

Vertikale Liner können mehr als vermutet

Von Markus Maletz

Seit nunmehr über 50 Jahren werden Schlauchliner (int.: CIPP) in meist horizontal verlaufende Rohre eingezogen oder eingestülpt, mit Innendruck beaufschlagt und dann in diesem Zustand mittels Wärmezufuhr (Dampf, Heißwasser) oder UV-Licht ausgehärtet. Im Laufe der Jahre haben sich bezüglich des verwendeten Materials dabei zwei grundsätzliche Verfahrensgruppen entwickelt, die sich den vorhandenen Sanierungsmarkt quasi aufteilen. Zunächst die „klassischen“ Nadelfilzliner, die meist thermisch gehärtet werden und dann nachfolgend die Weiterentwicklungen mit Glasfasern als Verstärkungsmaterialien, die in jüngerer Zeit immer mehr Marktanteile für sich beanspruchen. Nachdem mittlerweile aufgrund von relativ hohen Materialkennwerten auch Sanierungen in Nennweiten von DN 2000 möglich sind, ist selbst diese Barriere gefallen, die bis dato den SF-Linern vorbehalten war. Aber auch das Normenwerk ist im Laufe der letzten Jahrzehnte durch paralleles Arbeiten von diversen Ausschüssen und Arbeitsgruppen mit den Entwicklungen der Industrie gewachsen. Man spricht heute bereits von einem standardisierten Produkt Schlauchliner, das mittlerweile als Regelbauverfahren gilt.

Leider wurden in der Vergangenheit, aber zum Teil auch noch heute, die Zugänglichkeiten zu den Rohren eher vergessen. Die

Kanalschächte und Schachtbauwerke dienen als Belüftung und Inspektionsöffnungen zu unserem Kanalnetz und ermöglichen die Reinigung, Inspektion und Sanierung unserer Rohre – dienen also der sogenannten „Betriebssicherheit“. Mittlerweile werden die Schächte aber auch immer mehr in die turnusmäßigen Untersuchungen und Kanalkataster aufgenommen und auch schadenstechnisch bewertet. Es gibt jedoch noch nicht viele eigenständige Normen oder Arbeits-/Merkblätter, die sich mit der Sanierung von Schächten beschäftigen – es sei hier stellvertretend das RSV-Merkblatt 6.2 „Sanierung von Schächten und Bauwerken in Entwässerungssystemen Reparatur / Renovierung. Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung“ genannt, das sich seit Januar 2020 auf dem Markt befindet. Die DWA ist zurzeit mit zwei Arbeitsgruppen am Start und erstellt neue Merkblätter für den Bau von Schächten sowie die Sanierung dieser, wenn im Laufe der Nutzungsdauer Schäden aufgetreten sind. Mit einem Ergebnis ist in Kürze zu rechnen.

Mittels „klassischer“ Schacht-Reparatur, Beschichtungen (mineralisch, auf Kunststoff-Basis) wurden in der Vergangenheit bereits gute Erfolge erzielt, um die Lebensdauer von Kanalschächten zu verlängern bzw. deren Zustand zu erhalten. Die Schadensbilder sind häufig auch nur im oberflächlichen Bereich zu finden (v. a. Korrosion, Undichtigkeiten) – durchgehende Längsrisse und statische Schädigungen sind eher die Ausnahme und dann auch oft nur im Schachtkopf zu finden, der durch die hohen Verkehrsbelastungen in unseren Hauptstraßen einer besonderen Dynamik unterliegt.

