

Falten im Liner und ihre statischen Auswirkungen

Ist das Rohr nun zu klein, oder der Schlauchliner zu groß? Bei falscher Konfektionierung oder wechselnden Durchmessern der zu sanierenden Leitungen kann es zu Faltenbildungen im Schlauchliner kommen. Letztendlich ist das Resultat in beiden Fällen das gleiche: (Längs-)Falten im Liner, über deren Länge und Lage keine eindeutigen Aussagen getätigt werden können. Die Ursachen sind vielfältig, jedoch in den meisten Fällen erklärbar. Oft werden auch die Toleranzen, die die Normung vorgibt, nicht überschritten. Aber was ist, wenn Falten nicht eindeutig erkennbar sind oder bei der optischen Inspektion nach einer Kanalrenovation gar übersehen werden? Welche Auswirkungen in statischer Hinsicht sind zu erwarten? Im nachstehenden Fachartikel werden die häufigsten Ursachen und Faltenarten betrachtet und anhand von Praxisbeispielen Handlungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Schlauchliner sind mittlerweile seit nunmehr über 45 Jahren weltweit im Einsatz und haben sich seitdem zu einem Standard-Sanierungsverfahren entwickelt. Gerade in Deutschland hat sich – parallel zu den technischen Entwicklungen der Hersteller – ein ebenfalls gewachsenes Regelwerk etabliert, welches das Schlauchliningverfahren als Bauprodukt genauestens beschreibt. Obwohl die Fehlerquote in den letzten Jahren stark zurückgegangen ist, kann es immer noch zu Mängeln im Grenzbereich kommen, zu denen u. a. auch die (Längs-)Falten im Liner gehören. Um diesen Sachverhalt zu regeln, ist das Maß der Oberflächenunregelmäßigkeiten in der DIN EN ISO 11296, Teil 4 [1], seit längerem beschrieben. Dort werden die Höhen der Falten auf den Nenndurchmesser bezogen, zudem wird ein Maximalwert festgelegt. Eine noch exaktere Beschreibung liefert das Arbeitsblatt DWA-A 143, Teil 3 [2] – hier werden die Grenzen zusätzlich in Abhängigkeit der Bogenradien definiert (siehe hierzu auch gleichlautend: DWA-M 144, Teil 3 [4]).

Rohrtoleranzen

Es ist schwierig, heute noch Unterlagen über die Herstellung von Rohren zu bekommen, die unsere Vorväter mit den Techniken von vor 50, 75 oder noch mehr Jahren produzierten. Aber selbst mit modernsten Produktionsmethoden ist es nicht möglich, eine exakte Maßhaltigkeit zu erreichen.

Bei Betonrohren z. B. „schwören“ die Brancheninsider auf schalungserhärtete Rohre, da sich hier der Schwund bei der Aushärtung geringer auswirkt als bei Rohren, die während des Erhärtungsprozesses bereits ausgeschalt werden. Diese setzen sich teilweise noch etwas, was zu einem unterschiedlichen Durchmesser über die Rohrlänge führen kann. Aber auch bei Steinzeugrohren kann es bedingt durch den Brennvorgang zu einem „Verzug“ bzw. zu einem Schwund kommen. Gemauerte Profile wiederum können herstellungsbedingt Toleranzen aufweisen: die zum Bau genutzten Schalungen waren im Verlauf der Zeit Verschleißerscheinungen ausgesetzt, zudem konnten sich auch bei der Neuerstellung dieser Schalungen Veränderungen am Maß ergeben – dies ist heutzutage mit den vorhandenen, modernen Inspektionstechniken leicht nachzuvollziehen.

Linertoleranzen

Doch nicht nur Altrohre weisen Abweichungen zum Nennmaß auf – auch die Linerhersteller müssen einen Mittelweg finden, um produktionsseitig das Faltenrisiko zu minimieren. Zum einen hat ein Schlauchliner, auf den Altrohr-Umfang bezogen, ein Untermaß, zum anderen benötigt er eine geeignete Schlauchkonstruktion, um die Dehnfähigkeit in Radialrichtung zu gewährleisten. Hierbei hängt es stark davon ab, welche Einbaumethode und welches Trägermaterial vorgesehen sind.

