die komplexe **Viskosität  $\eta^*$** , die Aussagen über das Fließverhalten und die Standfestigkeit des Materials liefert. Hohe Werte zeigen dabei eine höhere mechanische Güte an.

Die **Thermogravimetrie TGA** ermöglicht Aussagen über Zersetzungstemperaturen, die Massendifferenzen bei der jeweiligen Zersetzungstemperatur und die zugehörige Zersetzungsgeschwindigkeit. Die **Härteprüfung nach Vickers** sollte Rückschlüsse auf den Aushärtegrad und den Alterungszustand, die **Infrarotspektroskopie (IR)** nach einem Vergleich mit Laborstandards auf Identität und Zusammensetzung und die **Head-Space-Gaschromatographie Head-Space GC** auf den Restmonomerengehalt, allerdings nur der UP-Harz-Liner, zulassen.

Tabelle 2 zeigt das Prüfprogramm, das im Rahmen der vorliegenden Untersuchung durchgeführt wurde. In Bild 43 ist das Rheometer, mit dem die DMA-Messungen durchgeführt wurden, zu sehen sowie die präparierten Schichtproben des untersuchten EP-Harz-Liners.

Tabelle 28: Prüfplan der durchgeführten Untersuchungen (\*n.a. = nicht anwendbar)

Prüfung	EP-Liner			UP-Liner
	gealterte Probe	Herstellerprobe, mit Filz, versch. Temperaturen	Herstellerprobe, ohne Filz, versch. Temperaturen	gealterte Probe
DSC	X	-	-	X
DMA	X	X	X	X
TGA	X	-	-	X
$\mu$ -TA™	X	-	-	-
Vickers-Härte	X	-	-	-
Styrolgehalt (GC)	n.a.*	n.a.*	n.a.*	X
IR-Spektrum	X	X	-	X

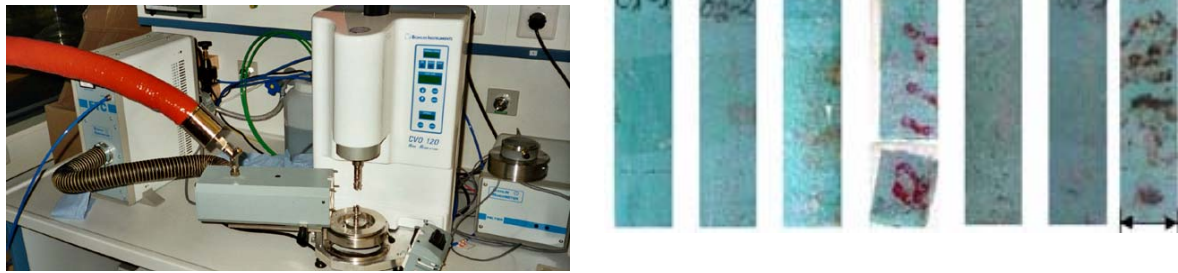


Bild 43: Beispiel DMA Messungen, links Rheometer, rechts präparierte Schichtproben

### Ergebnisse

#### EP-Harz-Liner

Im Rahmen des Projektes wurden die **Glasübergangstemperaturen (DMA, DSC)** von gealterten EP-Proben aus in Betrieb befindlichen Kanälen mit neu hergestellten Proben gleicher Harztype verglichen. Die Glasübergangstemperaturen der gealterten Proben zeigten einen weiten Streubereich zwischen 58° C und 91° C. Dieser Hinweis auf ein sehr inhomogenes Probenmaterial lässt sich durch eine einfache optische Bewertung der Proben bestätigen. Aus dem Baustellenbericht geht hervor, dass der Liner auf der Baustelle getränkt wurde. Dieser Teilprozess der Linerherstellung erfolgt nunmehr bei den meisten Anwendern unter kontrollierten Randbedingungen in einem Herstellerwerk. Die hohen Glasübergangstemperaturen sind Hinweis darauf, dass eine ausreichende Harzqualität vorlag. Da die Verarbeitung und Durchtränkung des Trägermaterials jedoch (optisch nachweislich) unzureichend erfolgte, ist die Ursache der niedrigen Glasübergangstemperaturen nicht eindeutig zu klären. Mit hoher Wahrscheinlichkeit lassen sie sich jedoch auf die o.a. Verarbeitungsmängel zurückführen.

Betriebliche Einflüsse auf die Materialalterung der Linerinnenwand ließen sich nicht bestimmen. Die Betrachtungen von evtl. zu vermutenden Materialalterungseffekten über den Rohrquerschnitt (Sohle: ständig Abwasser, Kämpfer: Wechselbedingungen, Scheitel: Gasraum) ergaben keine Anhaltspunkte für systematische Verteilungen; ebenso wie die Untersuchungen der Linerwandung in Schichten von Innen nach Außen.

Die zum Vergleich herangezogenen „neuen“ Proben gleicher Harztype wurden bei unterschiedlichen Aushärtungstemperaturen (60, 70, 80 °C) hergestellt. Die Glasübergangstemperaturen dieser Proben zeigten eine ähnliche Bandbreite im Temperaturbereich wie die gealterten Proben. Erwartungsgemäß wiesen die bei 60 °C gehärteten Proben aufgrund des geringeren Aushärtegrades deutlich niedrigere Glasübergangstemperaturen auf, als die bei 80°C. Im vorliegenden Fall wurden die bei 60° C hergestellten Proben doppelt so lange (6 h) ausgehärtet wie die bei 80° C gehärteten Proben. Die o.a. Differenz ist sicherlich noch größer, wenn die Muster gleiche Aushärtungszeiten haben.

Es wurden auch Unterschiede zwischen Reinharzproben und filzhaltigem Material festgestellt. Reinharzproben weisen eine 5 - 10° Grad niedrigere Glasübergangstemperatur auf, als filzverstärkte. Dies zeigte ein Vergleich der neuen Reinharzproben mit ebenfalls neuen, jedoch filzverstärkten Harzproben.

Bei der Auswertung der **tan  $\delta$ -(Verlustfaktor)-Kurven** zeigte sich, dass beispielsweise alle Linerproben aus dem realen Betrieb eine höhere Elastizität im Vergleich zu den Proben aus Reinharz und filzverstärktem Harz hatten. Offen bleibt die Frage, ob es sich um ein Verarbeitungsphänomen handelt oder um einen Alterungseffekt.

Die  **$\eta^*$ -Kurven** führen zu ähnlichen  $T_g$ -Werten wie die tan  $\delta$ -Messungen.

Insgesamt scheinen die DMA-Messungen gegenüber den DSC-Untersuchungen in diesem Zusammenhang zuverlässiger und außerdem aussagekräftiger zu sein, da neben der  $T_g$  eine Reihe mechanischer Aussagen gemacht werden kann, wie z.B. der Verlust an Strukturstabilität über die  $\eta^*$  und  $\Delta\eta^*$ -Werte und die Aussage zu Elastizitäten bzw. deren Änderung über die tan  $\delta$ -Werte.

Die **TGA-Messungen** zeigte beim EP-Harz-Liner im äußeren Bereich einen höheren Masseverlust im Vergleich zu den anderen Proben. Ob es sich hierbei um einen unterschiedlichen Filzanteil handelt oder um andere Effekte kann ohne weitere systematische Untersuchungen nicht festgestellt werden. Die TGA-Messungen scheinen insbesondere dann, wenn die Möglichkeit besteht, diese mit einem Massenspektrometer zu koppeln, gute Aussagen über die Zusammensetzung der Liner zu liefern. Derartige Untersuchungen könnten sowohl die Fragen nach dem Harzgehalt der DMA-Proben aufklären helfen als auch Unterstützung bei der Frage nach der Harzidentität liefern.

Die Ergebnisse der **IR-Spektroskopie** zeigten, dass diese Prüfmethode sich zur Identitätsprüfung der Harze eignen kann. Bei einer umfassenden Spektrenbibliothek, in der die Eigenschaften der vom Auftraggeber zur Anwendung freigegebenen Harz-Typen, Verstärkungsmaterialien und zusätzlichen Verarbeitungshilfsstoffe hinterlegt sind, wäre eine relativ sichere und schnelle Zuordnung eines unbekanntes Linermaterials zur eingesetzten Harztype möglich.

Die **Härteprüfung** zeigte keine signifikanten Materialunterschiede über den Probenquerschnitt. Für den UP-Harzliner (s.u.) wurden daher keine Messungen durchgeführt.

Die  **$\mu$ -TA™** unterstützt die Aussagen, die mit Hilfe der DSC und DMA gemacht wurden. Ortsaufgelöste, differenzierte Werte, wie sie erhofft wurden, lieferte diese Methode allerdings nicht. Dies ist auf eine zu hohe laterale Auflösung der Methode zurückzuführen. Füllstoffanteile und Probeninhomogenitäten treten in den Vordergrund, was irreführende Aussagen ergibt. Daher wurde auf weitere Messungen bei dem UP-Harz-Liner verzichtet.

## UP-Harz-Liner

Der UP-Harz-Liner macht nicht nur optisch einen viel homogeneren Eindruck. Bei den **DMA-Messungen** zeigt sich eine viel höhere Glasübergangstemperatur als beim EP-Harz-Pendant. Ausreißer gibt es nur bei der Probe „Scheitel außen“ nach unten und „Sohle innen“ nach oben. Worauf diese Effekte zurückzuführen sind, lässt sich nicht ohne weitere Untersuchungen klären. Interessant wäre auch hier, gezielt geschädigte Proben mit den Nullmustern zu vergleichen. Im Innern ist der Liner elastischer als außen. Er zeigt dort auch eine höhere  $T_g$ . Möglicherweise ist das Material dort besser durchgehärtet.

Beim UP-Harz-Liner versagte die **DSC-Methode** vollständig. Die DSC-Untersuchung führte wahrscheinlich aufgrund zu geringer Wärmekapazitäten des Materials nicht zum Erfolg. Diese Untersuchung kann – zumindest mit dem vorhandenen Gerät – nicht durchgeführt werden.

Bei den **TGA-Untersuchungen** sind zwei verschiedene Zersetzungsbereiche aufgetreten. Es wäre interessant, diesen Zersetzungsstufen chemische Verbindungen zuzuordnen.

Die **Head-Space-Gaschromatographie** ergab für die Untersuchung der Gesamtlinerstücke aus dem Bereich der Sohle und des Scheitels jeweils einen sehr niedrigen Restmonomergehalt (Sohle: 0,11% und Scheitel: 0,06%), der entweder auf gute Durchhärtung oder aber auf eine Styrolextraktion während des Betriebes zurückgeführt werden kann. Das letztere scheint eher unwahrscheinlich, da das Linermaterial hauptsächlich mit wässrigen Medien in Kontakt gewesen ist. So löst sich Styrol als ein organischer Stoff nur zu einem geringen Anteil in Wasser. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein großer Restmonomergehalt sich durch Lösen in Wasser auf das hier gemessene Mass verringert hat, ist daher verhältnismäßig gering.

Bei der **IR-spektroskopischen Untersuchung** handelt es sich, wie bereits beim EP-Harzliner erwähnt, um ein probates Mittel zur Identitätskontrolle.

### *Zusammenfassung und Empfehlungen*

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass mit Hilfe der DMA, TGA und IR-Spektroskopie interessante Effekte beobachtet werden können. Die Zuordnung zu den Ursachen lässt allerdings noch zu wünschen übrig. Notwendige Voraussetzung für gesicherte Kenntnisse sind systematische Untersuchungen, die es erlauben, die gemessenen Effekte genau zuzuordnen. Im Falle von UP-Harz-Linern können weitere GC-Untersuchungen ergänzende Aussagen liefern.

In Tabelle 29 sind die Prüfungen hinsichtlich ihres Ergebnisses und des zu erwartenden Nutzens zusammengefasst. Bei Vorliegen weiterer Erfahrungswerte, insbesondere hinsichtlich einer zeitlichen Begleitung einer Sanierungsmaßnahme, ist zu erwarten, dass insbesondere die DMA wertvolle Hinweise auf den Aushärtezustand,

den Alterungszustand des Linermaterials und die Betriebsbedingungen zulässt. Außerdem können mikromechanische Kennwerte mit dieser Methode erhalten werden, die bei entsprechender Erfahrung möglicherweise mit mechanischen Prüfwerten wie beispielsweise dem 3-Punkt-Biegeversuch in Verbindung gebracht werden können.

Zu Zwecken der Identifikation und der halbquantitativen Zusammensetzung eignet sich die IR-Spektroskopie sowie die TGA-MS. Ein wertvolles Hilfsmittel für die Bestimmung des Aushärtegrades stellt außerdem die Head-Space-GC dar. Diese ist allerdings nur für UP-Harz-Liner anwendbar. Die Möglichkeiten für die Anwendung der Prüfmethoden bei Sanierungsmaßnahmen sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 29: Bewertung des Prüfprogramms

Prüfung / Messwert	Erzieltes Ergebnis	Aufwand	Nutzen	Empfehlung
DSC (T <sub>g</sub> )	Unbefriedigend	hoch	gering	keine weitere Untersuchung
DMA	Interessante Effekte (Aushärtegrad, Elastizität, Glasübergangstemperatur, mikromechanische Werte)	hoch	hoch	systematische Untersuchungen sinnvoll
IR	Interessante Effekte hinsichtlich Harztyp und möglicherweise Füllstoffen	gering	hoch	Einrichtung einer Datenbank
TGA(-MS)	Interessante Effekte hinsichtlich Harztyp und möglicherweise Füllstoffen	mittel	hoch	systematische Untersuchungen mit der TGA-MS-Kopplung
Head-Space-GC	Aussage Aushärtegrad (nur UP)	mittel	hoch	nach Bedarf für UP-Liner
Härte nach Vickers	Keine	mittel	kein	keine weitere Untersuchung
μ-TA	Effekte sichtbar, sehr großer Mikrostruktureinfluss	sehr hoch	sehr gering	keine weitere Untersuchung

Tabelle 30: Beispiele für baubegleitende Probenahmen und chemische Analysen zur Alterung von Schlauchlinern in „normalen“ bzw. auch „aggressiven“ Betriebsbedingungen

Prüfung/ Messwert	erzielbares Ergebnis	Zeitpkt. der Massnahme
<b>IR-Analyse</b>	Identifikation der verwendeten Materialien	Bauabnahme, Streitfall
<b>TGA-MS</b>	Identifikation der verwendeten Materialien, halbquantitative Zusammensetzung	Bauabnahme, Streitfall
<b>Head-Space-GC</b>	Aushärtegrad von UP-Harzlinern	Bauabnahme, Streitfall
<b>DMA</b>	Aushärtegrad Effekte der Materialalterung in einer Zeitreihe nachweisbar Einfluss verschiedener Betriebsbedingungen nachweisbar	Bauabnahme Bauabnahme, anschließend nach Notwendigkeit



### 3.5 Bewertung der Standsicherheit

Die Tragsicherheit von Schlauchlinern wird beeinflusst durch die Auswahl und Verarbeitung der verwendeten **Werkstoffe**, durch die bei dem Einbau und dem Aushärten entstehende **Geometrie** der Auskleidung und durch die äußeren und inneren **Belastungen** während der Betriebszeit. Die Werkstoffeigenschaften sind durch Kennwerte, die durch unterschiedliche Materialprüfungen ermittelt werden, differenziert beschreibbar und können mit Hilfe von Grenzwerten bewertet werden.

Zur Bestimmung der geometrischen Eigenschaften gibt es bisher nur wenige und selten angewendete Messmethoden. Bei einem Liner sind der Ringspalt, der sich nach dem Einbau zwischen Altrohr und Liner einstellt, die Ovalität und die Abmessungen von ggf. vorhandenen Falten sowie die Schwankung der Wanddicke in Umfangsrichtung und über die Haltungslänge in vielen Fällen nahezu unbekannt.

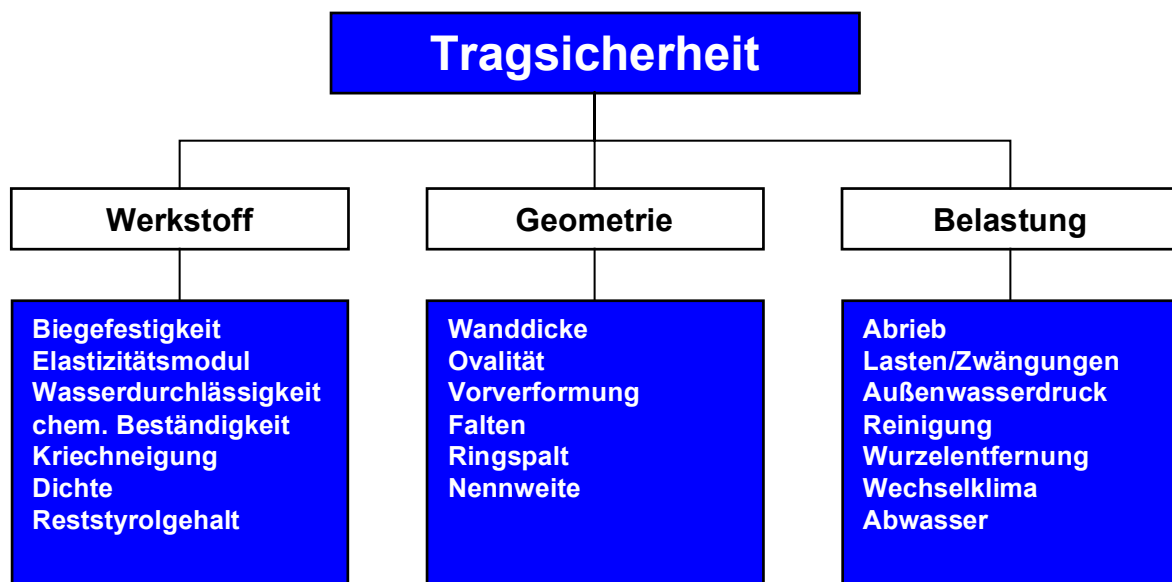


Bild 44: Einflussgrößen auf die Tragsicherheit von Schlauchlinern

Im Rahmen des Forschungsprojektes konnten die o.a. geometrischen Kennwerte an den unversehrt aus dem Kanalnetz ausgebauten Abschnitten des Altrohres und zugehörigen Schlauchliners vermessen werden. So stand ein großer Teil der festgestellten Einbaumängel im Zusammenhang mit der Lage des Liners im Altrohr (Ringspaltbildung, Vorverformung, Faltenbildung). Der geplante close-fit Einbau wurde in zwei von drei Fällen nicht erreicht. Der Einfluss der gemessenen Geometrie- und Werkstoffkennwerte auf die Tragsicherheit wurde durch Sensitivitätsanalysen im Rahmen der nachträglich durchgeführten statischen Berechnungen dargestellt (vgl. Abschnitt 3.2).

