

Gedanken zur Standsicherheit vertikaler Liner in Schächten

Markus Maletz (Nürnberg)

Zusammenfassung

Nach dem „Siegeszug“ des vor Ort härtenden Schlauchliners über einen Zeitraum von fast 50 Jahren werden nun auch seit längerem Schächte und kleinere, einfache Schachtbauwerke mittels senkrecht eingebautem Liner saniert. Was mit einem liegenden Rohr möglich ist, sollte auch in der Vertikalen funktionieren – so der Gedanke der Hersteller und Einbaufirmen. Dennoch gibt es einige Änderungen und Anmerkungen gegenüber den Schlauchlinern für horizontal eingebaute Rohre.

Schlagwörter: Entwässerungssysteme, Kanalisation, Schacht, Sanierung, Schlauchlining, vertikal

DOI: 10.3242/kae2018.10.003

Abstract

Considering the structural stability of vertical liners in shafts

After almost 50 years of sliplines cured in place reigning supreme, shafts and smaller, straightforward shaft structures have long been refurbished using liners installed vertically as well. Manufacturers and installers believe that what is possible with horizontal pipes should also work in vertical pipes. Nonetheless, a few changes and explanatory notes are needed compared with the use of sliplines for horizontal pipes.

Key words: drainage systems, sewer, shaft, refurbishment, slipline, vertical

1 Einleitung

Nach dem „Siegeszug“ des vor Ort härtenden Schlauchliners über einen Zeitraum von fast 50 Jahren werden nun auch seit längerem Schächte und kleinere, einfache Schachtbauwerke mittels senkrecht eingebautem Liner saniert. Was mit einem liegenden Rohr möglich ist, sollte auch in der Vertikalen funktionieren – so der Gedanke der Hersteller und Einbaufirmen. Dennoch gibt es einige Änderungen und Anmerkungen gegenüber den Schlauchlinern für horizontal eingebaute Rohre.

2 Unterlagen und Standards

Bezüglich der Schächte und Schachtbauwerke in Kanalsystemen gibt es viele Dokumente und Kapitel in den einschlägigen Normen sowie in Arbeits- und Merkblättern verschiedener Verbände. Ein allumfassendes Werk, zumindest mit dem Status „Stand der Technik“ – speziell auf neue und alte Schächte und Schachtbauwerke zugeschnitten – ist leider (noch) nicht vorhanden und wird unter anderem gerade von der DWA in einer Arbeitsgruppe erarbeitet. Daher sollen im Folgenden die wichtigsten Vorschriften bezüglich der Sanierung von Schächten nach dem aktuellen Stand der Veröffentlichung kurz dargestellt werden.

2.1 Arbeitsblatt DWA-A 143, Teil 2

Im Arbeitsblatt DWA-A 143-2 aus dem Jahr 2015 [1], das sich hauptsächlich mit der statischen Berechnung von (Schlauch-)

Linern beschäftigt, wird das Kapitel der Schächte etwas stiefmütterlich behandelt. Es ist lediglich ein Vermerk vorhanden, der bezüglich der Schachtzustände auf die Altrohrzustände I und II verweist und es dem lesenden Ingenieur somit überlässt, sich sinngemäß ein statisches Modell zurechtzulegen. Insbesondere die Imperfektionen bei Rohren müssen hier praxisgerecht auf den vertikalen Schachtliner übertragen werden, ohne unnötige Einschränkungen zu erzeugen, die die Wirtschaftlichkeit in Frage stellen.

2.2 Arbeitsblatt DWA-A 127 (Neuaufgabe)

Auch das bewährte Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 [2], das sich zurzeit in Überarbeitung befindet und demnächst erscheinen soll, verweist bereits auf das neu zu erstellende Merkblatt DWA-M 127-4, das sich dann konkret mit den Schächten befasst. Die aktuell noch gültige Version ist jedoch nur auf Rohre zugeschnitten und gibt somit wenig Hilfestellung für die Bemessung der vertikalen Liner in Schächten.

2.3 DIN V 4034-1

Erste Hinweise auf die Bemessung von (neuen) Schächten findet man in der DIN V 4034, Teil 1 [3] aus dem Jahr 2004 – dort sind im informativen Anhang K Hinweise zum horizontalen Erddruck und zum ebenfalls horizontalen Anteil der Verkehrslasten zu finden. Bei standardisierten Stahlbeton-Fertigteile-

schächten bis zu einer Einbautiefe von $t \leq 10$ m sind unter anderem auch keine Spannungsnachweise zu führen, und die Mantelreibung ist zu vernachlässigen.