Synthesefaserliner werden beispielsweise über Einstülp-, aber auch über Einziehverfahren in die vorhandene Rohrleitung installiert. Typischerweise



Abb. 1 – Inversionsliner (Polyester-Nadelfilz) mit lageweisem Aufbau

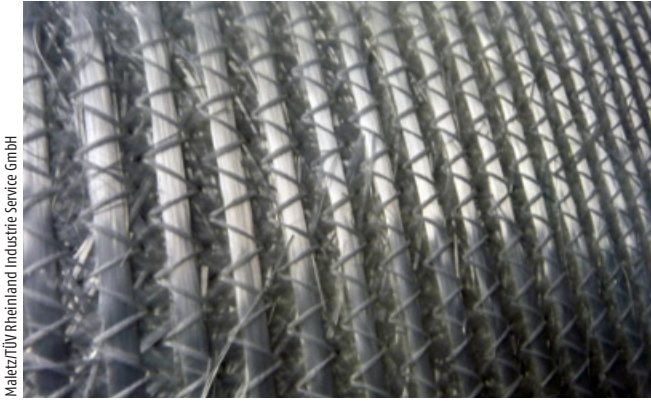
MaletztUV Rheinland Industrie Service GmbH

werden diese Liner mit circa 5-15 % Untermaß hergestellt. Die Wanddicken dieser Liner werden lagenweise durch Polyester-Nadelfilzbahnen, die zu einem Schlauch genäht oder verschweißt wurden, gefertigt. Die später äußeren Lagen liegen bei den Inversionslinern zunächst auf der Innenseite, sodass der größere Umfang dieser Lagen mittels planmäßiger Z-Falten im Inneren kompensiert wird. Bei Schlauchlinern, die mittels Einziehverfahren installiert werden, ist diese Konstruktion nicht erforderlich; hier ist auch die Trängung homogener. Durch den Überdruck von ca. 0,5 bis 0,8 bar beim Einbau der Liner (Luft, Wasser) wird das Trägermaterial gedehnt, die inneren Lagen entfalten sich (Inversionsliner) und der Liner legt sich idealerweise vollständig an das Altrohr an (close-fit). Auf der Innenseite sind die Synthesefaserliner in der Regel mit einer Beschichtung (coating) versehen, die auch integrierter Bestandteil des Liners sein kann und die Dehnungen nicht behindern darf.

Glasfaserverstärkte Liner hingegen weisen materialbedingt geringere Toleranzen auf, da hier das Trägermaterial auch gleichzeitig als Verstärkungsmaterial fungiert und somit die Schlauchkonstruktion ein entscheidender Faktor wird. Diese

Tabelle 1 – Zusammenstellung aktueller Rohrtoleranzen (Beton- u. Steinzeugrohre)

Nennmaß [mm]	Betonrohre			Steinzeugrohre		
	Grenzabmaß [mm]	Grenzabmaß [%]	ΔU [mm]	Grenzabmaß [mm]	Grenzabmaß [%]	ΔU [mm]
150	± 2	1,33	6,27	± 5	3,33%	15,71
200	± 3	1,50	9,42	± 5	2,50%	15,71
250	± 3	1,20	9,42	± 5	2,00%	15,71
300	± 3	1,00	9,42	± 5	1,67%	15,71
400	± 4	1,00	12,57	± 6	1,50%	18,85
500	± 4	0,80	12,57	± 7,5	1,50%	23,56
600	± 5	0,83	15,65	± 9	1,50%	28,27
700	± 6	0,86	18,91	± 12	1,71%	37,70
800	± 6	0,75	18,85	± 12	1,50%	37,70
900	± 7	0,78	22,05	± 12	1,33%	37,70
1.000	± 7	0,70	21,99	± 15	1,50%	47,12
1.200	± 8	0,67	25,26	± 18	1,50%	56,55
1.400	± 10	0,71	31,23	± 30	2,14%	94,25