Seit ein paar Jahren nun haben – nach den ersten Versuchen mit verankerten glasfaserverstärkten Platten – auch vertikal einzubauende Liner den Markt erobert, da sie einen relativ zügigen Einbau garantieren und für eine Abdichtung oder einen Korrosionsschutz des Altschachtes sorgen. Geometrisch richtig dimensioniert – d. h. maßgeschneidert auf den einzelnen Schacht – ist dieser vertikale Liner auch für viele Bauherren betrieblich die erste Wahl, da das korrosionsbeständige Material zusammen mit den neu installierten Edelstahl-Einstiegshilfen für einen jahrelangen problemlosen Einsatz steht. Auch für eine Anbindung an vorhandene (horizontale) Schlauchliner im Zu- und Ablauf eines Schachtes gibt es bewährte Möglichkeiten. Diese vertikalen Schachtliner sind bis dato aufgrund ihres Verwendungszweckes bzw. der Eignung in statischer Hinsicht auf einen externen, langfristig anstehenden Grundwasserdruck bemessen worden. Dieser radial anstehende, umlaufende Wasserdruck nimmt mit der Höhe des Schachtes ab. Sollte kein anstehendes Grundwasser vorhanden sein, wurde in Ermangelung einer expliziten Regelung auf das DWA-Arbeitsblatt A 143-2 verwiesen, das auch für horizontal eingebaute Schlauchliner eine entsprechende Regelung aufweist. Ab Oberkante Berme sollen diese Liner mindestens einem äußeren Wasserdruck von $h_{w,Be} = 1,5$ m widerstehen können. Ebenso ist das eventuell vorhandene GFK-Gerinne, das im Bereich der Berme an den Liner angehängt wird, auf diese



Bild 1: Um die Verschiebungen zwischen dem Liner und dem Altschacht messtechnisch zu erfassen, wurde im Schachtkopf der Liner durchbohrt und ein Messpunkt auf dem Beton angebracht

Einwirkung zu bemessen. Bei der Berechnung sind auch die von den Rohren bekannten Imperfektionen zu beachten, indem zum einen eine örtlich begrenzte Vorverformung (Öffnungswinkel $2\varphi' = 40^\circ$) an einer definierten Stelle des Schachtes in einer Tiefe von $\omega_v = 2\%$ von r_L angenommen wird und zum anderen auch eine Spaltbildung von $\omega_s = 0,5\%$ von r_L umlaufend in Ansatz gebracht wird.

Dieser Ringspalt zwischen Liner und Altschacht, der durch die Polymerisation des Harzes und dem thermischen Schrumpf des Materials bei Abkühlung entsteht, war es auch, der zu einer ersten Theorie des Autors geführt hat. Was passiert denn, wenn auch der Konus eines Schachtes mit einem vertikalen Liner ausgekleidet wird und durch eine vertikale Radlast eines Schwerfahrzeuges nun der vorhandene Altschacht eine vertikale Setzung erfährt? Würde sich in so einem Fall der (geringe) Ringspalt schließen und der Liner eine Verkehrsbelastung abbekommen, für die er ja nicht ausgelegt ist?

Überfahr- und Laborversuche

Somit war die Basis für einen ersten „Tastversuch“ gelegt, der 2016 an einem ausgekleideten Schacht in der Stadt Nürnberg stattfand. Um die Verschiebungen zwischen dem Liner und dem Altschacht messtechnisch zu erfassen, wurde im Schachtkopf der Liner durchbohrt und ein Messpunkt auf dem Beton angebracht, der sich mit einem weiteren aufgeklebten Messpunkt am Liner gegen das Schachtunterteil „abstützt“ (siehe **Bild 1**). Nun wurden mehrere Überfahrten mit einem vollbetankten Spülfahrzeug der Stadtentwässerung und Umwelanalytik Nürnberg durchgeführt und die Verschiebungen aufgezeichnet. Die Ergebnisse dieser Überfahrversuche in der (alten) Lastklasse SLW 30 wurden nach Auswertung auf das aktuell gültige Lastmodell LM 1 aus der DIN EN 1991-2 hochgerechnet und zu $u_y = 0,8$ mm ermittelt. Bei einem gemessenen Spalt zwischen Liner und Altschacht von $w_s = 1,0$ mm wurde somit festgestellt, dass der Spalt durch die Einwirkung einer Radlast nicht geschlossen wird und die Bemessung des vertikalen Schachtliners auf äußeren Wasserdruck ausreichend ist, um keine Schädigungen hervorzurufen.