### Vergleichende Berechnungen zu den Einflussgrößen der Tragsicherheit

Im Folgenden werden die zuvor einzeln untersuchten Einflussgrößen an einem Beispiel hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Standsicherheit verglichen. Dabei ist besonders hervorzuheben, dass die gewählten Eingangsgrößen zur Beschreibung der geometrischen Randbedingungen (Ringspalt, Wanddicke und Längsfalte) an den realen Altrohr- und Linerproben gemessen wurden. Die nachfolgenden Sicherheitsbetrachtungen beziehen sich grundsätzlich immer auf Beispielrechnungen. Die Ergebnisse sind, ohne Berücksichtigung der im Einzelfall vorliegenden Randbedingungen, nicht übertragbar auf andere Baumaßnahmen.

Zur besseren Vergleichbarkeit wird die relative Abnahme der Sicherheiten (in Prozent) mit einem Standardfall, der die Mindestwerte nach ATV-DVWK-M 127-2 [38] erfüllt, verglichen. Der Standardfall erhält als Bezugsgröße die Tragsicherheit 100 %. Die Berechnungsannahmen für den Standardfall entsprechen einem „neuwertigen Liner“ und wurden in Anlehnung an [17] gemäß Tabelle 31 gewählt.

Tabelle 31: Annahmen für die vergleichenden statischen Berechnungen

<b>Schlauchliner</b>			
Synthesefaserliner, DN 300 mit $s_L = 6 \text{ mm}$ ( $r_L/s_L = 25$ )			
<b>Geometrische Kennwerte</b>			
1. Örtliche Vorverformung:			
- Stich: $w_v = 2 \%$ des Linerradius (Mindestwert nach ATV-DVWK-M 127-2 [38])			
- Lage: in der Sohle, Öffnungswinkel: $2\varphi_1 = 40^\circ$			
2. Spaltbildung:			
- $w_s = 0,5 \%$ des Linerradius (Mindestwert nach ATV-DVWK-M 127-2 [38])			
<b>Einbau-Randbedingungen</b>			
Die Grundwasserhöhe wird mit $h_{w,So} = 3,0 \text{ m}$ über Linersohle gewählt – der Mindestwert nach ATV-DVWK-M 127-2 [38] beträgt $h_{w,So} = 1,5 \text{ m}$ bzw. $h_{w,So} = \text{DN} + 0,1 \text{ m}$ .			
Bei Vorliegen des Altrohrzustandes I werden nach [38] die Erd- und Verkehrslasten weiterhin vom Altrohr-Bodensystem übernommen, sie treten daher in der statischen Berechnung des Liners nicht auf.			
<b>Werkstoffkennwerte</b>			
Für die Werkstoffkennwerte werden Werte angenommen, wie sie für Schlauchliner aus Synthesefaserlaminat üblich sind (vgl. z. B. [14]):			
Kurzzeit-E-Modul	$E_{\text{Kurz}}$	=	2.800 N/mm <sup>2</sup>
Langzeit-E-Modul	$E_{\text{Lang}}$	=	1.400 N/mm <sup>2</sup>
Biegezugfestigkeit	$\sigma_{bZ}$	=	20 N/mm <sup>2</sup>
Druckfestigkeit	$\sigma_D$	=	25 N/mm <sup>2</sup>
<b>Die geometrischen und werkstofflichen Randbedingungen wurden in Anlehnung an die Untersuchungsergebnisse an realen, aus dem Kanalnetz ausgebauten Proben gewählt (vgl. Abschnitt 3)</b>			

Vergleichsrechnungen mit anderen **Nennweiten** und gleichem Verhältnis  $r_L/s_L$  zeigten keine signifikant anderen Ergebnisse, so dass eine Beschränkung auf die Nennweite DN 300 möglich ist. Ein Grund hierfür ist, dass die Gleichung für die Beullast das Verhältnis  $r_L/s_L$  enthält.

Tabelle 32: Tragsicherheiten für einen Schlauchliner nach Tabelle 31 bei Variation verschiedener geometrischer und werkstofflicher Einflussgrößen

Variationsparameter	Annahmen	Biegezugspannungsnachweis		Druckspannungsnachweis		Verformung		Stabilitätsnachweis	
		$\gamma_{bz}$		$\gamma_D$		$\delta_v$		$\gamma_I$	
		-	%	-	%	%	%	-	%
<b>Standard</b>		<b>8,043</b>	<b>100</b>	<b>6,527</b>	<b>100</b>	<b>1,94</b>	<b>100</b>	<b>5,668</b>	<b>100</b>
Ringspalt $w_s$	1%	6,187	77	5,496	84	2,54	131	4,317	76
	2%	4,261	53	4,208	64	3,72	192	3,324	59
Abrieb $\Delta s$ in der Sohle (60%)	10 %	6,022	75	5,198	80	2,32	120	4,132	73
	20 %	4,026	50	3,766	58	2,55	131	2,902	51
Kriechfaktor $A_1$	3	6,881	86	5,859	90	2,23	115	3,777	67
	5	4,858	60	4,497	69	2,90	149	2,267	40
Längsfalte $w_{V,Falte}$	5%	5,192	65	4,864	75	2,08	107	5,668	100
	7%	3,389	42	3,516	54	2,20	113	5,668	100
Wanddickenreduzierung	90 %	5,737	71	5,002	77	2,12	109	4,331	76
	80 %	3,829	48	3,586	55	2,38	123	3,200	56

Die vergleichende Betrachtung verdeutlicht, dass die geometrischen Kennwerte einen erheblichen Einfluss auf die Tragsicherheit haben. Zum Zeitpunkt der Bauabnahme kann ein Schlauchliner intakt und funktionsfähig aussehen. Ist jedoch bspw. ein ausgeprägter **Ringspalt** entstanden, so ist bei entsprechendem Außenwasserdruck die „statische“ Nutzung u.U. schon kurzfristig gefährdet (Beulversagen).

Eine Verdoppelung des nach ATV-DVWK-M 127-2 [38] anzusetzenden Mindestwertes des Ringspalttes von  $w_s = 0,5$  % des Linerradius führt im vorliegenden Fall zu einer Reduktion der Sicherheitsbeiwerte auf ca. 75 % des neuwertigen Liners. Wird der Ringspalt auf 2,0 % vergrößert, verringert sich die Tragsicherheit auf ca. 50 %. D.h. in dem o.a. Rechenbeispiel reicht ein Ringspalt von nur 3 mm bereits aus, um die Hälfte der Tragsicherheit einzubüßen (vgl. Tabelle 32). Für einen knapp bemessenen Schlauchliner ist damit bereits die Versagensgrenze erreicht ( $\gamma = 1,0$ ).

Bei unzureichender Kalibrierung des Altrohres bzw. fehlerhaft konfektionierten Linerschläuchen können beim Einbau **Vorverformungen** im Sinne von Längsfalten entstehen [39]. Deren Einfluss auf die Tragsicherheit unter Außenwasserdruck ist er-

heblich. Eine Längsfalte von 5% des Linerradius bewirkt eine Reduktion der Sicherheiten auf 65 % bzw. 75 %. Der Tragsicherheitsbeiwert erreicht nur noch 42 % bzw. 54 % des Ausgangswertes, wenn das Stichmaß der Längsfalte auf 7 % anwächst. Dies entspricht im Rechenbeispiel einem Stichmaß von nur einem Zentimeter (vgl. Tabelle 32).

Die Reduzierung der **Wanddicke** um 20 % führt ebenfalls zur Abnahme der Tragsicherheiten auf Werte um 50 % der Ausgangswerte. Der Absolutwert beträgt im Rechenbeispiel dabei lediglich 1,2 Millimeter (vgl. Tabelle 32).

Um eine ähnliche Wirkung zu erzielen müssen die **Werkstoffkennwerte** vergleichsweise dramatisch unterhalb den Standard-Kennwerten liegen. So wird beispielsweise erst mit einem Abminderungsfaktor von  $A_1 = 5$  (üblich ist 2) die Tragsicherheit um 50 % reduziert (vgl. Tabelle 32). Für den Kurzzeit-E-Modul von  $2.800 \text{ N/mm}^2$  (=100 %) bedeutet dies eine Abminderung auf nur noch  $1.160 \text{ N/mm}^2$  (= 40 %).

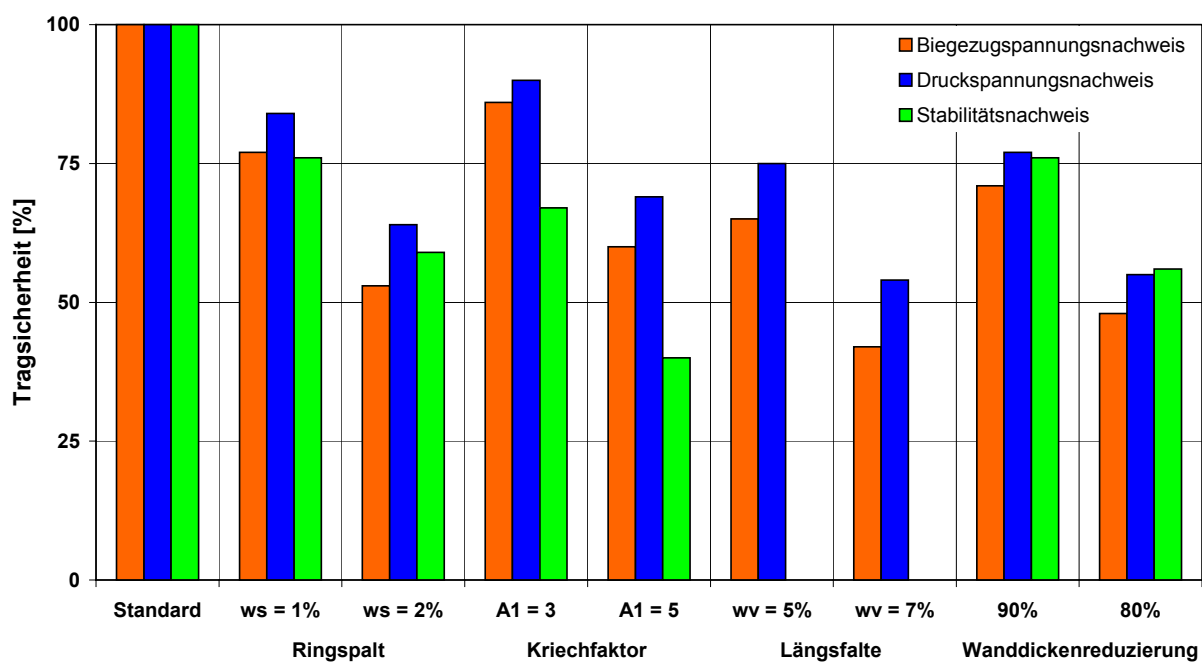


Bild 45: Reduzierung der Tragsicherheit eines geschädigten Liners im Vergleich mit einem neuwertigen Liner (= 100 %) <sup>1) 2)</sup>, Berechnungsbeispiel

<sup>1)</sup> Der Kriechfaktor  $A_1 = 3,0$  entspricht einer Reduktion des Langzeit-E-Moduls um 33 % - verglichen mit dem Standardwert  $A_1 = 2,0$  (bei  $A_1 = 5,0$  beträgt die Reduktion 60 %).

<sup>2)</sup> Für Liner mit Längsfalten wurde der Stabilitätsnachweis nicht geführt, maßgebend war der Biegezugspannungsnachweis.

## 3.6 Dichtheitsprüfungen

### 3.6.1 Prüfung mit Dichtblase

Im vorangegangenen Projekt [6] wurden bereits Dichtheitsprüfungen mit Luftüberdruck an ausgewählten Kanalhaltungen im Kanalnetz durchgeführt. Diese wurden abschnittsweise zwischen den zahlreichen Hausanschlüssen durchgeführt. Von 15 untersuchten Haltungen erfüllten drei die Dichtheitskriterien nicht. Eine davon war die Haltung in Duisburg, Im Eggenkamp, die im Jahr 1998 mit einem Nadelfilz-Liner saniert wurde. Bei einer TV-Inspektion am 27.07.00 wurden folgende Mängel festgestellt:

- eine kurze Längsfalte am Ende der Haltung in der Sohle;
- nicht fachgerecht ausgeführte Schachtanbindungen; diese stehen jeweils ca. 5 cm über mit Ausbrüchen im Scheitelbereich, evtl. verursacht durch Schlauch- bzw. Kabelführung bei HD-Kanalreinigung bzw. TV-Inspektion;
- schachtbrettartige Färbung bzw. auch ungleichmäßige Färbung;
- Reparaturstellen im Schlauch, der Grund der Nachbearbeitung ist nicht bekannt;
- ein Riss am 1. Anschluss in der Haltung (auf dem Video erst ganz am Ende der Untersuchung aufgenommen);
- die Zuläufe sind unsauber aufgefräst, der Schlauch hat sich jedoch nicht vom Altrohr abgelöst.

Fazit dieser Untersuchung war, dass der Schlauch innerhalb des Haltungsstranges keine Veränderungen zum Abnahme-Video aufwies und insgesamt einen funktionsfähigen Eindruck machte. Aufgrund dieses Untersuchungsergebnisses konnte zunächst keine eindeutige Erklärung gefunden werden, warum dieser Liner die Dichtheitskriterien nicht erfüllte.

Die Foto-Dokumentation der Einbausituation lässt jedoch darauf schließen, dass der Liner auf der Baustelle im Harzbad nicht fachgerecht getränkt wurde (vgl. Bild 46). Nach Angaben des Harzherstellers hätte ein abgestimmtes System, ein sog. „PUR-kaschierter“ Filzliner, eingesetzt werden müssen. Im vorliegenden Fall wurde demnach ein unkaschierter Filzliner mit innenliegender loser PE-Folie unfachmännisch im Harzbad getränkt. Die bei der Inspektion festgestellte ungleichmäßige Färbung der Innenwandung des Liners bestätigen eine ungleichmäßige bzw. unvollständige Harztränkung (vgl. Bild 27 b und Bild 47 b).



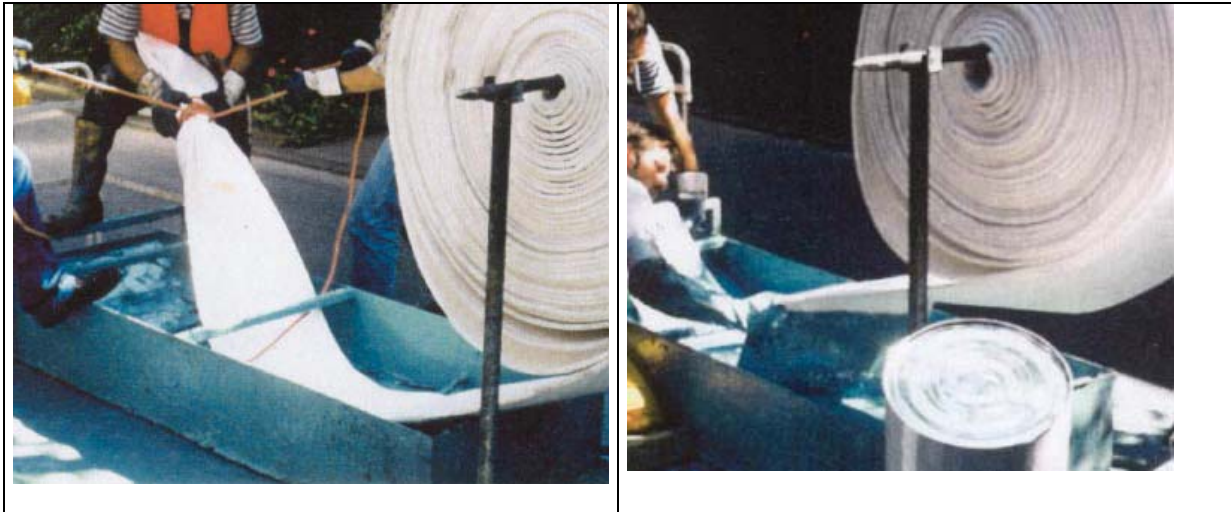


Bild 46: Nicht-fachgerechte Tränkung des Liners auf der Baustelle in Duisburg

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes erfolgte daraufhin an dieser Haltung eine Probenentnahme in offener Bauweise. An einer ca. 1 m langen Probe konnte daraufhin erneut die abschnittsweise Dichtheitsprüfung durchgeführt werden. Im Prüfraum der Dichtblase kam diesmal jedoch Wasser als Prüfmedium zum Einsatz (Bild 47 a und b).



a)



b)

Bild 47 a) und b): Versuchsaufbau für Dichtheitsprüfung mit Wasser; Dichtblase

Bereits nach kurzer Zeit, bevor der vorgesehene Prüfdruck von 0,5 bar aufgebracht werden konnte, trat Wasser deutlich sichtbar (Bild 48) an mehreren Stellen der Außenoberfläche des Linerrohrabschnittes aus. Es zeigte sich, dass das Schlauchsystem in diesem Bereich grundlegend undicht war. So wurde das Ergebnis der abschnittswisen Prüfungen im Kanalnetz, bei denen die Prüfkriterien der Dichtheit ebenfalls nicht erfüllt wurden, eindeutig bestätigt.