Malesz/TÜV Rheinland Industrie Service GmbH

Abb. 2 – Einziehliner (glasfaserverstärkt), trocken

Liner werden in der Regel nicht im Inversions-Verfahren eingebaut, sondern per Winde eingezogen, mittels Luftüberdruck (~250 bis 400 mbar, je nach Durchmesser) aufgestellt, an das Altrohr angelegt und anschließend durch einen UV-Lampenzug ausgehärtet. Die gewickelten Glasfaserschläuche dehnen sich hierbei radial über die Gewebestruktur – die überlappend gefertigten Schläuche lassen die Glasfasergelege aneinander „vorbeigleiten“.

Zu beachten sind auch hier die – meist aufkaschierten – Folien auf der Außen- und Innenseite der Schläuche; oft sind diese nur Einbauhilfen (temporäre Dichtung) und werden nach der Installation entfernt. Generell sind dauerhafte Folien bzw. coatings aber Trennschichten; Dehnungen des Liners beim Einbau dürfen durch sie nicht behindert werden.

Faltenarten

Um die nachfolgenden Aspekte besser zu verstehen, sei kurz erläutert, welche Kräfte von einem Liner aufgenommen werden müssen. Ein einfaches, plausibles Beispiel ist ein Druckliner, bei dem aus dem Innendruck im Liner eine Zugkraft in radialer Richtung resultiert. Im Fall von äußeren Lasten ohne Innendruck (z. B. Wasserdruck, Erd- und Verkehrslast) werden dagegen Druckkräfte (Normalkräfte) und Momente erzeugt.

Querfalten (gefüllt und ungefüllt)

Eher seltener Art sind die in Querrichtung (radial) verlaufenden Falten, die sich meist beim Einbau von Linern im Schachtbereich

oder bei engen Bögen bilden. Bei den Inversionslinern können diese z. B. entstehen, wenn die Wassersäule vor Befüllung nicht exakt senkrecht im Startschacht hängt und der Liner „zu früh“ am Rohranfang angesetzt wurde. Die Masse der Wassersäule drückt dann in Richtung des Rohranfangs und schiebt den eingestülpten Liner dort wie eine Ziehharmonika zusammen. Der kritische Punkt ist hier kurz vor Beginn der Reaktion des Harzes, wenn das Material durch die hohe Temperatur (Dampf oder Heißwasser) noch zusätzlich weich geworden ist. Abhilfe kann hier eine Fixierung bringen, die vor dem Inversionsbogen positioniert wird. Im weiteren Verlauf einer Kanalhaltung entstehen Radialfalten eher selten, da das noch flexible Material hierzu eine Bewegung in Längsrichtung erfahren müsste.

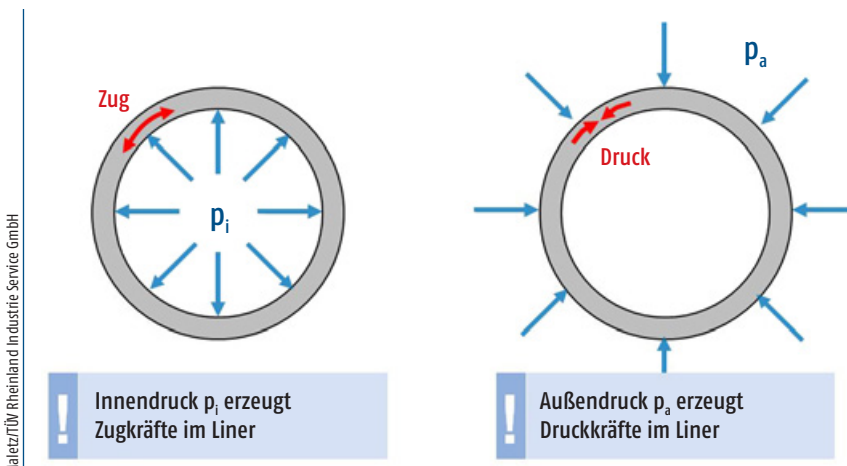
Im Bereich von engen Bögen mit einem Radius ca. $\leq 5 \times DN$ können – je nach Trägermaterial – auf der Bogeninnenseite ebenfalls Querfalten auftreten, da an dieser Stelle ein Materialüberschuss vorhanden ist. Auf der Bogenaußenseite besteht dagegen die Gefahr, dass der Liner nicht am Altrohr anliegt, da die Dehnfähigkeit des Materials begrenzt ist (vor allem bei glasfaserverstärkten Linern). Durch Überdehnung wird zusätzlich noch flüssiges Harz aus dem Liner gepresst, welches dann nicht mehr im Trägermaterial vorhanden ist; die geplanten Festigkeiten werden in der Folge sehr wahrscheinlich nicht erreicht.