Somit ist auch davon auszugehen, dass die Masse der vorhandenen, zu sanierenden Schächte indirekt für Erd- u. Verkehrslasten ausreichend bemessen sind. Dies wiederum schließt nicht aus, diese in Augenschein zu nehmen und den Ist-Zustand zu bewerten.

2.4 RSV-Merkblatt 6.2

Etwas weiter kommt man mit dem Merkblatt 6.2 „Sanierung von Schächten und Bauwerken in Entwässerungssystemen“ des RSV [4] aus dem Jahr 2012, das die Thematik der Schächte aufgegriffen hat und praktische Hinweise zur Sanierung gibt. So werden zum Beispiel analog zu [1] fünf Altschachtzustände definiert, wobei bezüglich Sanierung die Grenze zwischen einer voll tragfähigen Struktur, und der einer Auskleidung zwischen Altschachtzustand II und III liegt. Weitere konkrete Berechnungs- und Bemessungshinweise werden aber auch hier nicht gegeben.

3 Installation

Vor dem Einbau eines vertikalen Schachtliners (Abbildung 1) werden zunächst alle Hindernisse entfernt, die bei der Installation das Anliegen des Schlauchs an die Schachtwandung verhindern – dies sind zum Beispiel Steigeisen, -leitern oder auch einragende Rohrstutzen von Zuläufen. Die Reinigung erfolgt anschließend mit Wasserhochdruck und entfernt lose Partikel. Gegebenenfalls ist es dann noch notwendig, die Oberfläche der Schachtwandung anzugleichen und eventuelle Fehlstellen händisch zu reparieren. Bei anstehendem Grundwasser kann es erforderlich sein, eine temporäre Vorabdichtung durchzuführen.

Die Schachtsohle (Berme und Gerinne) wird danach mit einem GFK-Plattenmaterial – das passgenau zugeschnitten wird – ausgekleidet und verschraubt. Sämtliche Ankerstellen und Stöße werden dabei mit Handlaminat verbunden bzw. überlaminiert. Auf die Qualität des Untergrunds – in der Regel (Stahl-)beton oder Mauerwerk – ist zu achten, und das Verankerungssystem ist daraufhin anzupassen. Eine kurze statische

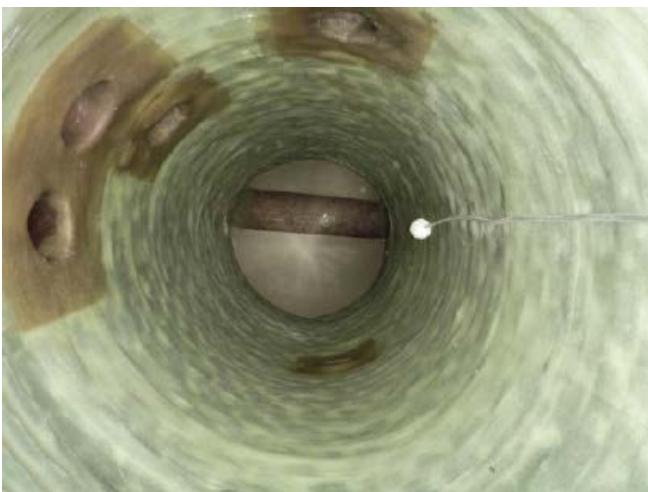


Abb. 1: Installierter, vertikaler Liner (Foto: Vertiliner GmbH, Plattling)

**INNOVATIVE
SCHACHTAUSKLEIDUNG**



www.vertiliner.com

Berechnung, die zur Anzahl bzw. Auswahl und Anordnung der Dübel und Schrauben führt, ist gegebenenfalls hilfreich.

Der Schachtliner im Einbauzustand wird nach vorherigem exaktem Ausmessen des Schachts auf diesen „maßgefertigt“ und angeliefert. Im Schachtunterteil wird ein Hilfsboden eingesetzt und der Liner dann über eine Winde in den Schacht hinabgelassen. Eine Wasserhaltung ist in der Regel nicht erforderlich. Nach Positionierung und kontrolliertem Aufweiten des Liners kann nun die Aushärtung mittels UV-Licht von der Sohle aus in Richtung Konus erfolgen.