Bild 48: Austritt von Wasser an der Außenoberfläche eines nicht-fachgerecht getränkten Liners (vgl. Bild 42) unmittelbar nach der Wasserbefüllung des Rohrabschnittes

### 3.6.2 Prüfung der Wasserundurchlässigkeit

Im Rahmen von baubegleitenden Qualitätsprüfungen wird ergänzend zu der unter 3.6.1 erläuterten haltungsweisen Dichtheitsprüfung häufig auch eine Prüfung mit Luftunterdruck von 0,5 bar an Linerausschnitten durchgeführt (Bild 49). Dabei wird ein Linerstück (ca. 5,0 x 5,0 cm<sup>2</sup>) auf eine Dichtung gepresst, die an einen Kolben anschließt. Mit Hilfe einer Vakuumpumpe wird ein Unterdruck von 0,5 bar über eine Prüfzeit von 15 min aufgebracht. Zu Beginn der Prüfzeit wird das Linerstück mit gefärbtem Wasser beträufelt. Befindet sich nach Abschluss der Prüfzeit kein Wasser im Kolben ist das Prüfkriterium der Wasserundurchlässigkeit erfüllt.



Bild 49: Vakuumpumpe; Linerprobe mit Prüfliquidität

Im Falle der Linerprobe aus Duisburg, Im Eggenkamp wurden neben den Dichtheitsprüfungen auch Prüfungen zur Wasserundurchlässigkeit durchgeführt, so dass ein Vergleich der Ergebnisse möglich war (Tabelle 33). Die Prüfung mit Luftunterdruck wurde an insgesamt fünf Linerproben durchgeführt. Dabei erfüllten zwei der fünf Proben die Prüfkriterien nicht. Die Linerwand war wasserdurchlässig. Drei Prüflinge erfüllten jedoch die Prüfkriterien. Vor diesem Hintergrund ist eine Bewertung der Wasserundurchlässigkeit einer gesamten Haltung äußerst unsicher, insbesondere da in der Praxis i. d. R. nur eine Prüfung an einer Linerprobe durchgeführt wird. Die Dichtheit einer sanierten Haltung kann mit Hilfe dieser Prüfmethode nicht nachgewiesen werden. Sie dient ausschließlich als Materialprüfung um die Wasserundurchlässigkeit des Laminats nachzuweisen.

### *Bewertung*

Der Einfluss von „normalen“ Betriebsbelastungen auf die Dichtheit von Schlauchlinern ist auf der Grundlage der o.a. Untersuchungsergebnisse als gering einzuschätzen. Demgegenüber übt der Einfluss von Störungen bzw. Fehlern während der Herstellung und des Einbaus von Linern auf der Baustelle einen hohen Einfluss auf die Qualität aus. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Laminatstruktur von ungleichmäßig getränkten und unvollständig ausgehärteten Schlauchlinern undicht sein kann (vgl. Abschnitt 3.6.1). Inzwischen wurden Verfahrensoptimierungen durchgeführt, die eine vollständige und vor dem Einbau überprüfbare Tränkung des Liners zum Ziel hatten. Die Dichtheit eines Schlauchliners ist jedoch auch von der vollständigen und störungsfreien Aushärtung der Harzmatrix während des Einbaus abhängig. Daher ist zur Bauabnahme eine Überprüfung der Dichtheit der Sanierung empfehlenswert, selbst wenn der Schlauch fachgerecht getränkt wurde.

Tabelle 33: Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen

Baumaßnahme Schlauchbezeichnung	Prüfung der Wasserdurchlässigkeit (mit Luftunterdruck 0,5 bar) in Anlehnung an DIN EN 1610	Dichtheitsprüfung (abschnittsweise im Kanalnetz und an Rohrabschnitten) DIN EN 1610
Stadt Dortmund, Uranusstr. KM-Inliner, DN 500, Nadelfilz, UP-Harz	1 x bestanden	-
Stadt Dortmund, Hagener Str. Phoenix, DN 300, Nadelfilz, UP-Harz	1 x bestanden	bestanden
Stadt Duisburg, Im Eggenkamp Inpipe, DN 350, Nadelfilz, EP-Harz	3 x bestanden 2 x nicht bestanden	nicht bestanden
Stadt Gladbeck, Mittelstr. Flexo-Lining, DN 400, E-CR-Glas, UP-Harz	bestanden	bestanden
Stadt Mönchengladbach, Karmannstr. Insituform, DN 300, Nadelfilz, UP-Harz	bestanden	bestanden
Stadt Münster, Am Getterbach Inpipe, DN 300, Glasfaser, UP-Harz	bestanden	bestanden
Stadt Düsseldorf, Fa. Henkel, Industrie DN 900, Nadelfilz	1 x bestanden	-
Stadt Gelsenkirchen, Schievenstr. DN 150, E-CR-Glas, EP-Harz	1 x bestanden	nicht bestanden
Stadt Hilden, Zur Verlach DN 250, Nadelfilz	1 x bestanden	-
Stadt Nürnberg, Schmausenbuckstr. I KM-Inliner, DN 600, Nadelfilz, UP-Harz	1 x nicht bestanden	-
Stadt Nürnberg, Schmausenbuckstr. II KM-Inliner, DN 600, Nadelfilz, UP-Harz	4 x bestanden 2 x nicht bestanden	-
Linerprobe 1 DN 300, Nadelfilz	1 x bestanden	-
Linerprobe 2 DN 300, Nadelfilz / GFK, EP-Harz	1 x bestanden	-
Linerprobe 3 DN 300, Glasfaser	1 x bestanden	-

-) nicht untersucht bzw. nicht ermittelbar

## 4 Qualität und Lebensdauer von Schlauchlinern

Im Abschnitt 3 wurden Untersuchungen an 15 in Betrieb befindlichen Schlauchlinern mit Blick auf die Standsicherheit, Dichtheit und Funktionsfähigkeit dargestellt. Dabei wurden an den Schlauchlinern Geometrie- und Materialkennwerte bestimmt, die z.T. erheblich von den Soll- bzw. Mindestwerten der technischen Normen abwichen. So wurden deutliche Überschreitungen bei Ringspaltweiten, Vorverformungen und Falten sowie Unterschreitungen bei den Materialkennwerten (Biegefestigkeit, E-Modul etc.) gegenüber den Grenzwerten statischer Berechnungen festgestellt. Hier stellt sich die Frage, welchen Einfluss dies im Einzelfall auf die technische Qualität und damit die Lebensdauer haben kann und wie letztere für einen Liner abgeschätzt werden kann.

### 4.1 Fragestellung

Netzbetreiber können die Frage nach der Lebensdauer von Schlauchlinersanierungen bisher noch nicht aufgrund von Erfahrungswerten beantworten. Zu dem frühen Zeitpunkt der Bauabnahme ist die Abschätzung der mittleren technischen Lebens- bzw. Nutzungsdauer darüber hinaus besonders unsicher. Gleiches gilt aber auch für alle anderen Rohrsysteme der Abwasserkanalisation. Denn selbst für neue Rohre wurde die Lebensdauerfrage kaum beantwortet. Anschauliche Gründe dafür sind die langen Zeiträume (u.U. über zwei bis drei Generationen hinweg) und die vielfältigen Einflussfaktoren, die bei einer Abschätzung der Lebensdauer zu berücksichtigen sind. Um dennoch Abschreibungen und Kostenvergleichsrechnungen durchführen zu können, wurden für neue Rohre pauschale Annahmen getroffen. So werden bspw. Nutzungsdauern von 30 Jahren (nach [4]) bzw. 50 Jahren (nach [5]) angenommen, ohne den Einfluss des Rohrwerkstoffes oder der Bettungs- und Belastungsbedingungen im Einzelfall zu berücksichtigen. Entsprechend wären auch für neue Rohre die standardisierten Annahmen zur Nutzungsdauer abzumindern, falls die Anforderungen an das Material und die Bauausführung nicht erfüllt sind. Anschauliche Beispiele sind biegeeweiche Rohre mit unzulässigen Verformungen, biegesteife Rohre mit unzulässigen Abwinkelungen bzw. Stahlbetonrohre mit übermäßigen Rissbreiten und zu geringer Betonüberdeckung der Bewehrung.

In Analogie zu dem Vorgehen bei Neurohren orientieren sich sehr viele Netzbetreiber bei der Festlegung der Abschreibungsdauer von Schlauchlinersanierungen an den gewohnten Ansätzen für neu verlegte Rohre. Dieses Vorgehen entspricht auch den Anforderungen der DIN EN 752 [1]. Danach muß der Sollzustand eines Bauteils, eines Kanalisationsabschnittes, einer Haltung, eines Netzbereiches oder Entwässerungssystems nach erfolgter Sanierung mindestens den gleichen Anforderungen genügen, die für eine neu herzustellende Kanalisation gelten. So entspricht die Vorgehensweise, die Lebensdauer von Schlauchlinern analog zu neuen Rohren abzuschätzen, offensichtlich den technischen Normungsgrundsätzen. Voraussetzung dafür ist aber, dass die jeweilige Schlauchlinersanierung die technischen Anforderun-

gen an die Ausführungs- und Betriebsqualität erfüllen. Falls die Anforderungen unterschritten werden, ist eine Risikoabschätzung empfehlenswert. Dabei kann es in bedeutsamen Fällen auch für Schlauchliner notwendig sein, die Lebensdauer gegenüber dem allgemeinen Ansatz abzumindern. Mit der Folge, dass sich der Vertragswert der Bauleistung entsprechend reduziert (vgl. Bild 50).

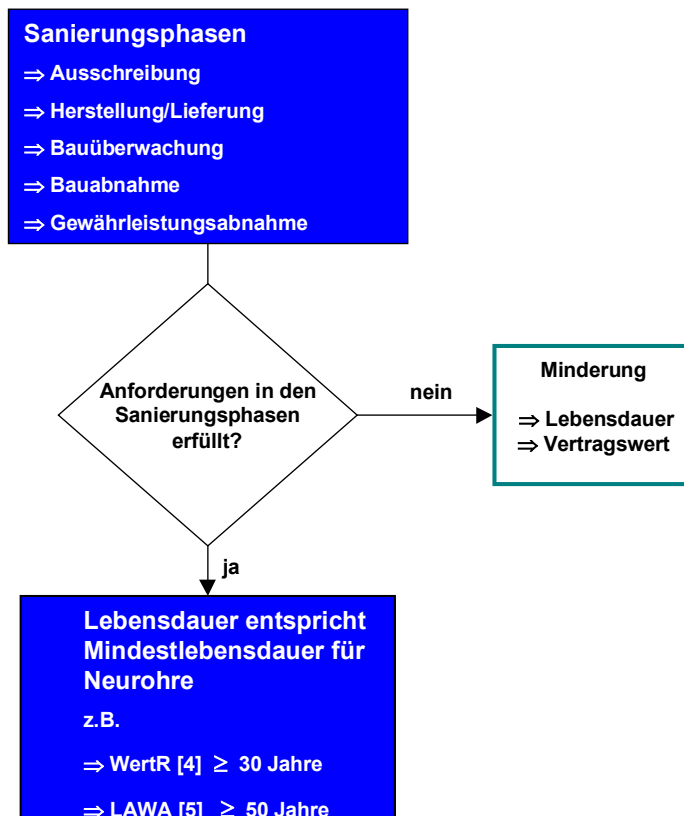


Bild 50: Lebensdauer von Schlauchlinern, Entscheidungsweg

Während Neurohre i.d.R. im Werk gefertigt werden, entsteht bei Schlauchlinern das ausgehärtete Rohr erst auf der Baustelle. Damit unterliegt der Qualitätsverlauf besonderen Gesetzmäßigkeiten und charakteristischen Einflussfaktoren. Um für Schlauchliner die gleichen Annahmen zur Abschätzung der Lebensdauer wie für Neurohre treffen zu können (vgl. Bild 50), sind auf das Verfahren abgestimmte Qualitätsanforderungen für die Phasen Herstellung, Einbau und Betrieb festzulegen und deren Einhaltung zu überprüfen. Welches Anforderungsprofil die Schlauchlinerqualität dabei erfüllen sollte, ist in zahlreichen technischen Normen bereits festgelegt (vgl. Tabelle 7). Welche Einflussfaktoren mit unterschiedlicher Gewichtung die Schlauchlinerqualität bestimmen und welche Maßnahmen empfehlenswert sind, wenn diese Anforderungen nicht erfüllt sind, wird in den nachfolgenden Abschnitten dargestellt. Dazu wird zunächst der schlauchlinertypische Qualitätsverlauf, von der Herstellung im Werk bis zur Entsorgung am Ende der Nutzungsdauer, skizziert.

## 4.2 Qualitätsverlauf und Gesetzmäßigkeiten

Eine der ersten Anwendungen der Schlauchlinertechnik liegt über 30 Jahre zurück. Stichproben-Untersuchungen des Schlauchherstellers bezeugen, dass die Materialqualität dieses Schlauchliners immer noch ausreichend ist [55]. In diesem Fall fällt die Abschätzung der Lebensdauer erwartungsgemäß leichter als bspw. unmittelbar nach dem Einbau des Schlauchliners zum Zeitpunkt der Bauabnahme. Denn während der Herstellung, des Einbaus und der betrieblichen Nutzung eines Schlauchliners wirken zahlreiche qualitätsbestimmende Einflussgrößen. Bild 51 zeigt beispielhaft den Verlauf einer Schlauchlinerqualität über die charakteristischen Phasen **Herstellung, Einbau und Betrieb**.

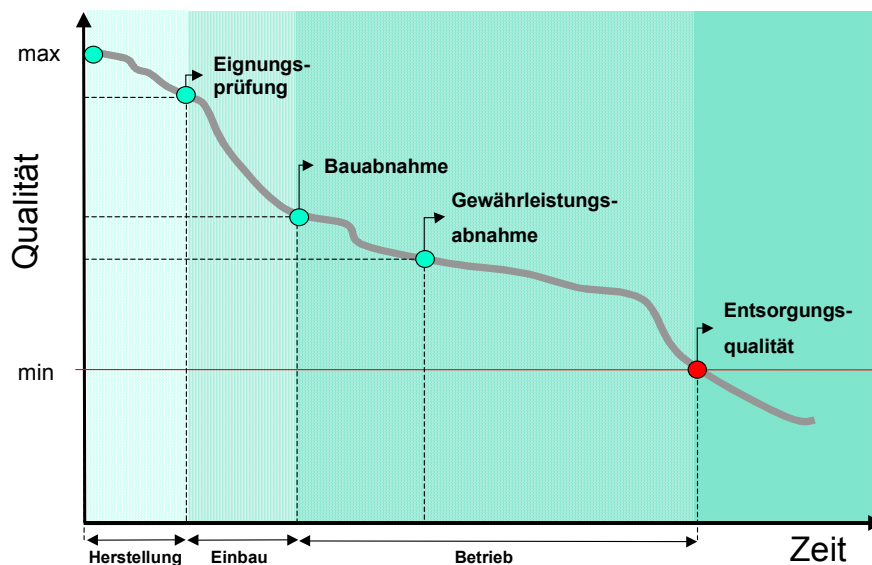


Bild 51: Schematischer Qualitätsverlauf über die technische Nutzungsdauer

Die maximale Qualität (vgl. Bild 51) entspricht dabei einem idealen Liner der unter denkbar optimalen Bedingungen in einem Herstellerwerk gefertigt wurde. In der Vergangenheit konnten jedoch die technischen Eigenschaften von Schlauchlinern, insbesondere bei der Herstellung des harzimprägnierten Schlauches auf der Baustelle, sehr unterschiedlich ausfallen. So war die *vollständige* Tränkung des Liners nahezu allein abhängig von der Qualifikation und der Tagesform der Mitarbeiter des ausführenden Unternehmens auf der Baustelle.

Inzwischen werden die Ausgangsmaterialien meist in industrieller Fertigung stationär zu einem einbaufertigen Schlauch verarbeitet und für den LKW-Transport zur Baustelle vorbereitet (Bild 52). Dies hat den Vorteil, dass wichtige Verarbeitungsschritte, wie das Konfektionieren und Tränken des Schlauches qualifiziert vorbereitet und standardisiert überwacht werden können. So besteht die Möglichkeit sicherzustellen, dass nur qualitätsüberwachte Produkte zur Baustelle geliefert werden. Bei evtl. auftretenden Fehlern kann die Auslieferung gestoppt werden und ein neuer Schlauch produziert werden.