Die damit immer noch unbeantwortete Frage war aber, ob denn der vertikale Liner überhaupt eine Verkehrsbelastung aufnehmen kann? Eine Antwort lieferten Laborversuche, die parallel in Deutschland und in Japan stattfanden. Um eine Zulassung auf dem japanischen Markt zu erhalten, hat ein deutscher Hersteller eines vertikalen Liners ein Prüfprogramm als Vorgabe erhalten – ähnlich wie es z. B. das DIBt in Berlin für die horizontalen Liner aufgestellt hat. Ein Teil dieses Programmes war die vertikale Lastprüfung eines vordefinierten Standard-Schachtes DN 1000 mit einer Öffnung DN 500, der ohne Altschacht in einer Prüfmaschine vertikal belastet wurde (siehe **Bild 2**). Es wurde eine Last von $F_y \geq 600$ kN im Labor erreicht, was für alle eine sehr große Überraschung war, da niemand dem Material eine so hohe Lastaufnahme zugetraut hat. Ein zweiter Versuch in Deutschland mit einem ähnlich ausgebildeten Schacht führte zu einem Ergebnis von $F_y = 470$ kN bis zum Bruch an der Öffnung – dies wurde bereits vorab mit einer FEM-Simulation ermittelt.

Liner mit Verstärkungsrippen

Die Ergebnisse der beiden Versuche haben dann dazu geführt, dass in einem kleinen Arbeitskreis von ausgewählten Experten (Industrie, Kommune, Ingenieurbüro) weiter beraten wurde,



Bild 2: Vertikale Lastprüfung (Japan)

wie man denn nun in der Entwicklung weitergehen könne. Das Resultat war, dass zunächst ein möglicher, voll tragfähiger Liner für zwei Schacht-Typen DN 1000 kreisrund und quadratisch Q 1000 x 1000 mm berechnet werden sollte. Neben dem anstehenden Wasserdruck müssen aber in einem angenommenen Altschachtzustand IIIa nach DWA-A 143-2 auch Erd- und Verkehrslasten durch den vertikalen Liner aufgenommen werden.

Folgende Annahmen bzw. Beschlüsse wurden für diesen neuen Linertyp getroffen:

- » Schächte DN 1000 rund, sowie Schächte quadratisch Q1000x1000 mm
- » Altschachtzustand IIIa (Altschacht = „Kies“; $E_{AS} = 40$ N/mm² als Bettung)
- » Tiefe Schächte $T = 5,0$ m
- » Grundwasser von $h_{w,Be} = 1,5$ bis $3,5$ m (über OK Berme)
- » Verkehrslast LM 2 gem. Eurocode EN 1991-2 (Radlast $Q_{ak} = 200$ kN); dynamischer Lasteinfluss
- » Erddruck auf Altschachtwandung
- » Materialkennwerte in Längsrichtung geringer ($\Delta_E \approx 13\%$)
- » kein Wert für die Schwingbreite $2\sigma_A$ vorhanden, Annahme daher in Anlehnung an GFK-Rohr (50 %) für $n = 10^6$ Lastwechsel
- » Boden neben Altschacht: Bodengruppe G3 – bindiger Mischboden
 - Verformungsmodul: $E_b = 5,0$ MN/m²
 - Reibungswinkel: $\varphi' = 25,0^\circ$
 - Wichte: $\gamma_B = 20,0$ kN/m³
 - Wichte unter Auftrieb: $\gamma'_B = 11,0$ kN/m³
 - Poissonzahl: $\mu = 0,30$
- » Verkehrslasten werden durch eine „geeignete“ Konstruktion in den Liner eingeleitet

Tabelle 1: Materialbedarf

Grundwasser über OK Berme [m]	DN 1000 - Wanddicken		Q1000x1000 - Wanddicken	
	Liner t_L [mm]	Rippe t_R [mm]	Liner t_L [mm]	Rippe t_R [mm]
1,5	7,5	12,7	9,1	22,5
2,5	8,4		10,7	
3,5	9,0		12,7	
Liner-Material	Alphaliner 500G		Alphaliner 1800H	