Nach dem Abschneiden des ausgehärteten Schachtliners am Schachtkopf wird die Schnittkante mittels Dichtungsmasse zum Alt-Schacht hin versiegelt. Am Unterteil des Schachtes wird der Hilfsboden entfernt und der Schachtliner mit Handlaminat (und gegebenenfalls Verankerungen) an das bereits installierte GFK-Plattenmaterial angebunden.

4 Statische Bemessung

4.1 Erd- und Verkehrslasten

Die Aufnahme von horizontalen Lasten aus Erddruck, Verkehrslast und Grundwasser stellt für einen vertikalen Schachtliner an sich kein Problem dar – problematischer wird es mit den senkrechten Lasten zum Beispiel aus Verkehr, die bei einer Vollauskleidung (einschließlich Konus) über die relativ dünne Wanddicke (= Tragstruktur) nahezu 1 : 1 über das Schachtunterteil in den Boden abgeleitet werden müssten, falls Altschachtzustand III oder IIIa nach [4] vorliegt. Da sich die resultierenden Spannungen in Längs- und Querrichtung auch noch überlagern und es somit zu einem Längsbeulen kommen kann, ist der wirtschaftlich sinnvolle Einbau aufgrund der erforderlichen höheren Wanddicken ohne zusätzliche Aussteifungen nicht möglich. Hier sind auch der UV-Lichtaushärtung durch die technische Machbarkeit bei dickeren Laminaten Grenzen gesetzt, die zurzeit nicht überwunden werden können. Ein gesichertes Abtragen der vertikalen Lasten aus Verkehr ist daher nur über die vorhandene Tragstruktur des Altschachts möglich.

4.2 Grundwasserdruck

Somit verbleibt für einen vertikalen Schlauchliner eigentlich nur die Funktion eines Korrosionsschutzes bzw. einer Abdichtung gegen eine mögliche anstehende externe Grundwasserbelastung. Sollte kein anstehendes Grundwasser vorhanden sein, lehnt man sich an [1] an und definiert eine Ersatzlast von $h_{w,so} = d_a + 0,1$ m, jedoch mindestens 1,5 m über Rohrsohle. Der Wert für d_a ist hier der Schachtdurchmesser bei kreisrunden Schächten bzw. die Breite/Tiefe eines rechteckförmigen oder quadratischen Schachts.

Anders als bei den Rohren ist der Grundwasserdruck nicht abnehmend von Sohle zu Scheitel, sondern steht radial am Schacht an und nimmt mit der Bauhöhe (= Schachttiefe) zur Geländeoberfläche hin ab (Abbildung 2).

Das Maß der externen Wasserdruckbelastung ist daher auf die Gerinnesohle zu beziehen, falls der Schacht mit einem entsprechenden Unterteil saniert wurde. Soll lediglich die Schachtwand ausgekleidet werden, kann der Bezugspunkt für die Druckhöhe auch auf die Unterkante des vertikalen Liners bezogen werden, da dort auch die Abdichtung zum Altschacht vorgenommen wird.

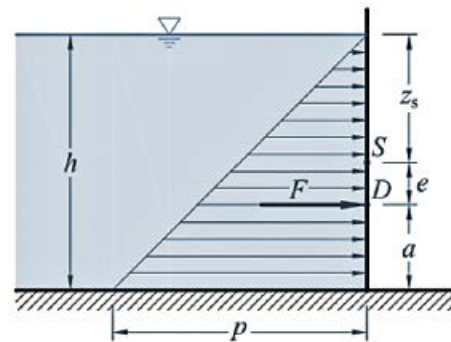


Abb. 2: Hydrostatischer Wasserdruck (mit freundlicher Genehmigung übernommen von Bauformel Verlag GmbH)



Abb. 3: Schachtunterteil, verankert (Foto: Vertiliner GmbH, Plattling)

Auch die Schachtunterteile sind durch eine Berechnung nachzuweisen, da hier vor allem der Auftrieb wirksam wird. Durch eine geeignete Anzahl an Anker und Dübeln in einem vorgegebenen Raster werden die Auftriebskräfte aufgenommen und in das Schachtunterteil eingeleitet.