Bild 52: Laborbedingungen in der Werksfertigung

Zahlreiche Schlauchliner-Produkte sind bereits durch das DIBt - Deutsche Institut für Bautechnik zugelassen (vgl. [12]). Die Ergebnisse der in diesem Rahmen durchgeführten Zulassungs- bzw. Eignungsprüfungen an „simulierten“ Probenkörpern zeigen, wie hochwertig Schlauchliner produziert werden können. Die dabei erreichbaren Material- und Systemeigenschaften sollen eine hohe Beständigkeit auch gegenüber extremen Umwelt- und Betriebsbeanspruchungen sichern (Tabelle 12). Die Verwendung spezieller Harztypen (z.B. Vinylharz) soll nach Herstellerangaben [56] selbst die Sanierung von „industriellen chemisch und/oder thermisch schwer beanspruchten Kanalisationssystemen mit einer Garantie auf eine lange, mit kommunalen Kanalisationssystemen vergleichbare Lebensdauer“ ermöglichen.

Um die o.a. Eigenschaften nachzuweisen, werden von den Schlauchherstellern Eignungs- bzw. Typprüfungen und wiederholende Überwachungsprüfungen in der Regel an Proben durchgeführt, die in eigens erstellten Versuchshaltungen eingebaut wurden. In DIN EN 13566 Teil 4 [8] wird dieses Vorgehen als „simulierter Einbau“ bezeichnet. So sollen die Prüfkörper möglichst die gleichen Eigenschaften besitzen, wie der im Kanal eingebaute Schlauchliner.

Die **Werksbedingungen** zur Herstellung von Prüfkörpern, die im Rahmen der o.a. Zulassungs- bzw. Eignungsprüfungen berücksichtigt werden, sind damit jedoch offenkundig sehr viel *günstiger*, als die in einem Altrohr auf der Baustelle. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Beeinträchtigungen bzw. erschwerten Bedingungen auf der Baustelle zu Fehlern beim Einbau führen können. So wurden beachtliche Vorverformungen, Faltenbildungen oder auch Aushärtungsmängel festgestellt (vgl. Abschnitt 3.2).

Die Ergebnisse von **Eignungsprüfungen** sind vor diesem Hintergrund allein nicht geeignet, um die Verfahrensqualität und -sicherheit von verschiedenen Schlauchlinersystemen unter Praxisbedingungen bspw. im Rahmen der Vergabeentscheidung bewerten zu können. Sie sind überwiegend nur für die qualitative Bewertung der verwendeten Ausgangsmaterialien verwertbar.

Nach der Phase der Herstellung des getränkten Schlauches im Werk, folgt die Lieferung auf die Baustelle und der **Einbau** in die zu sanierende Haltung (vgl. Bild 51). Mit dem Einbau entscheidet sich, welche Werkstoff- und Geometrieeigenschaften der Schlauchliner tatsächlich erhält. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigen, dass das Risiko von Qualitätseinbußen während des Einbaus auf der Baustelle i.d.R. sehr groß ist (vgl. Abschnitt 2.4 und 3). So wurden beispielsweise im Rahmen der IKT-Untersuchung an 15 sanierten und seit mehreren Jahren in Betrieb befindlichen Haltungen, die in Tabelle 34 aufgeführten Auffälligkeiten bzw. Materialveränderungen erkannt.

Tabelle 34: Übersicht zu den im Rahmen der IKT-Untersuchungen festgestellten Auffälligkeiten und Materialveränderungen

Geometrie	Material
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falten (axial, radial und spiralförmig verlaufend)</li> <li>• Verformung (Ovalität)</li> <li>• große Wanddickenschwankungen</li> <li>• Ringspaltüberschreitung</li> <li>• Axiale Lageänderungen</li> <li>• Schäden an Seitenzuläufen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E-Modul und Biegefestigkeitswerte unterschritten</li> <li>• Unvollständige Aushärtung</li> <li>• Ungleichmäßige Harztränkung (freiliegende Fasern)</li> <li>• Nahtbruch</li> <li>• Lufteinschlüsse</li> </ul>

Die Bauüberwachung hat die originäre Aufgabe, Fehler in der Einbauphase zu vermeiden. Verglichen mit der Rohrverlegung im Kanalneubau gibt es jedoch bei Schlauchlinersanierungen kaum qualitätssichernde Maßnahmen, die noch während des Einbaus die Einbauqualität bedeutsam beeinflussen können. Korrigierend eingreifen kann die Bauüberwachung nur bei den vorbereitenden Arbeiten wie bspw. Vorreinigung und –inspektion. Die letzte Möglichkeit Mängel zu vermeiden, bietet sich bei der Kontrolle des getränkten Schlauches vor dem Einbau (Bild 53).

**Sobald der getränkte Schlauchliner in das Altrohr eingezogen wird, ist das abschließende Sanierungsergebnis durch die Bauüberwachung kaum noch zu beeinflussen.**

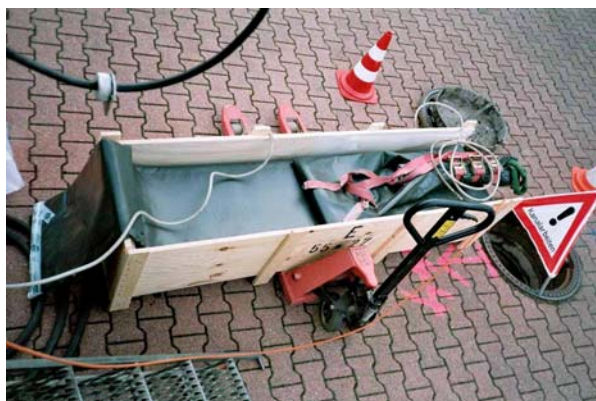


Bild 53: Schlauchliner aus werksseitiger Herstellung unmittelbar vor dem Einbau

Die **Bauüberwachung** beschränkt sich während des Einbaus im wesentlichen auf die Dokumentation von Prozessparametern (Temperatur, Druck, Ziehkraft etc.). So können bei der späteren Bauabnahme (Bild 51) Ursachen für evtl. festgestellte Qualitätsabweichungen ermittelt werden. Nur bei länger dauernden Maßnahmen mit mehreren Arbeitsabschnitten ist es möglich, die Ergebnisse der ersten Qualitätsprüfungen für korrigierende Maßnahmen bei den nachfolgenden Arbeitsabschnitten zu nutzen. Auch sogenannte „baubegleitende“ Qualitätsprüfungen (vgl. Tabelle 10) finden erst statt, wenn der Liner bereits im Altrohr eingebaut und ausgehärtet ist. Dazu werden i.d.R. (simulierte) Materialproben im Schachtbereich mit Hilfe eines Stützrohres gewonnen. Der Schlauchliner wird dabei über das Altrohr hinaus in das Stützrohr invertiert. Nach dem Aushärten des Liners wird die im Stützrohr befindliche Probe im Bereich der Schachtanbindung abgeschnitten, aus dem Schacht heraufgeholt und zur Bestimmung der Materialeigenschaften einem Prüfinstitut übergeben. Da die innere Geometrie sowie das Verformungs- und Temperaturverhalten des Stützrohres u.U. stark von der Situation im Altrohr abweichen, kann möglicherweise nur eingeschränkt auf die tatsächlichen Materialeigenschaften des im Altrohr eingebauten Schlauchliners geschlossen werden. Bei Unterschreiten der vertraglich vereinbarten Mindestwerte der Materialkenngrößen, können mit einigem Aufwand zusätzliche Hinweise gewonnen werden, indem Proben unmittelbar aus der Schlauchlinerhaltung herausgeschnitten werden.

Inwieweit Umwelt- und Betriebseinflüsse, wie z.B. Kanalreinigung oder Sedimenttransport den Schlauchliner abnutzen, kann für den jeweiligen Einzelfall erst nach einigen Betriebsjahren eingeschätzt werden. Fehler bei der Herstellung und dem Einbau des Schlauchliners können zu Qualitätsminderungen führen, die evtl. auch die Beständigkeit im **Betrieb** verringern. Damit sinkt möglicherweise die Wahrscheinlichkeit bzw. das Vermögen des Schlauchliners, die durchschnittliche Lebenszeit zu erreichen. Ein günstiger Zeitpunkt, um die Schlauchlinerqualität daraufhin zu überprüfen, ist kurz vor Ablauf der Gewährleistungsfrist gegeben (vgl. Bild 51). Denn der Vorteil einer Gewährleistungsabnahme ist nicht nur die letztmögliche Prüfung der Vertragserfüllung vor der Freigabe der Gewährleistungsbürgschaft, darüber hinaus können wertvolle Betriebserfahrungen zur Haltbarkeit von Schlauchlinern unter den örtlichen Betriebsbedingungen gewonnen werden. Dieses „Betriebswissen“ über bereits ausgeführte Schlauchlinersanierungen kann zukünftige Vergabeentscheidungen absichern.

Reicht die Qualität des Schlauchliners zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr, um die wesentlichen Funktionen wie Dichtheit, Tragfähigkeit und Funktionsfähigkeit betriebssicher zu garantieren, muss die Sanierung saniert oder auch erneuert werden. Sollte der Liner ausgebaut werden müssen, ist die sogenannte Entsorgungsqualität des Schlauchliners erreicht (vgl. Bild 51). Dabei stehen die Entsorgungskosten, die u.a. von der Umweltverträglichkeit des zu entsorgenden Linermaterials abhängen, im Mittelpunkt dieser letzten Qualitätsbetrachtung (die möglichst erst *nach* Überschrei-

ten der Abschreibungsfristen notwendig sein sollte). Die Ausbau- und Entsorgbarkeit von Schlauchlinern ist ein Gesichtspunkt, der bereits in der Vergabeentscheidung zu berücksichtigen ist. Auch weitere über die Bau- und Betriebsdauer zu erwartende Umwelteinflüsse bzw. die Kosten für deren Vermeidung sind darin einzubeziehen. Dies betrifft z.B. den Umgang mit Prozesswässern und Lösemitteln. So ist nach [17] beim Ableiten des aufgeheizten Prozesswassers darauf zu achten, dass dessen Temperatur nicht mehr als 35°C beträgt und eine Einleitung in Regenwasserkanäle ausgeschlossen ist.

Als Fazit der o.a. Betrachtungen, stellt sich, auch bei einer nach derzeitigem technischen Kenntnisstand intensiv betriebenen Qualitätssicherung, immer noch die Frage, inwieweit die geforderte Schlauchlinerqualität unter Baustellenbedingungen erreicht wird und welche Verfahren und Ausführungsunternehmen dabei die größte Sicherheit bieten, um die gleiche Nutzungsdauer wie bei Neurohren annehmen zu können. Im Einzelnen bedeutet dies:

- Wie kann sichergestellt werden, dass qualifiziertes Personal nur geeignete Materialien fachgerecht auf der Baustelle verarbeitet?
- Wie kann sichergestellt werden, dass die vertraglich vereinbarten Materialien und nicht „billigeres“ Material auf der Baustelle eingebaut wird?
- Wie kann das Sanierungsergebnis (spätestens bis zum Ablauf der Gewährleistungsfrist) überprüft und hinsichtlich der erwarteten Nutzungsdauer bewertet werden?
- Welche Schlauchlinersysteme bzw. auch welche Einbauunternehmen bieten die Sicherheit, unter Baustellenbedingungen nahezu immer ein zufriedenstellendes Sanierungsergebnis zu erzielen?

Mit dem Fokus auf diese Fragen und auf der Grundlage der vorliegenden Untersuchungsergebnisse (vgl. Abschnitt 3) werden nachfolgend die maßgeblichen Einflüsse auf die Schlauchlinerqualität während der charakteristischen Zeitabschnitte Herstellung, Einbau und Betrieb aufgezeigt. Darüber hinaus werden Hinweise zur Bewertung des Einzelfalls, insbesondere bei Abweichungen von dem Anforderungsprofil, erarbeitet.

## **4.3 Lebensdauereinflüsse und Maßnahmen**

### **4.3.1 Herstellung**

Bei der Planung von Schlauchlinersanierungen ist zu berücksichtigen, dass systemimmanente Abweichungen von der idealen Schlauchlinergeometrie auftreten können. So verursachen z.B. Bögen des Altrohres eine Stauchung des Liners beim Einbau. Gleiches gilt für einen Versatz in den Rohrmuffen des Altrohres. Beides kann u.U. radiale Faltenbildung verursachen. Vorverformungen des Altrohres bilden sich



erwartungsgemäß ab. So sind bspw. bei bedeutsamen Vorverformungen des Altrohres u.U. die Anwendungsgrenzen des Schlauchlinerverfahrens überschritten. Diese Einflüsse sollten bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden, *bevor* die Auswahl für das Schlauchlinerverfahren getroffen wird.

Desgleichen ist eine Vorinspektion und Vermessung des Altrohres *vor* der Herstellung des getränkten Schlauchliners durchzuführen. Die bei der Inspektion verschiedentlich festgestellte Faltenbildung (vgl. Abschnitt 3.2.3) weist darauf hin, dass im Rahmen einer qualifizierten Arbeitsvorbereitung vor der Herstellung des Schlauches eine Vermessung des Altrohres erfolgen sollte. Mit Hilfe dieser Vorarbeiten kann die Konfektionierung des Trägermaterials günstiger an das Altrohr angepaßt werden. Darüber hinaus erhält das ausführende Unternehmen einen eigenen Eindruck von den zu erwartenden Einbau- und Betriebsbelastungen (z.B. Altrohrbögen und -versätze, hoher Außenwasserdruck, Sedimenttransport, aggressive Abwässer, Kanalreinigung etc.).

Mit Blick auf diese zu erwartenden Betriebs- und Umweltbelastungen sind für die Herstellung des getränkten Schlauches die Ausgangsmaterialien (Harzsystem, Trägermaterial, Folie) und das Härtungs- und Einbauverfahren (vgl. Abschnitt 2.1) auszuwählen. Denn die Verarbeitung von ungeeignetem Material kann Ursache von bedeutsamen Qualitätsminderungen sein. Nach [39] können im Einbauzustand z.B. verminderte Abwasserbeständigkeit durch Korrosion, Überschreiten der maximal zulässigen Ringspaltweite durch erhöhten Materialschrumpf, Undichtigkeiten in Anschlußbereichen durch Längenschrumpf und verminderte Tragfähigkeit durch niedrigere Materialkennwerte auftreten.

Entsprechende Nachweise des Bieters hinsichtlich der Lieferqualität des Materials sollten in der Ausschreibung gefordert und spätestens vor der Vergabe überprüft werden. Dabei sollte insbesondere kontrolliert werden können, ob bei der Herstellung des Schlauches auch die vertraglich vereinbarten Produkte verwendet werden. Dies ist im Rahmen der Bauüberwachung auf der Baustelle für den Auftraggeber nur sehr schwer nachzuvollziehen. Auch durch die Kontrolle der Lieferscheine der Ausgangsmaterialien ist die *Identifikation* der Materialien u.U. nicht eindeutig möglich. Eine einfache Kontrollmöglichkeit bietet ein Vergleich der IR-Spektralanalyse von dem auf der Baustelle verwendeten Harz mit einer Reinharzprobe des im Angebot beschriebenen Materials. Vor diesem Hintergrund ist es empfehlenswert, bereits in der Ausschreibung eine Reinharzprobe (Referenzprobe) mit Identifikation vom Hersteller einzufordern. Sind die in der Ausschreibung geforderten Nachweise und Referenzproben des Bieters unvollständig, nicht aktuell oder unzutreffend, sollte auch dem Mindestbietenden kein Auftrag erteilt werden. Stellt sich dies erst nach der Vergabe heraus, sind die Zulassungsvoraussetzungen nicht erfüllt und der Auftrag kann, soweit nicht nachgebessert wird, entzogen werden.

Doch haben nicht nur die Materialeigenschaften Einfluss auf die Linerqualität, maßgebliche Wirkung haben auch Störungen und Belastungen im Herstellprozess. Bei

der Herstellung des getränkten Schlauches führen äußere Belastungen und verfahrenstechnische Einflüsse im Zuge der Konfektionierung, Tränkung und Verpackung des Liners zu Qualitätsschwankungen (vgl. Tabelle 35).

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigen in einem Fall, dass durch eine ungleichmäßige Tränkung des Schlauches auf der Baustelle die Dichtheit der Laminatstruktur maßgeblich beeinträchtigt wurde (vgl. Abschnitt 3.6.1). In einem anderen Fall wurden zahlreiche Luftnester im Laminatgefüge angetroffen. Nach [39] ist bei der *Harztränkung* des Trägermaterials darauf zu achten, dass keine Lufteinschlüsse in der Harzmatrix verbleiben. Durch die sogenannten Luftnester verschlechtern sich die mechanischen Eigenschaften und das Risiko von Undichtigkeiten nimmt zu. Dies soll bspw. durch ein konstantes und ausreichendes Vakuum während der Tränkung vermieden werden können.



a) Luftnester unter Außenfolie



b) Luftnester sichtbar auf innerer Rohrwandung

Bild 54: Auffälligkeiten der entnommenen Proben aus Münster, DN 300, Inpipe, Teerbau, UV-Licht, Glasfaser mit Polyesterharz, 1989

Die Konfektionierung und Tränkung des Liners sollte daher unter kontrollierten Rahmenbedingungen stattfinden. Je automatisierter die Herstellung des getränkten Schlauchliners dabei erfolgt, desto sicherer sind möglicherweise Qualitätsstandards einzuhalten. Findet die Herstellung nicht auf der Baustelle sondern in einem Werk statt, ist auch die Lagerung und der Transport des Schlauchliners als Qualitätseinfluss im Rahmen der Bauüberwachung zu berücksichtigen. So verursacht bspw. eine beginnende Harzreaktion durch Einflüsse beim Transport zur Baustelle Einbau-schwierigkeiten und Aushärtungsstörungen. Beispiele dafür können Abweichungen in der Lagertemperatur, Überschreiten der Lagerfristen oder Verschmutzung durch unsachgemäße Lagerung sein (vgl. Tabelle 35). Die Reaktionszeit des Harzes muss ausreichend bemessen sein, um Transport und Einbau des getränkten Schlauches vor dem Abbinden bzw. Aushärten gewährleisten zu können.