» **Falten in Längsrichtung des Liners treten in vielen Variationen auf und sind für die Haltung wesentlich kritischer als Querfalten.** «

Aus statischer Sicht sind im Freispiegelbereich die Querfalten (gefüllt und ungefüllt) eher unbedenklich. Hier ist die Hydraulik das entscheidende Kriterium dafür, ob diese Falten im Liner verbleiben können oder ob sie entfernt werden müssen, wenn die Toleranzen nach DIN EN ISO 11296-4 überschritten sind. Voraussetzung hierfür ist aber immer eine korrekte Aushärtung, die beispielsweise bei UV-Licht aufgrund des ungünstigeren Einfallwinkels der Strahlen an den Falten nicht immer gewährleistet ist. Ein weiteres Kriterium zum Entfernen der Falten ist die

Hochdruckspülbeständigkeit in diesen Bereichen, da hier – rein mechanisch gesehen – höhere Kräfte wirken, als im ungestörten Bereich.

Bei Druckleitungen sind radiale Falten im Bogenbereich langfristig gesehen meist ein K.-o.-Kriterium, da der Liner an der Bogenaußenseite durchschlägt. Hier ist bereits in der Planungsphase einer Renovation ein besonderes Augenmerk auf die doch häufiger auftretenden engeren Bögen (z. B. 90°) zu legen; ggf. sind diese Stellen im Vorfeld der Renovation zu trennen. Meist werden Radialfalten jedoch aus den oben genannten Gründen entfernt, eine komplette partielle Reparatur ist dabei unumgänglich (Dauerhaftigkeit beachten!).



Malesz/TÜV Rheinland Industrie Service GmbH

Abb. 3 – Normalkräfte im Liner (schematisch)

Axiale Falten – häufigster Fall

Wesentlich kritischer können die in Längsrichtung auftretenden Falten werden. Diese müssen jedoch aus statischer Sicht noch weiter unterteilt werden. Generell treten Längsfalten in der Regel dann auf, wenn das Altrohr im Querschnitt zu klein und/oder der Liner zu groß ist.

a) Axialfalten, gefüllt

Die gefüllten Längsfalten treten bei mehrlagigen Synthesefaserlinern auf, wenn die innerste Trägerlage nach dem planmäßigen Ausdehnen des Liners einen Materialüberschuss aufweist und dieser keinen Platz mehr findet.

Diese Falten können – über den Linerquerschnitt in Längsrichtung gesehen – „wandern“ und somit sowohl in der Sohle, als auch in Kämpfer oder Scheitel liegen. Sollte diese Faltenform auftreten, so muss zunächst in einem ersten Schritt festgestellt werden, ob die Falte nur aus der innen liegenden Trägerlage besteht und ob diese tatsächlich harzgefüllt ist. Der verbleibende Restquerschnitt in diesen Bereichen muss eine minimale Wanddicke $e_{\min} \geq t_L$, berechnet aus der Linerstatik aufweisen. Ggf. sind auch vorgesehene Verschleißschichten noch zu beachten und die geplanten Materialkennwerte müssen ebenfalls erreicht sein (Probenentnahme und -prüfung). Sind diese Kriterien alle gegeben, spricht aus statischer Sicht nichts gegen einen Verbleib der Falten im Liner – hier können aber, neben den Grenzen aus der Normung, auch wieder hydraulische Gründe vorhanden sein, um diese zu entfernen. Das Herausschneiden von harzgefüllten Falten ist aus statischer Sicht im beschriebenen Fall kein Problem, da der Restquerschnitt die Tragfähigkeit wie geplant übernimmt. Ist die innere Folie integraler Bestandteil des Liners, so müssen die Schnittstellen wieder versiegelt werden. Bei Glasfaserlinern ist vor dem Entfernen der Falten zu prüfen, inwieweit die Struktur des Trägermaterials beeinträchtigt wird.