Die tatsächliche Qualität des Betons bzw. des Mauerwerks ist hierbei entscheidend, da die Zugkräfte dauerhaft gesichert übertragen werden müssen (Abbildung 3). Gerade bei einem älteren Mauerwerk ist dies nicht immer möglich, und die zulässigen Ankerkräfte sind relativ niedrig, was die Anzahl der Anker erheblich erhöhen kann. Gegebenenfalls sind Auszugversuche erforderlich, um die zulässigen Ankerkräfte zu ermitteln. Ein an das Unterteil anlaminierter vertikaler Liner mit Konus ist hier eine Hilfe, da die Auftriebskräfte über den aufgehenden Liner in den Konus abgetragen werden können.

4.3 Berechnung als 3D-Modell

Prinzipiell liegt die klassische Berechnung eines vertikalen Liners als 2D-Modell mit einem radial konstantem, über die Höhe abnehmenden Wasserdruck auf der sicheren Seite, sofern die auch hier Imperfektionen analog [1] berücksichtigt werden.

Einige elektronische Rechenprogramme besitzen auch die entsprechende Möglichkeit, bei der Lasteingabe einen konstanten Außendruck über den Umfang des Rohrs/Schachts anzusetzen. Dann wird eine Bemessung des vertikalen Liners für den ungünstigsten Punkt in der Sohle des Schachts durchgeführt.

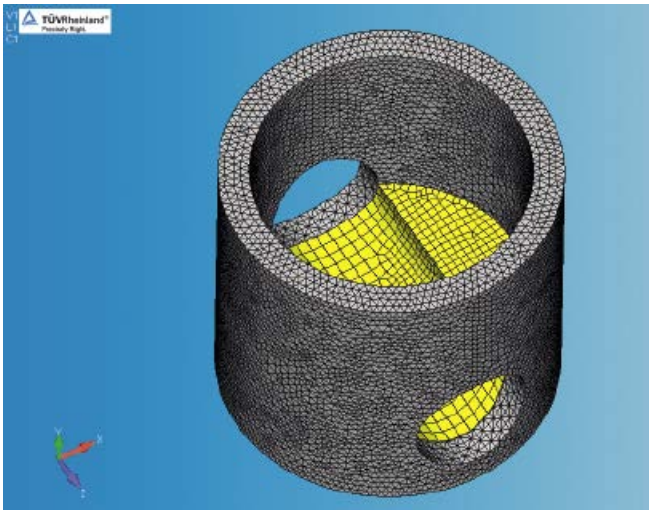


Abb. 4: 3D-FE-Modell einer Schachtsohle

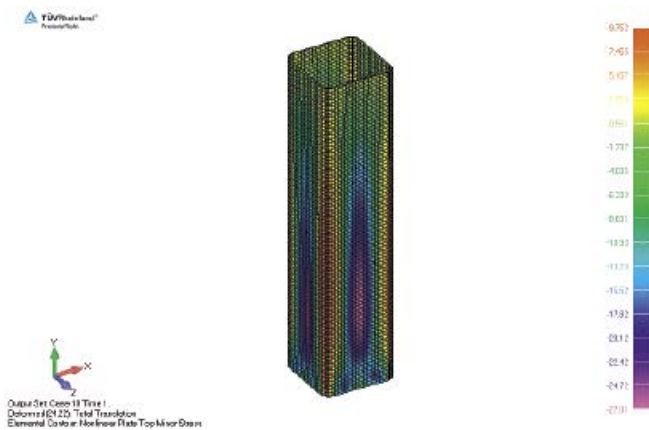


Abb. 5: Beispiel, quadratische Schachtauskleidung, Biegedruckspannungen; Einspannung Berme

Um eine Tragwirkung auch noch in Längsrichtung zu betrachten, ist es jedoch unter Umständen sinnvoll, die benötigten Wanddicken auch mit einem 3D-Modell zu betrachten (Abbildung 4). Hier ist vor allem der Anschluss des vertikalen Liners an die ausgekleidete Schachtsohle interessant, da dieser häufig mittels einer geeigneten Verankerung und/oder Handlaminaten erfolgt. Diese biegesteife Befestigung kann dann im statischen Modell als „Einspannung“ mit verdrehbaren Knoten angesetzt werden (Abbildung 5), was die Tragwirkung des Liners erhöht und wirtschaftlichere Ergebnisse zu erzielen sind.

Ebenfalls ist es möglich, zum Beispiel im Fall von sehr tiefen Schächten mit hohen Wasserdrücken noch zusätzliche Verstärkungen in Form von innenliegenden Spannbändern oder Verankerungen zu berücksichtigen. Die Verankerungskräfte sind dann aus den Rechenergebnissen zu ermitteln und in der Praxis mit entsprechenden Ankern und Dübeln umzusetzen; hierbei sollten nur zugelassene Produkte verwendet werden.