Tabelle 35: Qualitätseinflüsse bei der Herstellung

		Tragfähigkeit	Dichtheit	Funktionsfähigkeit
<b>Herstellung</b>	<b>Geometrie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Falsche Kalibrierung verursacht Längsfalten, Vorverformungen und u.U. vergrößerten Ringspalt</li> <li>Falsche Konfektionierung beim Zuschnitt verursacht Längsfalten</li> <li>Zu geringe Anzahl der Lagen des Trägermaterials führt zu einer Wanddickenunterschreitung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Konfektionierungsfehler verursacht Nahtbruch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Überfahrungen von Ablagerungen bzw. Hindernissen verursachen Vorverformungen</li> </ul>
	<b>Material</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verwendung ungeeigneter Materialien fördert Korrosion</li> <li>Fehler bei der Harztränkung verursachen Lufteinschlüsse und/oder freiliegende Fasern</li> <li>Ungeeignetes Harz verursacht zu großen Schrumpf mit der Folge unzulässiger Spaltweiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ungeeignetes Material fördert Korrosion</li> <li>Beschleunigte Materialalterung durch ungeeignetes Material</li> <li>Fehler bei der Harztränkung verursachen Lufteinschlüsse und/oder freiliegende Fasern</li> <li>Überdurchschnittliche Schrumpfspannungen können axiale Lageveränderungen verursachen (Dichtheit der Anschlüsse)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ungeeignete Folien können sich dehnen (erkennbar an Harzwellen innen) und radiale Falten verursachen</li> <li>Überdurchschnittliche Schrumpfspannungen können axiale Lageveränderungen verursachen (teilweises Verdecken der Anschlüsse)</li> </ul>
	<b>Belastung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beginnende Harzreaktion durch Überschreiten der Lagerfristen verursacht Einbauschwierigkeiten und Aushärtungsstörungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unzureichendes Vakuum bei der Tränkung verursacht Lufteinschlüsse</li> </ul>	

Durch die Strukturierung der Qualitätseinflüsse in Tabelle 35 wird offensichtlich, dass nicht ausschließlich das Harzsystem und das Trägermaterial die Qualität eines Schlauchliners bestimmen. Auf die Tragfähigkeit eines Schlauchliners haben insbesondere die geometrischen Randbedingungen (Spaltweite, Vorverformungen, Falten etc.) einen wesentlichen Einfluss. Die gemessenen **Ringspalte** der mit dem Altrohr ausgebauten Proben lagen bei zwei von drei ausgebauten Altrohr-Liner-Proben über 0,5% des Linerradius, also über dem Mindestwert nach ATV-DVWK-M 127-2 für Schlauchliner. Vergleichsrechnungen mit variablen Ringspalten zeigten einen erheblichen Einfluss auf die Tragsicherheit der Liner. Gleiches gilt für **Längsfalten**, die durch unzureichende Kalibrierung der Linerschläuche auftreten können, und für die festgestellten **Wanddickenstreuungen** über den Umfang des Liners. Diese haben auf die Tragsicherheit einen großen Einfluss, wenn der in den Nachweisen verlangte Mindestwert unterschritten wird (vgl. Abschnitt 3.5). Eine Analyse der statischen Berechnungsgleichungen bestätigt dies anschaulich (vgl. Abschnitt 3.2.1). Die darüber hinaus erstellten Sensitivitätsanalysen in Abschnitt 3.5 unterstützen den Vergleich von Geometrie- und Materialeinflüssen auf die Tragsicherheit.

Tabelle 36: Verlust an Tragsicherheit um 50 % durch Geometrieabweichungen und Materialfehler nachgewiesen an einem Beispiel: Schlauchliner DN 300, Altrohrrzustand I, Grundwasser 3 m über Sohle, Wanddicke = 6 mm

Langzeit-E-Modul	Kurzzeit-E-Modul	Rechenbeispiel
		<p data-bbox="1086 533 1310 607"><b>50 % weniger Tragsicherheit</b></p>
<p data-bbox="209 819 549 887">bei einem Abminderungsfaktor <math>A_n = 5</math> anstatt <math>A_n = 2</math></p>	<p data-bbox="619 819 922 887">bei <math>1.160 \text{ N/mm}^2</math> anstatt <math>2.800 \text{ N/mm}^2</math></p>	
<b>Falte</b>	<b>Ringspalt</b>	<b>Wanddicke</b>
		
<p data-bbox="199 1301 549 1357">bei einer Falte mit Stichmaß <math>w_v = 1 \text{ cm}</math></p>	<p data-bbox="639 1301 900 1357">bei einem Ringspalt <math>w_s = 3 \text{ mm}</math></p>	<p data-bbox="1007 1301 1385 1357">bei einer Unterschreitung der Wanddicke um <math>1,2 \text{ mm}</math></p>

In Tabelle 36 sind Beispiele von Geometrieabweichungen und Materialfehlern, die für einen ausgewählten Anwendungsfall mit Grundwassereinfluss jeweils die Tragsicherheit um 50 % reduzieren, anschaulich dargestellt. So ist in dem Rechenbeispiel (vgl. auch Abschnitt 3.2.1) eine Falte mit einem Stichmaß von nur 1 cm von gleicher Bedeutung wie der Kriechfaktor 5 anstelle des üblichen Wertes 2 (zur Ermittlung des Langzeit-E-Moduls aus dem Kurzzeit-E-Modul). Desgleichen reduziert ein Ringspalt von 3 Millimetern oder eine Unterschreitung der Wanddicke von 1,2 mm die Tragfähigkeit ebenfalls um 50 %. Damit ein Materialfehler sich vergleichbar gravierend auf die Tragsicherheit auswirkt, müßten nur noch 40 % des eigentlich erwarteten E-Moduls vorhanden sein (vgl. Tabelle 36).

Diese Beispiele unterstreichen den wesentlichen Einfluss der geometrischen Kennwerte auf die Tragsicherheit des Liners unter Grundwassereinfluss. Vor diesem Hintergrund ist eine geeignete Konfektionierung des Trägermaterials auf der Grundlage einer Vermessung des Altrohres von besonderer Bedeutung. Darüber hinaus be-

deutet dies insbesondere bei hohen Grundwasserständen, dass zur Qualitätsbewertung des eingebauten Liners auch die Überprüfung der geometrischen Kennwerte notwendig ist. Bisher stehen dafür jedoch kaum Messmethoden zur Verfügung. So gibt es bisher kaum Methoden, mit deren Hilfe der Ringspalt kontinuierlich über die Haltungslänge vermessen werden kann.

Um den bedeutsamen Einfluss des Ringspaltes in einem ersten Schritt zu berücksichtigen, ist es allerdings denkbar im Rahmen der Bauüberwachung Messungen des Ringspalts im Schachtanschlussbereich mit Hilfe einer Fühlerlehre durchzuführen. Um spätere Schrumpfungsprozesse zu berücksichtigen ist es u.U. empfehlenswert, bereits in der Ausschreibung statische Nachweisberechnungen einzufordern, die auch bei einem Ringspalt von 1 bis 2 % eine ausreichende Tragsicherheit gewährleisten. Demgegenüber sollte jedoch bezüglich der Ausführungsqualität weiterhin der Maximalwert von 0,5 % Ringspalt bezogen auf den Linerradius entsprechend des ATV-DVWK-M-127 T.2 in der Ausschreibung eingefordert werden. Neben den o.a. Beispielen sind weitere Maßnahmen zur Absicherung der Vergabeentscheidung denkbar. Einen Überblick gibt die nachfolgende Tabelle 37:

Tabelle 37: Ergänzende Maßnahmen zur Absicherung der Vergabeentscheidung

<b>Referenzen des AN offenlegen lassen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benennung der letzten Sanierungen des AN. Bewertungen von anderen Betreibern einholen.</li> <li>• Ergebnisse der letzten Baustellenbeprobungen vom AN vorlegen lassen.</li> <li>• Verfahren zur Einbindung der Anschlüsse und Anbindung an den Schacht angeben lassen.</li> </ul>
<b>Eignungsprüfungen vom AN einfordern</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Offenlegung der Lieferbedingungen des Schlauchsystems und der charakteristischen Eigenschaften, z.B.: Langzeit-E-Modul, Ringsteifigkeit, Hochdruckspülbeständigkeit, chem. Beständigkeit, Abriebfestigkeit, Wasserundurchlässigkeit nach Durchtrennen der Innenfolie.</li> <li>• Verfahrenshandbuch/Baustellendokumentation einfordern mit Sollwerten nach Angabe des Linerherstellers, z.B. Soll-Heizkurve, max. zulässigen Inversionsgeschwindigkeit und max. Zugkraft.</li> <li>• Dies gilt auch für Nachunternehmer (z.B. zur Einbindung von Anschlüssen).</li> </ul>
<b>Einforderung von Identifikationsnachweismöglichkeiten</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übergabe von Zertifikaten und Proben des verwendeten Harzsystems, des Trägermaterials und der Füllstoffe <b>vor</b> der Sanierungsmaßnahme (Vergleichsprobe).</li> <li>• Identifikationsprüfung im Bedarfsfall wenn Abweichungen vermutet werden (Übereinstimmungsnachweis mit Vergleichsprobe). Zur Sicherheit immer eine Reinharzprobe auf der Baustelle von dem eingebautem Linermaterial nehmen.</li> </ul>
<b>Vergleichende Produktprüfungen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfahrungsaustausch mit anderen Netzbetreibern über Qualifikation der AN.</li> <li>• Praxisnahe Bewertung der verschiedenen Systeme im IKT-Warentest (vgl. Abschnitt 4.4).</li> </ul>
<b>Öffentlicher Teilnahmewettbewerb/ beschränkte Ausschreibung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zusammenfassung der Anforderungen an die Qualität von Material und Verfahren sowie der Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Kompetenz des Bieters bereits in der Ausschreibung, um die Vergabeentscheidung auf der Basis eines Leistungswettbewerbs zu fällen.</li> <li>• Neben der Vorgabe von Grenzwerten für das Material (z.B. Ringsteifigkeit, E-Modul, Abrieb etc.) auch Grenzwerte für die Geometrie des Liners (z.B. Wanddicke, Ringspalt, Vorverformung etc.) vorgeben und soweit möglich auf der Baustelle und bei der Zustandserfassung überprüfen.</li> </ul>

### 4.3.2 Einbau

Hersteller bestimmen die Materialkennwerte ihrer Produkte im Rahmen der Eignungsprüfung anhand von Proben, die quasi unter Laborbedingungen hergestellt wurden. Auf der Baustelle können während des Einbaus des getränkten Schlauches jedoch verschiedene Beeinträchtigungen auftreten, wie z.B. (s.a. [39])

- Temperaturschwankungen (Außen- und Medientemperatur),
- Regen bzw. Feuchtigkeit, Staub und Schmutz an der Oberfläche bzw. in der Haltung,
- Temperaturableitung durch (fließendes) Grundwasser an der Rohraußenwandung,
- Rest(ab)wasser im Ringraum zwischen Liner und Altrohr,
- Unterbrechung bzw. mangelhafte Aushärtung des Kunststoffes wegen fehlerhafter Durchführung (Schwierigkeiten beim Einziehen, zu lang bzw. auch zu kurz bemessene Reaktionsphasen, Ausfall der Heizung oder des UV-Lampensystems),
- bauliche Randbedingungen (erschwerter Zugänglichkeit, Einhaltung Arbeitsschutz etc.),
- mangelnde Sorgfalt und Fachkenntnis des ausführenden Personals.

Diese Umstände können auch weitere Einbaufehler provozieren. Praxiserfahrungen, die IKT-Untersuchungen [6] im Jahre 2001 (vgl. Abschnitt 2.4) und die hier dargestellten Untersuchungen belegen, dass insbesondere in der Einbauphase des Schlauchliners auf der Baustelle beachtliche Qualitätsverluste aufgrund von Einbaufehlern auftreten können. Dies gilt auch dann, wenn ein fachgerecht getränkter Schlauch zur Baustelle geliefert wird. Nach den Untersuchungsergebnissen ist nicht auszuschließen, dass die Nutzungsdauer durch Einbaufehler erheblich verringert wird und u.U. bereits vor der betriebswirtschaftlichen Abschreibungsdauer endet. Daher empfiehlt es sich im Rahmen der Bauabnahme, die Auswirkungen dieser Einbaufehler im Hinblick auf die angestrebte Nutzungsdauer einzuschätzen.

Qualitätseinflüsse beim Einbau entstehen im Wesentlichen aus Abweichungen bei den einzuhaltenden Prozessparametern (z.B. Härtungstemperatur, Lichtintensität, Aufstelldruck, Anpressdruck etc.). Eine Übersicht gibt Tabelle 38.

Tabelle 38: Qualitätseinflüsse durch Belastungen/Beeinträchtigungen beim Einbau, in Anlehnung an [39]

Tragfähigkeit	Dichtheit	Funktionsfähigkeit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beginnende Harzreaktion durch Einflüsse beim Transport verursacht Einbauschwierigkeiten und Aushärtungsstörungen</li> <li>• Ungenügender Aufstelldruck verursacht u.U. Längsfalten</li> <li>• Zu geringer Verdichtungsdruck führt zu Wanddickenüberschreitung (gegenüber stat. Nachweis) und/oder Luftpfehlungen im Laminat</li> <li>• Zu hoher Verdichtungsdruck führt zu Wanddickenunterschreitung (gegenüber stat. Nachweis), E-Modul zu hoch</li> <li>• Härtungsstörungen (Feuchtigkeit, Temperatur, Schmutz, Verzögerungen, etc.) vermindern die stat. Eigenschaften (E-Modul, Biegefestigkeit)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zu geringer Verdichtungsdruck führt zu Luftpfehlungen im Laminat und verringert Wasserundurchlässigkeit</li> <li>• Starke Styrolverkokung/-verdunstung bei der Härtung verursacht Luftpfehlungen im Laminat</li> <li>• Zu hohe thermisch bedingte Lageänderungen im Zuge der Abkühlung führen zu Überbeanspruchung der Anschlüsse</li> <li>• Zu hohe Dehnung beim Einbau verursacht Nahtbruch</li> <li>• Zu hohe Inversionsgeschwindigkeit verursacht Luftpfehlungen</li> <li>• Fehlerhafte Bohrungen für Seitenzuläufe</li> <li>• Fehlende/mangelhafte Anbindung der Seitenzuläufe und Schachtbauwerke</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Störung beim Einziehvorgang verursacht radiale Falten</li> <li>• Schwankender Verdichtungsdruck verursacht u.U. Ablösen der Einbaufolie vor der Harzreaktion</li> <li>• Übermäßiger Längenschrumpf infolge Temperaturwechsel (zu früh aufgebohrt) führt zu teilweisem Verdecken der Anschlussöffnungen der Seitenzuläufe</li> </ul>

Falls die nach Herstellerangaben bzw. durch Erst- oder Eignungsprüfung festgelegten Materialkennwerte nicht erreicht werden, ist häufig ein unzureichender Anpressdruck des Linerschlauches an die Rohrwandung oder eine unvollständige Aushärtung der Harzmatrix die Ursache. Die Auswirkungen dieser Ausführungsmängel auf die Materialqualität können durch Materialprüfungen wie bspw. Scheiteldruckversuche, 3-Punkt-Biegeversuche, Wasserundurchlässigkeitsprüfungen, etc. nachgewiesen werden.

Die derzeitige Praxis der Qualitätssicherung ist bei Schlauchlinern stark auf die Überprüfung der Materialqualität ausgerichtet. Die Untersuchungsergebnisse legen nahe, zukünftig auch geometrische Kennwerte - insbesondere bei hohen Grundwasserständen - stärker zu berücksichtigen. Es fehlen jedoch praktikable Messmethoden um beispielsweise den Ringspalt über die Haltungslänge messen zu können. Die Überschreitung des für die Standsicherheitsnachweise anzusetzenden Mindest-Ringspaltes ist insbesondere bei kleineren Nennweiten mit den derzeitigen Messmethoden nicht zerstörungsfrei nachweisbar. Die Faltenbildung ist durch die Kamerabefahrung im Rahmen der Bauabnahme zu erkennen, das Stichmaß ist jedoch nur mit größerem Aufwand zu ermitteln.

Mit dem Abschluss der Einbauarbeiten kann die Dichtheit der Haltung überprüft werden. Insbesondere bei Schlauchlinern ohne Innenfolie sollte auf eine haltungsweise Dichtheitsprüfung vor dem Ausfräsen der seitlichen Zuläufe nicht verzichtet werden. Bei Systemen die eine Innenfolie als Verlegehilfe verwenden, beschränkt sich die Aussagekraft einer solchen Dichtheitsprüfung jedoch im wesentlichen auf die Dicht-



heit dieser nur einige Zehntel Millimeter dicken Folie. Vor diesem Hintergrund liefern die Prüfungen zur Wasserundurchlässigkeit von Linerproben, die unter simulierten Einbaubedingungen im Schacht hergestellt wurden, (siehe Abschnitt 3.6.2) zusätzliche Aussagen. Im Rahmen dieser Prüfungen an Linerabschnitten wird die Innenfolie bewusst durchtrennt, so daß die Wasserundurchlässigkeit der Laminatstruktur geprüft werden kann. Die Untersuchungsergebnisse belegen jedoch auch, dass die Bewertung der Dichtheit einer gesamten Haltung aufgrund dieser nur punktuell stattfindenden Materialprüfung kaum möglich ist (vgl. Abschnitt 3.6.2). In dem dort untersuchten Fall waren die Prüfergebnisse eindeutig nicht repräsentativ für die gesamte Haltung.