b) Axialfalten, ungefüllt

Sind die oben genannten Kriterien jedoch nicht erfüllt und es wölbt sich die gesamte Wanddicke (ggf. mit Außenfolie) des Liners als Axialfalte in den Querschnitt hinein, dann können in der Regel die Normalkräfte in der Linerwandung nicht mehr planmäßig aufgenommen werden und es bilden sich zusätzliche Momente in der Falte (bzw. Schlinge, Beule).



NordiPipe, Sekisui SPC Americas LLC, Atlanta

Abb. 4 – Falten im Bogenbereich eines Druckliners (werkseitiger Test)



Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH, Röthenbach

Abb. 5 – harzgefüllte Falte; SF-Liner

Eine statische Nachberechnung des Querschnittes im „Ist-Zustand“ mittels Finite-Elemente-Methode kann hier belegen, ob ein Außenwasserdruck (Zustand I und II) oder zusätzlich noch Erd- und Verkehrslasten (Zustand III) aufgenommen werden können. Eine genaue Kenntnis der Materialkennwerte im geschädigten Bereich ist hier zwingend erforderlich. Sollten die äußeren Lasten nicht mehr gesichert abgetragen werden können, ist der Liner auszubauen. Besonders kritisch ist es, wenn die Lage der nicht gefüllten Falte bzw. Beule sich in der Sohle (Kreisprofil) bzw. im unteren Kämpferbereich (Eiprofil) befindet. Bei anstehendem Grundwasserdruck ist an diesen exponierten Stellen die Beulgefahr besonders groß und führt häufig schon nach kurzer Zeit zu entsprechenden Schäden. →

Oft ist auch die Aushärtung in diesen kritischen Bereichen nicht zu 100 % erfolgt, sodass ein Härtingsdefizit besteht; auch hier wird der Ausbau des Liners erforderlich, falls kein zweiter Liner (mit gleicher Wanddicke) nach der Faltenentfernung über den ersten eingebaut werden kann. Bei thermisch härtenden Linern besteht auch noch die Möglichkeit der „Nachhärtung“: die Maßnahmen sind zwischen Bauherrn und Auftragnehmer – ggf. unter Hinzuziehung von Sachverständigen – zu vereinbaren.

c) Verdeckte (Axial-)Falten

Leider oft nicht auf den ersten Blick zu erkennen sind die verdeckten Falten in einem Rohrquerschnitt. Wie der Name schon impliziert, befinden sich diese im Linerquerschnitt und stellen eine Überlappung („Schlinge“) der Linerschichten dar. Auf der Innenseite des Liners – gereinigter Zustand nach Renovation vorausgesetzt – ist oftmals nur eine Kante (schwach) sichtbar, sodass der Liner optisch in Ordnung scheint. Bei genauerem Hinsehen kann ggf. eine Verdickung festgestellt werden, die dann genauer untersucht werden muss.

Es bildet sich auch hier ein zusätzliches Drehmoment aus, für das der Liner planmäßig nicht bemessen wurde; auch ist die Außenfolie immer eine Trennschicht, die einen Verbund des harzgetränkten Trägermaterials verhindert.