Rechnerisch wurden die Annahmen mit einer FEM-Simulation durchgeführt, in deren Optimierungsprozess versucht wurde, auch den Materialbedarf des Liners zu verbessern. Da sich Erd- und Wasserdrücke über die Höhe des Kanalschachtes wertemäßig verkleinern, lag es nahe, die Wanddicken des Liners analog mit der Höhe zu verringern. Dies lässt sich zwar im Produktionsablauf exakt steuern, bringt aber immer eine gewisse Individualität in das Produkt und jeder Schachtliner wäre somit maßgeschneidert und damit nicht unbedingt wirtschaftlich günstig. Daher hat sich in Gesprächen und Meetings herauskristallisiert, dass ein standardisiertes Produkt, das möglichst viele mögliche Lastfälle abdeckt, die bessere Alternative wäre. Dies war die Geburtsstunde der Rippenverstärkung. Eine radial verlaufende „Verdickung“ eines im Produktionsprozess gewickelten vertikalen Liners, die die statischen Lasten aufnimmt und somit die Tragfunktion darstellt und dann wiederum die Zwischenbereiche, die entsprechend dünner gewickelt werden können. Durch viele Test-Rechnungen hat sich ergeben, dass für den definierten Standard-Lastfall beim Schacht DN 1000 kreisrund eine Verstärkungsrippe mit einer Höhe von $h_{rib} = 0,30$ m ausreichend ist, während beim quadratischen Schacht Q 1000 x 1000 mm zwei Rippen in der vorgenannten Höhe erforderlich sind. Auch Lage und Dicke der Rippen wurden definiert und im Rahmen von Test-Produktionen auch hergestellt (siehe **Tabelle 1**). Ziel ist es nun, diese neuen, rippenverstärkten Liner in möglichst vielen Kommunen oder Städten einzubauen, um Praxiserfahrungen zu sammeln. Die Problematik für die Hersteller ist nur noch, die Verkehrslasten in einer „geeigneten“ Art und Weise in den Liner direkt einzuleiten – hierzu sind bereits erste Konstruktionen mit Edelstahlwinkeln entstanden, die nun getestet werden. Durch regelmäßige Kontrollen des Schachtkopfes können dann im Laufe der nächsten Jahre wertvolle Erfahrungen gewonnen werden, um die Weiterentwicklung zu steuern.

Drei Klassen?

Die Entwicklungen der letzten Jahre sowie die neuesten Errungenschaften auf dem Gebiet der vertikalen Liner haben gezeigt, dass sich drei Klassen an Schachtlinern herauskristallisieren:

1. „Überdehnte“ Schachtliner
2. Maßgeschneiderte Schachtliner
3. Voll tragfähige Schachtliner

Aufgrund des Einsatzzweckes bietet diese Auswahl auch für Städte und Kommunen eine passende Lösung an, je nachdem wie hoch die technischen Anforderungen sind und wie groß

das Budget ist. Im Falle der relativ günstigen vertikalen Liner, die mit einer planmäßigen Überdehnung arbeiten, muss man wissen, dass die Wanddickenverteilung durch das Aufdehnen von DN 630 auf DN 1000 bei einem „Standard“-Schacht nicht steuerbar ist. Es existieren nur Erfahrungswerte der Hersteller und die Mindestwanddicke dieser Auskleidung gegenüber äußerem Wasserdruck muss an allen Stellen im Liner vorhanden sein. Wie ist das zu überwachen und zu prüfen – hier sind noch Entwicklungen gefragt! Ein maßgeschneiderter vertikaler Liner ist dagegen schon ein wenig teurer, bietet aber den Vorteil einer homogenen Wanddickenverteilung bei einem gleichmäßigen Spaltmaß. Und wenn auch noch Verkehrslasten aufgenommen werden sollen, dann muss der Bauherr ein wenig tiefer in die Tasche greifen, um eine Lösung zu erhalten, die ihn viele Jahre von einer aufwändigeren Ersatzneubaumaßnahme mit allen „sozialen“ Aspekten befreit.

Fazit

Die Entwicklung geht weiter, nachdem die vertikalen Liner gezeigt haben, dass prinzipiell Potenzial vorhanden ist. Die Praxiserfahrungen der nächsten Jahre werden zeigen, wo noch Weiterentwicklungsbedarf ist und wie noch nachgebessert werden muss bzw. an welchen Stellschrauben gedreht werden kann. Die ersten Anregungen bzw. Fragen aus dem Markt kommen bereits und werden rege aufgegriffen und behandelt.

SCHLAGWÖRTER: Schachtsanierung, vertikale Liner

AUTOR



Dipl.-Ing. (FH) **MARKUS MALETZ**
 LGA Bautechnik GmbH, Nürnberg
 Tel. +49 911 81771-429
 markus.maletz@lga.de

Stand Nr.: 2-H B1.09