Fehler in der Bauausführung, bspw. durch mangelnde Harztränkung (Bild 55), können sich u.U. erst nach Ablösen der Innenfolie, z.B. nach mehreren Betriebsjahren, durch Undichtigkeiten in der Laminatstruktur bemerkbar machen. Vor diesem Hintergrund und angesichts der angestrebten Nutzungsdauern von mehr als 50 Jahren ist die abschnittsweise Dichtheitsprüfung des Gesamtsystems kurz vor Ablauf der Gewährleistungsfrist empfehlenswert. Insbesondere dann, wenn nach einigen Jahren Betriebszeit ein Teil der Folie infolge der Beanspruchung durch Sedimenttransport oder Hochdruckreinigung nicht mehr vorhanden ist (vgl. Bild 56) und im Rahmen der Dichtheitsprüfung dann teilweise auch das Laminat mit überprüft werden kann.



Bild 55: Freiliegende Fasern



Bild 56: Ablösung der Innenfolie

Mit Blick auf die Schäden im Bereich der Schachteinbindungen und der seitlichen Zuläufe (Bild 57) wird empfohlen, die Sanierung dieser Bereiche in jedem Falle auch explizit in der Ausschreibung zu berücksichtigen, die Ausführungsqualität zu überwachen und durch Inspektion und stichprobenhafte Dichtheitsprüfung zu kontrollieren. Die Dichtheitsprüfung von seitlichen Anschlüssen ist aufgrund der oftmals eingeschränkten Zugänglichkeit sehr aufwändig. Wie die Dichtheitsprüfungen beim IKT-Warentest „Hausanschluss-Stutzen“ [57] zeigten, können die bestehenden Prüfverfahren selbst bei frei zugänglichen Kanälen nicht problemlos angewendet werden. Um festzustellen ob bei anstehendem Grundwasser auch Fremdwasser eintritt, ist daher zumindest eine optische Kontrolle der Anschlußbereiche empfehlenswert (Bild 58).





Bild 57: Nicht sanierter Einbindungsstelle



Bild 58: Sichtbar undichte Schachtanbindung

Zur Absicherung der Vertragsprüfung im Rahmen der Bauabnahme sind neben den o.a. Beispielen weitere ergänzende Maßnahmen der Qualitätssicherung in der Phase der Bauausführung denkbar (vgl. Tabelle 39).

Tabelle 39: Ergänzende Maßnahmen im Rahmen der Bauüberwachung, Beispiele

Dokumentation der Bauausführung
<ul style="list-style-type: none"> <li>Arbeitsicherheits- und Bauzeitenplan einfordern, Verantwortlichkeit (Bauleiter/Polier) namentlich festlegen, Prüfplan zur Kontrolle der Prozessparameter vorlegen lassen und Einhaltung überprüfen (Temperatur, Druck, Lichtstärke, Ziehkraft und –geschwindigkeit etc.).</li> <li>Kontrolle der Arbeitsvorbereitung (z.B. Vorreinigung, Vorinspektion, Kalibrierung des Altrohres, Linertransport zur Baustelle, Reaktionszeit (Topfzeit) Harz), visuelle Kontrolle des Liners vor dem Einbau (evtl. sind grobe Mängel feststellbar), Sorgfalt beim Einführen des Liners in die Haltung (Preliner nicht schädigen).</li> </ul>
Identifikationsnachweis
<ul style="list-style-type: none"> <li>Kontrolle Lieferscheine, so dass nur zugelassene Produkte eingebaut werden, Visuelle Prüfung des gelieferten Materials (Feststellung grober Abweichungen).</li> <li>Bestehen Unsicherheiten bei der Feststellung der Harzidentität, ist eine IR-Spektroskopische Analyse der Harzprobe von der Baustelle im Vergleich zu einer Referenzprobe empfehlenswert.</li> </ul>
Belastungsprüfungen in-situ an bestehenden Sanierungen (im Bedarfsfall)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Dichtheitsprüfungen nach Durchtrennen der Innenfolie in-situ.</li> <li>Wiederholende Hochdruckspültest (50 Reinigungsdurchgänge) z.B. bei Falten und an Anschlüssen durchführen.</li> <li>Betriebserfahrungen systematisch sammeln und nutzen (z.B. Sanierungsdatenbank bzw. auch eine einfache Tabelle zu den ausgeführten Sanierungen pflegen).</li> </ul>
Baubegleitende Prüfungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>Baubegleitende Materialprüfungen durch unabhängiges Prüfinstitut (vgl. Tabelle 10)</li> <li>Bestimmung geometrischer Kennwerte soweit möglich (z.B. Messung Ringspalt am Schachtan-schluss mit Fühler-Schieblehre).</li> </ul>
Zustandserfassung/Inspektion/Dichtheitsprüfung
<ul style="list-style-type: none"> <li>Sichtung und Bewertung von Auffälligkeiten und Materialveränderungen, insbesondere der geometrischen Kennwerte (z.B. Falten, Beulen, Ringspalt).</li> <li>Abschnittsweise Dichtheitsprüfung bei der Bau- und Gewährleistungsabnahme durchführen (bei der Bewertung prüfen, inwieweit sich das Ergebnis ausschließlich auf die Dichtheit der Innenfolie bezieht).</li> </ul>

### 4.3.3 Betrieb

Im Rahmen von **Laborprüfungen** wurde der Einfluss von Umwelt- und Betriebsbelastungen auf die Schlauchlinerqualität grundsätzlich nachempfunden:

Zunächst wurden **Abriebprüfungen** mit Hilfe der Darmstädter Kipprinne an Proben von in Betrieb befindlichen Schlauchlinern durchgeführt (vgl. Abschnitt 3.4.1). Alle untersuchten Linerproben zeigten keine wesentlichen Beeinträchtigungen in Form von Abriebsverlusten in der Wanddicke oder anderen Materialveränderungen, die Undichtigkeiten zur Folge haben könnten. Der Abrieb unter den Bedingungen des Darmstädter Versuchs in der Kipprinne lag in den meisten Fällen unter 0,5 mm und beschränkte sich damit auf die Dicke der Innenfolie des Liners. Da die Innenfolie wegen des geringeren Elastizitätsmoduls in der statischen Berechnung nicht berücksichtigt werden darf, ist ein Wanddickenzuschlag für Abrieb nicht erforderlich (vgl. Abschnitt 3.5).

Zur Prüfung der **Hochdruck-Spülfestigkeit** wurden Spülversuche sowohl an neuen Schlauchlinern, als auch an ausgebauten Rohrabschnitten durchgeführt. Nach dieser Beanspruchung konnten ebenfalls keine wesentlichen Veränderungen an der Linerinnenwand festgestellt werden (vgl. Abschnitt 3.4.3).

Die **chemische Beständigkeit** der untersuchten Schlauchliner wurde durch Einlagerungsversuche von Linerproben in verdünnte Schwefelsäure nachgewiesen (vgl. Abschnitt 3.4.2). Darüber hinaus wurden auch chemische Untersuchungen durchgeführt, um die betrieblichen Einflüsse auf die Materialalterung der Linerinnenwand zu bestimmen. Die Betrachtungen von evtl. zu vermutenden Materialalterungseffekten über den Rohrquerschnitt (Sohle: ständig Abwasser, Kämpfer: Wechselbedingungen, Scheitel: Gasraum) ergaben keine Anhaltspunkte für systematische Verteilungen, ebenso wie die Untersuchungen der Linerwandung in Schichten von innen nach außen. In Tabelle 40 sind die Umwelt- und Betriebseinflüsse zusammengefasst.

Tabelle 40: Lebensdauereinflüsse durch Betriebsbelastungen

Tragfähigkeit	Dichtheit	Funktionsfähigkeit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unzulässige Verformung durch unerwartet hohen Wasseraußendruck</li> <li>• Unzulässige Verformung durch Setzungen, Bergsenkungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abriss von Anschlussbereichen durch Setzungen (Bergsenkungen)</li> <li>• Delamination durch Angriff von Hochdruckwasserstrahlen bei der Kanalreinigung</li> <li>• Abrieb durch Sedimenttransport</li> <li>• Materialangriff durch aggressives Abwasser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ablösen der Innenfolie durch Abrieb infolge Sedimenttransport</li> </ul>

Die Auswertungen der insgesamt vier im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Vorversuche als 4.000 h-Scheiteldruckversuche in Anlehnung an DIN 53769-3 und EN 705 (doppelt logarithmische Auftragung über Zeit und Verformung) zeigen ein übereinstimmendes Verhalten:

Die Zunahme der Verformungen verläuft mit der Zeit überproportional, so dass eine lineare Extrapolation auf 50 Jahre nicht empfohlen werden kann. Die aus einer nicht-linearen Extrapolation abgeleiteten **Langzeit-E-Moduln** bzw. **Kriechfaktoren** der im Betrieb befindlichen Linerwerkstoffe weichen offensichtlich von den Werten ab, die aus Eignungsversuchen in 10.000h-Versuchen an neuwertigen Schlauchlinern bekannt sind. Für eine endgültige Bewertung dieser für den Stabilitätsnachweis von Linern wichtigen Beobachtung sind jedoch noch 10.000h-Scheiteldruckversuche erforderlich.

Im Gegensatz zu den o.a. Beobachtungen aus Laborprüfungen konnte **in einzelnen Praxisfällen** eine **eindeutige Systemveränderung durch Umwelt- und Betriebsinflüsse** festgestellt werden:

In einem Fall wurde eine **Ablösung der Innenfolie** festgestellt (Bild 59 a). Es ist denkbar, dass durch den Einfluss der Kanalreinigung und des Sedimenttransportes die Ablösung der Folie ausgelöst oder zumindest beschleunigt wurde. In einem anderen Fall wurde der Einwuchs von Baumwurzeln festgestellt (Bild 59 b), die über Risse oder undichte Zuläufe im Altrohr in den Ringspalt eingedrungen und über die Schachteinbindung in den Schacht eingewachsen sind.



a)



b)

Bild 59: a) abgelöste Innenfolie b) Wurzeleinwuchs an der Schachteinbindung

Im Bereich der **Schachteinbindung** war der Liner in allen 15 untersuchten Haltungen lediglich bündig mit der Schachtwandung abgeschnitten worden. Dies kann zu einer Schwachstelle werden, die Folgeschäden aufgrund betrieblicher Beanspruchungen begünstigt. So wurde an zwei Stellen einer Sanierung die Schachteinbin-

dungen der Liner auf einer Länge von ca. 0,5 m komplett abgerissen (Bild 60 a), vermutlich infolge der Beanspruchung durch Hochdruckwasserstrahlen aus der Kanalreinigung.

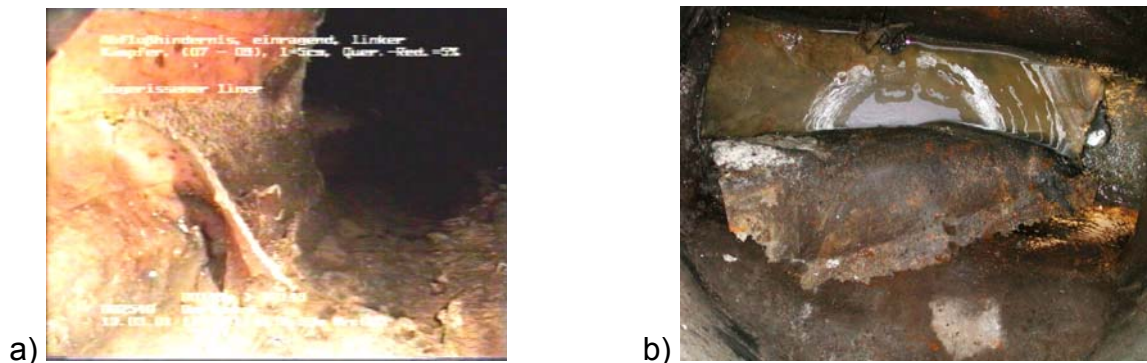


Bild 60: Schäden im Bereich der Schachteinbindung (Bild a) und des Schachtgerinnes (Bild b)

Bild 60 b dokumentiert einen weiteren Schadensfall durch eine betriebliche Belastung. Hier hat sich ein aus Linermaterial hergestelltes Schachtgerinne komplett herausgelöst. Mit Blick auf die Schäden im Bereich der Schachteinbindung und der seitlichen Zuläufe wird empfohlen, die Sanierung dieser Bereiche in jedem Falle auch in der Ausschreibung zu berücksichtigen, die Ausführungsqualität zu überwachen und durch Inspektion und ggf. Dichtheitsprüfung zu kontrollieren.

Wie gut die Einbauqualität im Einzelfall geeignet ist, um den jeweiligen Betriebs- und Umweltbelastungen mindestens bis zum Ablauf der Abschreibungsdauer standhalten zu können, lässt sich zum Zeitpunkt der Bauabnahme nur bedingt abschätzen. Sehr viel sicherer ist eine Bewertung nach mehrjähriger Betriebszeit möglich. Dann hat in der Regel neben den allgemeinen Umweltbelastungen (Wechselklima, Sedimenttransport, aggressive Abwasserinhaltsstoffe etc.) auch eine wiederholte Belastung z.B. durch Kanalreinigung stattgefunden und evtl. Spuren einer Beanspruchung hinterlassen. Vor diesem Hintergrund ist es ratsam, noch vor Ablauf der Gewährleistungsfrist im Rahmen einer **Gewährleistungsabnahme** zu prüfen, ob die vertraglich vereinbarte Sanierungsleistung gegeben ist (vgl. Bild 51). Darüber hinaus kann die Abschätzung der technischen Lebensdauer auf der Grundlage von Betriebserfahrungen abgesichert werden.



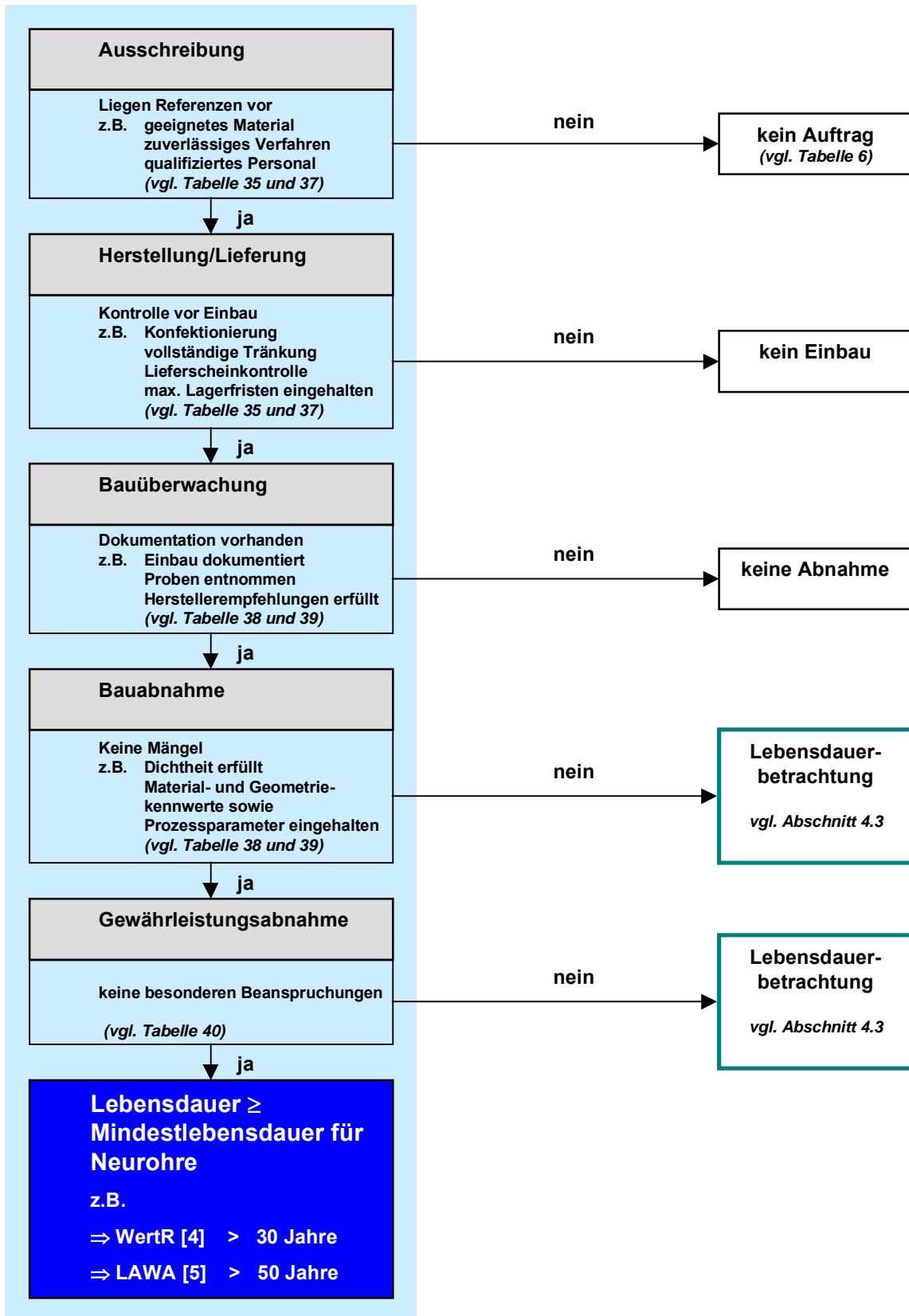
#### 4.4 Fazit

Im vorangestellten Abschnitt 4.3 wurden die maßgeblichen Einflüsse auf die Schlauchlinerqualität, die aus der *Bauteilgeometrie*, den *Materialeigenschaften* und den auftretenden *Belastungen* herrühren, dargestellt. Die Lebensdauer von Schlauchlinern sollte demnach für den jeweiligen Einzelfall unter Berücksichtigung dieser Einflussfaktoren bewertet werden. Als Leitmotiv kann dabei die Abschätzung der Lebensdauer von Neurohren dienen, für die bereits heute entsprechende Empfehlungen vorliegen. Eine Voraussetzung ist jedoch, dass im Einzelfall geeignete Qualitätsnachweise aus Herstellung, Einbau und Betrieb vorliegen.