Oft treten diese verdeckten Falten bei Sonderprofilen (z. B. Eiprofilen) auf und resultieren aus einem nicht fachgerechten Einbau (z. B. Druckabfall während Installation). Da hierviel Material im Überlappungsbereich vorhanden ist, fehlt dieses an anderer Stelle, sodass in den meisten Fällen der Liner auch im Scheitel nicht anliegt. Dies ist jedoch einfach überprüfbar, indem auf der entsprechenden Videoaufnahme die Muffenverbindungen des Altrohres – vor allem im Scheitel – ersichtlich sein müssen (insbesondere bei dünnwandigen GF-Linern). Zeichnen sich diese nicht ab, so besteht der Verdacht, dass der Liner nicht anliegt und ein größerer Spalt vorhanden ist. Im begehbaren Bereich bei dickeren Laminaten kann dies z. B. durch „Abklopfen“ mit einem Hammer erfolgen. Die Beulsicherheit ist in solchen Fällen wesentlich geringer als berechnet – zu beachten sind auch hier die tatsächlich vorhandenen Materialkennwerte an der Schadensstelle.

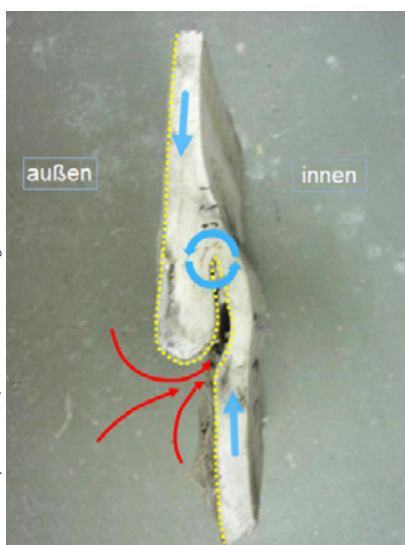


Abb. 6 – verdeckte Falte bei einem SF-Liner; zusätzliche Kräfte u. Momente

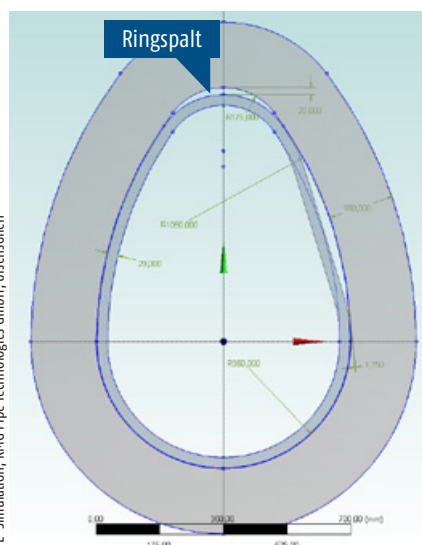


Abb. 7 – zu kleiner Liner im (umgedrehten) Eiprofil; FE-Simulation

d) Überdehnung des Liners

Keine Falte im eigentlichen Sinne, jedoch ähnliche Auswirkungen wie die vorherbeschriebenen verdeckten Falten hat ein überdehnter Liner. Dieser war ursprünglich zu klein konfektioniert bzw. wurde in einen Teilbereich eingebaut, der ein größeres Nennmaß aufweist. In beiden Fällen wird der Liner durch den Einbaudruck überdehnt, da kein Gegendruck durch das Altrohr vorliegt. Zum einen werden die Materialkennwerte in diesem

» Um eine Faltenbildung im Liner zu verhindern, sollte die zu sanierende Haltung bereits in der Planungsphase kalibriert werden. «

Bereich aufgrund der fehlenden Verdichtung nicht die geforderten Eigenschaften erreichen, zum anderen bildet sich ein Spalt zwischen Altrohr und Liner aus, der den Mindestwert von $\omega_s = 0,5\%$ von r_L meist deutlich überschreitet – oft entsteht sogar ein größerer Ringraum.