5 Tastversuche Verkehrslast

Wie bereit unter Kapitel 4.1 beschrieben, ist es mit den vertikalen Linern möglich, durch geeignete Konfektionierung den oberen Teil des Schachts (Konus) close-fit auszukleiden. Durch ei-

ne Lasteinleitung auf den Schachtdeckel aus einer Verkehrslast kann es nun sein, dass sich Alt-Schacht und Auskleidung unterschiedlich vertikal verschieben und es somit zu einer nicht gewollten dynamischen Lasteinleitung in den Liner kommt, die das Material über die Lebensdauer schädigen könnte. Dieser Teil der Auskleidung müsste dann durch einen Trennschnitt von der restlichen Auskleidung entkoppelt und mittels geeignetem, elastischem Kunstharz auf Epoxidharzbasis wieder (dauerhaft wasserdicht) verschlossen werden.

Aus diesem Grund wurde in Abstimmung mit einem renommierten Hersteller und einem Prüflabor ein Tastversuch [5] angeregt, der belegen soll, ob weitere detailliertere Untersuchungen erforderlich sind, oder nicht. Freundlicherweise hat sich die Stadt Nürnberg (Stadtentwässerung und Umwelanalytik) bereiterklärt, diesen Versuch aktiv zu unterstützen, und einen geeigneten Schacht zur Sanierung zur Verfügung gestellt. Weiterhin wurde ein mit Wasser vollbetanktes Spülfahrzeug zur Belastung auf den Schachtdeckel während der Versuchsdurchführung eingesetzt.

Für die Ermittlung der zu erwartenden vertikalen Verschiebungen im Schacht wurde dieser zunächst mittels eines vertikalen Liners ausgekleidet. Dazu wurden die Steigeisen entfernt und der Schacht gereinigt und vorbereitet. Der Einbau erfolgte faltenfrei – der Spalt zwischen Auskleidung und Alt-Schacht wurde im Mittel mit $w_s \leq 1,0$ mm gemessen und liegt damit unter dem Standard-Wert $w_s = 0,5$ % von r_{Schacht} in Anlehnung an [1].

Nach der Installation der Auskleidung wurden drei Mess-Ebenen festgelegt (Tabelle 1). An die Messpunkte wurden induktive Wegaufnehmer mit einem Messweg von ± 10 mm angebracht, die eine Genauigkeit von besser 0,01 mm aufweisen und ca. 20 Messwerte je Sekunde aufzeichnen können. Vor den Messungen wurden die Wegaufnehmer auf Null gesetzt.

Das mit Wasser voll betankte Spülfahrzeug der Stadtentwässerung Nürnberg ist zur Ermittlung der Lasten auf die vorhandene, werkseigene Waage gefahren – die für die drei Achsen des Fahrzeuges ermittelten Lasten zeigt Tabelle 2.

Das untere Ende des vertikalen Liners wird nach Abschluss der Tests an das einzubauende GFK-Platten- und Rohrmaterial der Berme und des Gerinnes laminiert und somit fixiert (Anker, Harz, GFK-Matten) und wasserdicht angeschlossen. Im Test-

An advertisement for D&S ROHR SANIERUNG. It features a large image of a manhole being inspected with a camera. Text elements include "BLUELINE", "GRABENLOS GUT!", and the D&S logo. At the bottom, it says "DIRINGER & SCHEIDEL ROHR SANIERUNG" and "11X IN DEUTSCHLAND | WWW.DUS-ROHR.DE". There are also two small inset photos showing the installation process.

| Mess-Ebene | Lage unter Geländeoberfläche | Art |
|------------|------------------------------|---|
| 1 | 0,25 m | Messung Schacht und Liner gegen Oberkante Gerinne |
| 2 | 1,20 m | Differenzmessung Schacht – Liner |
| 3 | 2,90 m | Differenzmessung Schacht – Liner |

Tabelle 1: Mess-Ebenen im Schacht nach der Auskleidung

| Achse, Lage | Masse |
|---------------|--------|
| Vorderachse | 8,90 t |
| Antriebsachse | 8,66 t |
| Nachlaufachse | 5,72 t |

Tabelle 2: Für die drei Achsen des Spülfahrzeugs ermittelte Lasten



Abb. 6: Applizierte Messpunkte auf Ebene 1

Zustand war dieses untere Ende lediglich abgeschnitten – der Liner war somit zunächst nur durch Anliegen und Verkrallung am vorhandenen Schacht fixiert.