In Tabelle 41 ist das grundsätzliche Vorgehen zur Abschätzung der Lebensdauer von Schlauchlinern dargestellt. Sind die maßgebenden Qualitätsnachweise bis zur Gewährleistungsabnahme erfüllt, kann die Lebensdauer entsprechend gängiger Ansätze für Neurohre abgeschätzt werden. Werden im Rahmen einer Überprüfung signifikante Abweichungen von der geforderten Qualität festgestellt, ist eine Einzelfallbetrachtung notwendig. Die in den jeweiligen Phasen zu überprüfenden Anforderungsprofile leiten sich aus Normen und Fachveröffentlichungen ab (vgl. Abschnitt 2.2). Grundsätzlich stellen sich z.B. folgende Fragen:

- Sind die ausgeschriebenen Anforderungen an Material, Verfahren und Ausführungsunternehmen bzw. sind die Lieferbedingungen erfüllt und die max. Lagerfristen eingehalten?
- Ist die Konfektionierung des Schlauches an das Altrohr angepaßt und die Tränkung mit Harz vollständig?
- Sind die Prozessparameter (z.B. Temperatur, Lichtintensität, Aufstelldruck, Anpressdruck, Aushärtezeiten etc.) beim Einbau eingehalten worden?
- Sind die Prüfkriterien der Dichtheit erfüllt und sind die wesentlichen Material- und GeometrieKennwerte eingehalten?
- Sind nach Betriebszeit keine besonderen Beanspruchungen feststellbar?

Tabelle 41: Abschätzung der Lebensdauer von Schlauchlinern





Die in Abschnitt 4.3 dargestellten Einflüsse auf die Linerqualität sollten bereits in der Ausschreibung durch Aufnahme **qualitätssichernder Maßnahmen** berücksichtigt werden:

*Materialeigenschaften:* Die eingesetzten Harztypen können auf Basis einer IR-spektroskopischen Harzcharakterisierung mit charakteristischen Referenzproben verglichen werden. Es empfiehlt sich daher, verbindliche Bieterangaben zu den verwendeten Materialien (z.B. Harz, Trägermaterial, Füllstoff, Folien) einzufordern und die gelieferte Qualität mit der im Angebot zugesicherten Qualität zu vergleichen (Wareneingangskontrolle). Angebote mit unvollständigen Angaben können dann vom Wettbewerb ausgeschlossen werden (vgl. § 21 VOB/A [2]). Auch ist der Aufbau einer Schlauchliner-Datenbank mit den charakteristischen Materialeigenschaften der angebotenen Linersysteme denkbar, um Abweichungen von den geforderten Materialeigenschaften frühzeitig erkennen und bewerten zu können.

*Geometrieinflüsse* bei Herstellung und Einbau lassen sich durch eine stärkere Bauüberwachung kaum vermeiden (vgl. Abschnitt 4.3.1 und 4.3.2). Der Konfektionierung im Werk kommt daher eine besondere Bedeutung zu. Nach der Anlieferung des Schlauchliners auf der Baustelle ist das Sanierungsergebnis nahezu ausschließlich von dem technischen Vermögen der Montagekolonne abhängig (vgl. Abschnitt 4.1). Vor diesem Hintergrund ist die Qualifikation (Fachkompetenz, Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit) des Bieters bei der Vergabeentscheidung *vordringlich* zu berücksichtigen (Tabelle 6). Darüber hinaus sind zur Überprüfung der geometrischen Kennwerte zunächst praktikable Messmethoden zu entwickeln. Während die relativ häufig auftretende Faltenbildung durch die Kamerabefahrung im Rahmen der Abnahme der Sanierung zu erkennen ist, ist eine Überschreitung des im Standsicherheitsnachweis anzusetzenden Mindest-Ringspaltes bei kleineren Nennweiten mit den derzeitigen Messmethoden nicht erkennbar.

*Konkrete Belastungssituation* bei Einbau und Betrieb ließen sich darüber hinaus durch **vergleichende Produktprüfungen** (z.B. im Rahmen eines Warentests „Schlauchliner“) nachempfinden. Dabei werden die verschiedenen Schlauchlinersysteme unter praxisnahen und reproduzierbaren Baustellenbedingungen eingebaut, realitätsnahen Betriebsbelastungen, wie z.B. Grundwasser, Verkehrsbelastungen und Kanalreinigung, ausgesetzt und schließlich vergleichend bewertet. D.h. die verschiedenen Schlauchlinersysteme werden hinsichtlich der

- Handhabbarkeit der Verfahren auf der Baustelle,
- Qualität nach Einbau unter Baustellenbedingungen und
- Beständigkeit gegenüber betrieblichen Beanspruchungen

beurteilt. Eine integrierte Betrachtung von Bau und Betrieb steht dabei im Vordergrund.

Auf das **Tagesgeschäft** übertragen kann dies auch bedeuten: Materialien, Verfahren, Hersteller und Ausführungsunternehmen werden aufgrund von Baustellen- und Betriebserfahrungen systematisch bewertet, z.B. nach besonderen Kriterien, wie Sorgfalt bei der Arbeitsvorbereitung, Termineinhaltung, Ablauforganisation, Dokumentation der Prozessparameter, Umgang mit Reklamationen, Nachweis über Mängel, Schäden und Auffälligkeiten.

Darüber hinaus liegt es nahe, Betriebserfahrungen, wie bspw. Beobachtungen beim Inspizieren und Reinigen, baustellenbezogen zu dokumentieren. Bestehen Zweifel an der Dauerhaftigkeit der Sanierung, können auch Belastungsprüfungen im Kanalnetz ergänzende Aussagen bieten, so z.B. HD-Reinigungsversuche an Strecken mit ausgeprägter Querfaltenbildung oder Dichtheitsprüfungen bei durchtrennter Innenfolie. Diese bieten sich insbesondere im Rahmen der Bau- bzw. Gewährleistungsabnahme an. Denkbar ist auch die Entwicklung und Umsetzung eines speziell auf den Zeitpunkt der Gewährleistungsabnahme abgestimmten Prüfprogramms.

Vor diesem Hintergrund wird nachfolgend ein Prüfkonzept zur lebensdauerbegleitenden Qualitätsbewertung von Schlauchlinern dargestellt. Dabei sollten einzelne Elemente aus dem Prüfkonzept fallbezogen genutzt werden, um insbesondere bei signifikanten Abweichungen gegenüber den vertraglich vereinbarten Qualitätsanforderungen eine angepasste Lebensdauerbetrachtung zu stützen.

Tabelle 42: Prüfprogramm zur lebensdauerbegleitenden Qualitätsbewertung  
 (Betrachtungszeitraum 10 Jahre)

Prüfung	Erzielbarer Nutzen	Bau- und betriebsbegleitende Entnahme von Schlauchlinerproben		
		Zeitpkt./ Intervall	Probenentnahmeort	Anzahl/ Maße
<b>qualitative und quantitative Zustandsdokumentation</b>				
<b>Baustellenprotokoll/ Probennahme</b>	Äußerst hoher Nutzen, Ursache von Einbaufehlern feststellbar	Einbau, zehn Jahre	Auswahl nach Inspek.	2x aufgraben
<b>TV-Inspektion</b>	Äußerst hoher Nutzen, die meisten Einbaufehler sind sichtbar, Materialveränderungen durch vorher/nachher Vergleiche feststellbar	Abnahme, 2-jährlich nach Reinigung	Strang	6x
<b>Dichtheitsprüfung</b>	Äußerst hoher Nutzen, Dichtheit anders nicht feststellbar	Abnahme, zehn Jahre	Strang	2x
<b>Spaltvermessung</b>	Äußerst hoher Nutzen, nicht sichtbare, statisch relevante Mängel	Abnahme, zehn Jahre	Schachtnähe	2x
<b>Linervermessung</b>	Hoher Nutzen, statisch relevante Mängel	s.o.	s.o.	2x
<b>HD-Reinigung</b>	Hoher Nutzen, relevante Betriebsbeanspruchung, <u>kein</u> Aufwand	siehe TV-Inspektion	Strang	6x
<b>Systemeigenschaften</b>				
<b>allg. Probenzustand optisch bewerten</b>	Äußerst hoher Nutzen, vieles ist bereits optisch erkennbar, Altrohrprobe <u>nicht</u> notwendig auszugraben	Abnahme, 2-jährlich	Scheitel, Kämpfer, Sohle	6x, 3 Stck., ca. DIN-A4 groß
<b>Wanddicke</b>	Hoher Nutzen, sehr geringer Aufwand, jedoch Aussagen zu Alterungsprozessen nicht zu erwarten	s.o.	s.o.	6x, 15 Stck. aus o.a. Proben
<b>3-Punkt-Biegeversuch</b>	Äußerst hoher Nutzen, Veränderung durch Alterung möglich	s.o.	s.o.	s.o.
<b>chem. Beständigkeit</b>	geringer Nutzen, Aufwand gering	s.o.	s.o.	s.o.
<b>Dichtheit an Proben</b>	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
<b>Kriechneigung (24h)</b>	Äußerst hoher Nutzen, evtl. Alterungseinfluss möglich	s.o.	s.o.	s.o.
<b>Kurzzeit-Scheiteldr.</b>	hoher Nutzen	Abnahme, zehn Jahre	2 m Rohr	2x, 1 Stck.
<b>Langzeit-Scheiteldruckversuch 10.000h</b>	Äußerst hoher Nutzen, Alterungseinfluss möglich	s.o.	s.o.	s.o. gleiches Rohr
<b>Werkstoffeigenschaften</b>				
<b>IR-Analyse Dichte, Glühverlust DMA</b>	Identifikation der verwendeten Materialien Effekte der Materialalterung in einer Zeitreihe nachweisbar Einfluss verschiedener Betriebsbedingungen nachweisbar	Bauabnahme Bauabnahme, danach 2-jährlich	Scheitel Sohle Kämpfer Scheitel	3 Stck. 50 x 50 mm jeweils 3 Stck. 50x50 mm

## 5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Laut ATV-Umfrage des Jahres 2001 sind ca. 17% des deutschen Kanalisationsnetzes kurz- bzw. mittelfristig zu sanieren. Weitere 14% weisen geringfügige Schäden auf und müssen langfristig saniert werden. Für die Sanierung der kurz- und mittelfristig zu behebbenden Schäden sind Liningverfahren (hierzu zählt das Schlauchlining) mit einem Anteil von 88% die am häufigsten angewandten Renovierungsverfahren. Um die langfristige Wirtschaftlichkeit der Sanierungsmaßnahmen bewerten zu können, sind Kenntnisse hinsichtlich der zu erwartenden Lebens- bzw. Nutzungsdauer der sanierten Haltungen von entscheidender Bedeutung. Diese sind Grundlage für die Berechnung der jährlichen Abschreibungen von Sanierungsmaßnahmen und haben damit auch maßgeblichen Einfluss auf die Festlegung der Abwassergebühren bzw. die Wertermittlung für das Kanalnetz.

Bislang fehlt es jedoch an gesicherten Erkenntnissen über die langfristige Eignung von Sanierungsverfahren unter mehrjährigen Betriebsbedingungen. Vor diesem Hintergrund wurde in dem Forschungsprojekt „Ermittlung der statischen und betrieblichen Lebensdauer von mit dem Schlauchlinerverfahren sanierten Kanälen“ die Qualität von Schlauchlinern nach mehreren Betriebsjahren in der Kanalisation bewertet. Dazu wurden Materialproben in offener Bauweise aus sanierten, in Betrieb befindlichen Abwasserkanälen genommen und zahlreichen Prüfungen unterzogen.

Bei der Ausrichtung des Forschungsprojektes wurde berücksichtigt, dass bei den ausgewählten Haltungen zum Sanierungszeitpunkt nur selten die erzielte Qualität geprüft und dokumentiert worden ist. In der Regel wurde zum damaligen Zeitpunkt auf Qualitätsprüfungen und Baustellenproben verzichtet. Damit 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, um eine auf den Einzelfall bezogene Abschätzung von betriebswirtschaftlichen Abschreibungsdauern zu unterstützen.

Bereits im Forschungsprojekt I aus dem Jahr 2001 [6] (s.a. Abschnitt 2.4) wurde der Zustand der sanierten Kanalhaltungen auf der Grundlage von TV-Inspektionen, Dichtheitsprüfungen und Querschnittsvermessungen bewertet. An allen untersuchten Haltungen wurden Auffälligkeiten und z.T. auch Schäden festgestellt. Diese waren in der Regel örtlich begrenzt und ließen sich in den meisten Fällen, wie z.B. bei Faltenbildung in Längs- und Querichtung oder fehlerhafter Einbindung seitlicher Zuläufe, eindeutig auf einzelne Ausführungsfehler zurückführen. Für acht der fünfzehn untersuchten Haltungen war zum Sanierungszeitpunkt ein Abnahmevideo erstellt worden, auf dem die Mehrzahl dieser Schäden bereits erkennbar waren. Bei dem Vergleich mit den neuen Inspektionsdaten konnten keine nennenswerten durch betrieblichen Einfluss bedingten Veränderungen des Liners festgestellt werden [6].

Im Rahmen des nun abgeschlossenen Projektes konnten die beobachteten Einbaufehler und Betriebseinflüsse durch die visuelle Prüfung und Vermessung von ausgebauten Altrohr/Liner-Proben sowie durch weitergehende Prüfungen zur Beständigkeit gegenüber Betriebseinflüssen näher untersucht werden. Ergänzend zu den heute üblichen Langzeitbetrachtungen an eigens für die Werkstoffprüfung hergestellten Schlauchlinerproben wurden damit auch Auswirkungen des Kanalbetriebes berücksichtigt. Hinsichtlich der eingesetzten Prüfmethoden sind folgende Schlussfolgerungen hervorzuheben:

- Die Auswertung von Vorversuchen zur Beschreibung des Kriechverhaltens (vgl. Abschnitt 3.3.2) läßt auf ein abweichendes Kriechverhalten von im Kanal gealterten Proben gegenüber neuwertigen Proben schließen. Die beobachtete Verformungsentwicklung im Scheiteldruckversuch ist bei logarithmischer Auftragung der Verformungen über die Versuchszeit nicht durch eine lineare Extrapolation zu beschreiben. Die aus einer nicht-linearen Extrapolation abgeleiteten **Langzeit-E-Moduln** und **Kriechfaktoren** weichen bedeutsam von Ergebnissen aus Eignungsversuchen an neuwertigen Schlauchlinern ab. Für eine endgültige Bewertung dieses Phänomens sind allerdings noch Ergebnisse aus laufenden Normversuchen abzuwarten.
- Die grundsätzliche Aussagekraft von **baubegleitend ermittelten mechanischen Kennwerten** – insbesondere der **Biegezugfestigkeit** – mit Hilfe des vereinfachten 3-Punkt-Biegeversuches konnte bestätigt werden, z.B. durch Korrelation der Ergebnisse aus den Dreipunkt-Biegeversuchen an Probestücken mit Ergebnissen aus Scheiteldruckversuchen am Rohrabschnitt. Für die Praxis kann damit eine fachgerechte Probenahme aus dem Linerscheitel bzw. einem Stützrohr im Schachtbereich als zuverlässige Qualitätssicherungsmaßnahme angesehen werden.

Ein Untersuchungsschwerpunkt war die Prüfung der Beständigkeit gegenüber betrieblichen Belastungen:

- Alle untersuchten Linerproben wiesen in Laborprüfungen eine hohe **Abriebfestigkeit** auf. Der Abrieb unter den Bedingungen des Darmstädter Versuchs in der Kiprinne lag in den meisten Fällen unter 0,5 mm und beschränkt sich damit auf die Dicke der Innenfolie des Liners. Bei einer Praxisbeobachtung zeigte sich allerdings auch ein Ablösen der Innenfolie. Da die Innenfolie wegen des geringeren Elastizitätsmoduls in der statischen Berechnung nicht enthalten sein darf, ist ein Wanddickenzuschlag für Abrieb nicht erforderlich.
- Die im Labor untersuchten Proben zeigten eine ausreichende **Hochdruckspülbeständigkeit**. In Spülversuchen konnten keine nennenswerten Beschädigungen an der inneren Linerwandung festgestellt werden. Allerdings zeigen Praxisbeispiele, dass mangelhafte Einbindungen im Hausanschluss- und Schachtbereich

als Schwachstelle für die Belastung durch Hochdruckwasserstrahlen angesehen werden müssen.