Der Widerstand gegen Einbeulen durch äußeren Wasserdruck sinkt drastisch und der Liner versagt (langzeitig) voraussichtlich durch Überschreiten der zulässigen Spannungen (SF-Liner) oder schlägt durch (Stabilitätsversagen, GF-Liner). Hier ist, falls technisch möglich, ein Verdämmen der betroffenen Abschnitte erforderlich, es muss eine Verstärkung eingebaut werden oder der Liner wird letztendlich entfernt. Die gewählte Maßnahme ist zwischen Bauherrn und Auftragnehmer zu vereinbaren – ggf. kann ein Fachexperte zu Rate gezogen werden. Zu beachten ist, dass im Falle eines Verdämmens eine Auftriebsicherung sowie temporäre Maßnahmen gegen Einbeulen getroffen werden müssen.

e) Formfalten

Auch schwer erkennbar sind die sogenannten Formfalten, die z. B. entstehen, wenn das Altrohr nicht fachgerecht gereinigt wurde und noch punktuelle Hindernisse vorhanden sind. Der

Liner legt sich unter dem Installationsdruck an das Altrohr planmäßig an und drückt sich dabei gegen die vorhandenen Hindernisse (oder auch Abzweige). In diesen Bereichen drückt sich das Trägermaterial stärker zusammen als vorgesehen und wird in der Folge komprimiert. Die Folge sind lokale Wanddickenverluste $e_m < t_L$, die meist aber nicht ins Gewicht fallen, da durch die stärkere Komprimierung auch die Materialkennwerte (zumindest kurzzeitig) höher sind als geplant. Durch diese zusätzliche Reserve traten diesbezüglich in der Vergangenheit zwar selten Schäden auf – zu beachten ist jedoch, dass die Wanddicke in die Steifigkeit des Systems mit der dritten Potenz eingeht und somit leider nicht so einfach durch einen höheren E-Modul zu kompensieren ist.

Fazit

Trotz des gestiegenen Qualitätsniveaus von Renovationsmaßnahmen in der jüngsten Vergangenheit treten immer wieder Fälle von (Längs-)Falten in Linern auf. Diese sind immer im Einzelfall zu bewerten und zu untersuchen. Die vorhandenen Standards geben hier Hilfestellung, können jedoch nicht alle Bereiche abdecken. Gerade die statische Betrachtung wird oft vernachlässigt, weil die Liner meist ein „gesundes Maß“ an Tragsicherheitsreserve mit an Bord haben und deshalb (im Moment) nur wenige Langzeit-Schäden bekannt sind. Eine statische Betrachtung des Ist-Zustandes nach einer Renovation mit Faltenbildung kann jedoch in manchen Fällen auch belegen, dass trotz Falten die Standsicherheit unter Einhaltung der erforderlichen Sicherheiten noch gegeben ist und der Liner nicht immer gleich unter hohem Aufwand entfernt werden muss.

Zur Vermeidung von Falten ist es unbedingt erforderlich, bereits in der Planungsphase die zu renovierenden Haltungen zu kalibrieren. Die Weiterentwicklungen im Bereich der TV-Inspektion geben heute detaillierte Auskunft über die Querschnittsfläche der Leitung sowohl im begehbaren Querschnitt (3D-Laserscan) aber auch im Nennweitenbereich < DN 800 (Laser-Deformationsmessung). Im Gegensatz zu den älteren (mechanischen) Methoden sind die Ergebnisse dieser Messungen relativ genau und können sowohl für die Auswahl des Linersystems als auch für die Konfektionierung eine sehr gute Hilfestellung geben, um das Renovationsziel zu erreichen.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 11296: Kunststoff-Rohr-leitungssysteme für die Renovation von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauch-Lining, 2011.
- [2] DWA-A 143-2: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit Lining- und Montageverfahren, Juli 2015.
- [3] ATV-DVWK-A 127: Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen, 3. Auflage, August 2000.
- [4] DWA-M 144-3: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV) für die Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 3: Renovation mit Schlauchliningverfahren (vor Ort härtendes Schlauchlining) für Abwasserkanäle, aktualisierte Fassung September 2014.

Autor

Markus Maletz
TÜV Rheinland Industrie Service GmbH
Tillystr. 2
90431 Nürnberg
Tel.: 0911 655-4839
Fax: 0911 655-4851
markus.maletz@de.tuv.com
www.tuv.com