- Die **chemische Beständigkeit** gegenüber Schwefelsäure war unter den Prüfbedingungen grundsätzlich gegeben. Nach Einlagerungsversuchen in Schwefelsäure wurde lediglich in einem Einzelfall eine geringe Veränderung der Linerfarbe festgestellt.

Die o.a. Prüfergebnisse lassen vermuten, dass die betrieblichen Einflüsse die Linerqualität wenig beeinträchtigen. Dies kann ein Hinweis dafür sein, dass die Werkstoffeigenschaften der geprüften Liner als ausreichend anzusehen sind und die Belastung durch Betriebseinflüsse nur in Sonderfällen (z.B. Wurzelfräsen, intensive und häufige Hochdruckreinigung, aggressives Abwasser) zu bedeutsamen Materialveränderungen führt.

Dem gegenüber ist der Einfluss der Baustellenbedingungen auf die Linerqualität sehr groß, so dass mit einer erheblichen Abminderung der Qualität gerechnet werden muss. Fehler bzw. Abweichungen traten insbesondere hinsichtlich der Einhaltung geometrischer Kennwerte auf. Insbesondere wurde von den Vorgaben zur Spaltweite und Vorverformung abgewichen. Statische Kontrollrechnungen (Sensitivitätsanalysen) bestätigten, dass dies einen maßgeblichen Einfluss auf die Tragsicherheit des Liners - insbesondere unter Grundwassereinfluss - haben kann, so wurde z.B. festgestellt:

- **Längsfalten**, die durch unzureichende Kalibrierung der Linerschläuche auftreten können, reduzieren die Tragsicherheit unter Grundwassereinfluss beachtlich.
- Die gemessenen **Ringspalte** der mit dem Altrohr ausgebauten Proben lagen bei zwei von drei ausgebauten Altrohr-Liner-Proben über 0,5% des Linerradius, also über dem nach ATV-DVWK-M 127-2 angesetzten Standardwert. Entsprechende Vergleichsrechnungen mit variablen Ringspalten bestätigen den erheblichen Einfluss auf die Tragsicherheit von Linern unter Grundwassereinfluss.
- Bei der Messung der **Wanddicke** zeigte sich eine nennenswerte Streuung über den Umfang des Liners. Auf die Standsicherheit hat diese nur dann einen geringen Einfluss, wenn der in der statischen Berechnung verwendete Mindestwert nicht unterschritten wird.

Die o.a. Untersuchungsergebnisse unterstreichen, dass zur Qualitätsbewertung des eingebauten Liners auch die Überprüfung der geometrischen Kennwerte notwendig ist. Die derzeitige Praxis der Qualitätssicherung ist bei Schlauchlinern – mit Ausnahme der Wanddickenmessung - jedoch stark auf die Überprüfung der Materialqualität ausgerichtet. Die Untersuchungsergebnisse legen nahe, zukünftig praktikable Messmethoden zu entwickeln, um den bedeutsamen Einfluss der geometrischen Kennwerte entsprechend berücksichtigen zu können. Während die relativ häufig auftretende Faltenbildung durch die Kamerabefahrung im Rahmen der Abnahme der Sanierung zu erkennen ist, ist eine Überschreitung des im Standsicherheitsnachweis



anzusetzenden Mindest-Ringspaltes bei kleineren Nennweiten mit den derzeitigen Messmethoden nicht erkennbar.

Eine Schlussfolgerung aus den o.a. Zusammenhängen könnte die Forderung nach stärkerer Überwachung und Kontrolle der Baustellenabläufe sein. So trägt eine geeignete Konfektionierung des Trägermaterials, auf der Grundlage einer Vermessung des Altrohres, sicherlich dazu bei, unerwünschte Faltenbildung möglichst zu vermeiden. Verglichen mit der Rohrverlegung im Kanalneubau gibt es jedoch bei Schlauchlinersanierungen kaum qualitätssichernde Maßnahmen, die noch während des Einbaus die Einbauqualität bedeutsam beeinflussen können. Korrigierend eingreifen kann die Bauüberwachung nur bei den vorbereitenden Arbeiten wie bspw. Vorreinigung und –inspektion. Die letzte Möglichkeit Mängel zu vermeiden, bietet sich bei der Kontrolle des getränkten Schlauches *vor* dem Einbau. Denn sobald mit dem Einbau des getränkten Schlauchliners in das Altrohr begonnen wurde, ist das Sanierungsergebnis durch die Bauüberwachung kaum noch zu beeinflussen.

Die Qualitätssicherung muß daher sehr viel früher Einfluss nehmen. Die Untersuchungsergebnisse lassen vermuten, dass eine hohe Qualifikation der ausführenden Unternehmen notwendig ist, um mängelfreie Sanierungen zu erzielen. Die Qualitätssicherung von Schlauchlinern ist daher wesentlich von der Auswahl qualifizierter Dienstleistungsunternehmen abhängig. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage:

**Welche Maßnahmen können einen Vergleich der Qualifikation von ausführenden Unternehmen ermöglichen, um auch die langfristige Wirtschaftlichkeit der Vergabeentscheidung abzusichern?**

Die systematische Auswertung von Planungs-, Bau- und Betriebserfahrungen kann die Bewertung der Materialien, Verfahren, Hersteller und Ausführungsunternehmen entscheidend unterstützen. Hierzu können auch Erfahrungen aus Referenzbaustellen firmenbezogen ausgewertet werden, z.B. hinsichtlich der Termintreue, Reklamationsbearbeitung und Ergebnisse der Abnahmeuntersuchungen.

Darüber hinaus bieten sich praxisnahe Belastungsprüfungen – wie z.B. Hochdruckspülungen - an eingebauten Schlauchlinern an. Im Rahmen der Bau- bzw. Gewährleistungsabnahme lassen sich so Ausführungsmängel, wie z.B. Querfalten, hinsichtlich ihrer tatsächlichen Auswirkungen auf die Linerqualität bzw. die Betriebsbedingungen bewerten. Denkbar ist auch die Entwicklung und Umsetzung eines auf den Zeitpunkt der Gewährleistungsabnahme abgestimmten Prüfprogramms. Darüber hinaus ließen sich so auch wertvolle Betriebserfahrungen zur Beständigkeit von Schlauchlinern unter örtlichen Betriebsbedingungen gewinnen.

Ein weiterer Baustein zur Beantwortung der o.a. Frage können **vergleichende Produktprüfungen** sein, die unter praxisnahen und reproduzierbaren Randbedingungen durchgeführt werden. Den Schwerpunkt bilden auch hierbei die im Betrieb auftretenden Beanspruchungen wie z.B. Grundwasser- und Verkehrslasten sowie Kanalreini-

gung. Wesentliches Ergebnis eines vergleichenden Bewertungsansatzes ist die gemeinsame Beurteilung verschiedener Systeme hinsichtlich ihrer

- Handhabbarkeit auf der Baustelle,
- Qualität nach Einbau unter Baustellenbedingungen und
- Beständigkeit gegenüber betrieblichen Beanspruchungen.

Erste Erfahrungen mit der vergleichenden Prüfung bautechnischer Produkte liegen bereits vor (vgl. [57], [58]).

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 752-Teil 2 (1996-09): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden - Teil 2: Anforderungen; Deutsche Fassung EN 752-2:1996.
- [2] VOB Verdingungsordnung für Bauleistungen, im Auftrag des Deutschen Vergabe- und Vertragsausschusses für Bauleistungen, herausgegeben vom DIN, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Ausgabe 2000.
- [3] BGB Bürgerliches Gesetzbuch, dtv Verlag, Ausgabe 1994.
- [4] Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.): Richtlinie für die Ermittlung der Verkehrswerte von Grundstücken (Wertermittlungs-Richtlinien 1991 – Wert R 91), 4. Auflage.
- [5] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien), 1998.
- [6] Bosseler, B.; Schlüter, M.; Meyer, P.: Endbericht zum Forschungsvorhaben „Untersuchung der Qualität ausgeführter Kanalsanierungen am Beispiel des Schlauchrelinings“, IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur, 03/2001, [www.ikt.de](http://www.ikt.de).
- [7] Berger, C. et al.: Zustand der Kanalisation in Deutschland, Ergebnisse der ATV-Umfrage, 2001.
- [8] DIN EN 13566-4 (2003-04): Kunststoffrohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen. Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauch-Lining.
- [9] Prospekt Firma Mennicke Rohrbau, Nürnberg, 2002.
- [10] Internet Recherche, IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur, 2003.
- [11] Wagner, V.: Richtlinienentwurf Schlauchlining, bi UmweltBau, 01/2003, S. 60 ff..
- [12] Dilg, R.: Schlauchliner im Überblick, bi UmweltBau, 06/2002, Seite 51-55.
- [13] Heuser, M.: Schlauchträger und Harzsysteme in der Nahaufnahme, veröffentlicht im Seminarband „Kernfragen des Schlauchlining“ der Kanal-Müller Gruppe (KMG) vom 27.03.2003 in Bielefeld.
- [14] Siebert, S.: Materialien und Qualitätssicherung in der Kanalsanierung. In: Kongress der Straßen – Tiefbau – Tage vom 12. Bis 13. Februar 2003 in Essen.

- [15] Siebert, R.: Sanierung von Abwasserkanälen und –leitungen – Stand der Technik – Qualitätssicherung; Vortrag 1. Saerbecker Kanalsanierungsschau, 12. – 13. September 2002.
- [16] Lorenz, R.: Ungesättigte Polyesterharze oder Epoxidharze im Kanalrohrrelining – ein Vergleich, bi UmweltBau; 06/2002; S. 56-61.
- [17] Stadtentwässerung Nürnberg: Teilnahmewettbewerb Schlauchlining, 07/2002.
- [18] Prestinari, R.: Qualifizierung und Präqualifikation, Hinweise zur Überprüfung der Eignung von Unternehmen. Seminarband der Technischen Akademie Hannover „Kanalsanierung unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit“, Hannover, 2003.
- [19] Stadtentwässerung Göttingen: Inliner Ausschreibung, 09/2001.
- [20] Merkblatt RSV 1 (2000-02): Renovierung von drucklosen Abwasserkanälen und Rohrleitungen mit vor Ort härtendem Schlauchlining – Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung. RSV Rohrleitungssanierungsverband e.V..
- [21] DIN 53769-3 (1988-11): Prüfung von Rohrleitungen aus glasfaserverstärkten Kunststoffen; Kurzzeit- und Langzeit-Scheiteldruckversuch an Rohren.
- [22] DIN EN ISO 178 (2003-06): Kunststoffe - Bestimmung der Biegeeigenschaften (ISO 178:2001); Deutsche Fassung EN ISO 178:2003.
- [23] DIN EN ISO 604 (1997-02): Kunststoffe - Bestimmung von Druckeigenschaften (ISO 604:1993); Deutsche Fassung EN ISO 604:1996.
- [24] DIN EN 761 (1994-08): Kunststoff-Rohrleitungssysteme - Rohre aus glasfaserverstärkten duroplastischen Kunststoffen (GFK) - Bestimmung des Kriechfaktors im trockenen Zustand; Deutsche Fassung EN 761:1994.
- [25] DIN EN ISO 527-4 (1997-07): Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 4: Prüfbedingungen für isotrop und anisotrop faserverstärkte Kunststoffverbundwerkstoffe (ISO 527-4:1997); Deutsche Fassung EN ISO 527-4:1997.
- [26] DIN EN 1610 (1997-10): Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen; Deutsche Fassung EN 1610:1997.
- [27] DIN 19565-1, (1989-03): Rohre und Formstücke aus glasfaserverstärktem Polyesterharz (UP-GF) für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen; geschleudert, gefüllt; Maße, Technische Lieferbedingungen.

- [28] DIN EN ISO 899-2, (1997-03): Kunststoffe - Bestimmung des Kriechverhaltens - Teil 2: Zeitstand-Biegeversuch bei Dreipunkt-Belastung (ISO 899-2:1993); Deutsche Fassung EN ISO 899-2:1996.
- [29] DIN EN ISO 62 (1999-08): Kunststoffe - Bestimmung der Wasseraufnahme (ISO 62:1999); Deutsche Fassung EN ISO 62:1999.
- [30] DIN EN ISO 175 (2000-10): Kunststoffe - Prüfverfahren zur Bestimmung des Verhaltens gegen flüssige Chemikalien (ISO 175:1999); Deutsche Fassung EN ISO 175:1999.
- [31] DIN 53479, (1976-07): Prüfung von Kunststoffen und Elastomeren; Bestimmung der Dichte.
- [32] DIN EN ISO 1172 (1998-12): Textilglasverstärkte Kunststoffe - Prepregs, Formmassen und Lamine - Bestimmung des Textilglas- und Mineralfüllstoffgehalts; Kalzinierungsverfahren (ISO 1172:1996); Deutsche Fassung EN ISO 1172:1998.
- [33] ATV-M 143-2: (1999-04): Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen, Teil 2: Optische Inspektion.
- [34] ATV-A 140-1 (1990-03): Regeln für den Kanalbetrieb, Teil 1: Kanalnetz.
- [35] Wagner, V.: Nutzungsdauer und Dauerhaftigkeit von Schlauchlinern. *bi UmweltBau*, 04/2002.
- [36] ATV-A 127 (1988-12): Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen. 2. Auflage.
- [37] Falter, B.; Strotmann, A.: Gutachten, Standsicherheit von Schlauchlinern anhand von Praxisbeispielen, Auftraggeber IKT, Gelsenkirchen, unveröffentlicht, 08/2003.
- [38] ATV-DVWK-M 127-2 (2000-08): Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen mit Lining- und Montageverfahren : Ergänzung zum Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127.
- [39] Lenz, J.; John, H.-J.: Fehler in der Kanalsanierung: Erkennen – Vermeiden, *iro Schriftenreihe Band 14*, Vulkan-Verlag Essen, 1998.
- [40] Falter B., Hoch A., Wagner V.: Hinweise und Kommentare zur Anwendung des Merkblattes ATV-DVWK-M 127-2 für die statische Berechnung von Linern. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2003 (50) Nr. 4.



- [41] Wagner, V.: Beulnachweis bei der Sanierung von nichtbegehbaren, undichten Abwasserkanälen mit dem Schlauchverfahren, Dissertation, Technische Universität Berlin, 1992.
- [42] Schorling, M.: Schriftlicher Hinweis zu Erfahrungen des Abwasserverbandes-Braunschweig, 24.11.2003.
- [43] DIN EN 1228 (1996-08): Kunststoff-Rohrleitungssysteme - Rohre aus glasfaserverstärkten duroplastischen Kunststoffen (GFK) - Ermittlung der spezifischen Anfangs-Ringsteifigkeit; Deutsche Fassung EN 1228:1996.
- [44] Merkblatt LGA: Qualitätssicherung von Schlauchlinern, Anlage 1: Drei-Punkt-Biegeversuch – Versuchseinrichtung, 1998.
- [45] Prospekt der Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH: Renovierung, Schlauchlining, 2003.
- [46] Saertex multiCom GmbH: Seminarunterlagen zur 1. Saerbecker Kanalsanierungsschau, 09/2002.
- [47] DIN EN 705 (1994-08): Rohre und Formstücke aus GfK, Verfahren zur Regressionsanalyse und deren Anwendung, Deutsche Fassung EN 705:1994.
- [48] DIBt Deutsches Institut für Bautechnik: Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung für Schlauchreliningverfahren mit der Bezeichnung „Insituform“ zur Sanierung von Abwasserleitungen, 11/1999.
- [49] DIN 18123-6 (1996-11): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korngrößenverteilung.
- [50] Brune, P.: Verhalten von Tonerdezementmörtelauskleidungen in Rohren aus duktilem Gußeisen bei der Beanspruchung mit Hochdruckreinigungsgeräten. FGR 25 Gußrohrtechnik, Fachgemeinschaft Gußeiserne Rohre, Köln, 1990.
- [51] Steiner, H. R.: Verhalten von Abwasserkanälen bei der Reinigung mit Hochdruckspülung. Korrespondenz Abwasser 39, Heft 2, 1992.
- [52] Zimmermann, F.: Vergleichende Prüfungen zur Hochdruckspülfestigkeit verschiedener genormter Werkstoffe für Abwasserleitungen und –kanäle (Prüfbericht). Institut für Bauplanung und Baubetrieb ETH Zürich, Dezember, 2000.
- [53] Hamburger Stadtentwässerung: schriftliche Information von Herrn Hoppe, (2002-08).

- [54] Koch, K.-U.: Gutachten „Chemische Untersuchungen zur Materialalterung“, Fachhochschule Gelsenkirchen, Fachbereich für angewandte Naturwissenschaften, LG Organische Chemie und Polymere, im Auftrag des IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur, unveröffentlicht, 2003.
- [55] Wagner, V.: Nutzungsdauer und Dauerhaftigkeit von Schlauchlinern. *bi UmweltBau*, 4/2002.
- [56] den Besten, K.: Jahrelange Erfahrung mit Schlauch-Relining-Harzen, *bi UmweltBau Sonderausgabe* 03/2003.
- [57] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.; Puhl, R.: Endbericht zum IKT-Warentest Hausanschlußstutzen 2002, [www.ikt.de](http://www.ikt.de).
- [58] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, G.: Zwischenbericht zum IKT-Warentest Sanierung von Hausanschlußstutzen, unveröffentlicht, Projektabschluß 2004.