Um die Verschiebungen gegeneinander und gegen die Schachtsohle zu messen, wurde die Auskleidung mit einer Bohrkronen ($\varnothing = 50 \text{ mm}$) bis auf den Alt-Schacht durchbohrt und die Auskleidung entnommen. Ein Messpunkt konnte nun auf den Beton und ein Messpunkt auf der Auskleidung appliziert werden (Abbildung 6).

Nachdem das Messsystem installiert war und die Datenübertragung (drahtlos) aus dem Schacht gestartet worden war, konnte mit der Belastung begonnen werden. Hierzu wurden mit dem Spülfahrzeug mehrere Überfahrten direkt über den Schachtdeckel, aber auch im daneben liegenden Konusbereich durchgeführt (Abbildung 7).

Die Messergebnisse [5] zeigten, dass unter der halben Achslast von maximal $F = 4,45 \text{ t}$ geringe Verschiebungen zwischen Liner und Alt-Schacht erkennbar sind – was zu erwarten war. In Abhängigkeit von der Lage der Lasteinleitung sowie der statischen und dynamischen Lastaufbringung sind maximale Verschiebungen von ca. $u_y = 0,10 \text{ mm}$ erkennbar.

Überträgt man das Ergebnis nun von der Lastklasse SLW 30 [2], in die das Spülfahrzeug einzuordnen wäre, auf die häufig



Abb. 7: Überfahrt mit Spülfahrzeug; Achse 2

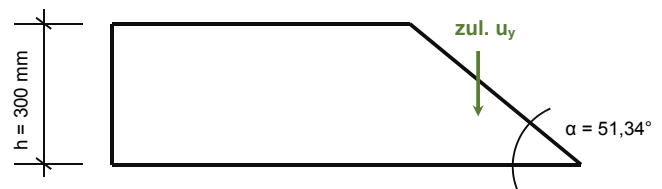


Abb. 8: Ermittlung der Verschiebung des Liners in einem vertikalen Schacht

angesetzte Lastklasse SLW 60 bzw. nach allgemein anerkannter Regel der Technik auf LM 1 nach [1], dann würden sich die Verschiebungen mindestens verdoppeln, maximal jedoch verachtfachen, wenn man von einer Flächenlast von 125 kN/m^2 bei LM1 als Ansatz ausgeht.

Eine Verschiebung zwischen Liner und Alt-Schacht von maximal $u_y = 0,8 \text{ mm}$ in dieser Bemessungssituation reicht jedoch nicht aus, um den tatsächlich gemessenen Spalt von $w_s = 1,0 \text{ mm}$ zu schließen, über den Kontakt würde dann die Last übertragen werden.

Am Beispiel eines sehr flachen Konus (Regelschacht $\varnothing 1000 \text{ mm}$) mit einer Höhe von $h_{\min} = 300 \text{ mm}$ kann exemplarisch am somit ungünstigsten Fall gezeigt werden, dass die zulässige Verschiebung sich bei einem Spalt von $w_s = 1,0 \text{ mm}$ wie folgt ergibt (Abbildung 8):

$$\begin{aligned} \text{zul. } u_y &= w_s / \sin \alpha = 1,0 \text{ mm} / \sin (51,34^\circ) = 1,28 \text{ mm} \\ \text{zul. } u_y &= 1,28 \text{ mm} < \text{max. } u_y = 0,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diese maximal mögliche Verschiebung wird also selbst mit einer sehr ungünstigen Last aus dem neuen europäischen Lastmodell LM 1 nicht erreicht werden; weitere Untersuchungen diesbezüglich können somit entfallen.

6 Zusammenfassung

Mit den oben aufgezeigten Maßnahmen bzw. Randbedingungen ist es möglich, eine Auskleidung eines Kanalschachts mittels vertikalem Liner in den Altschachtzuständen I und II nach [4] wirtschaftlich als Abdichtung bzw. Korrosionsschutz zu bemessen. Für eine Berechnung nach den Zuständen III und IIIa sind andere Verfahren erforderlich, die die senkrechte Tragfähigkeit der ursprünglichen Struktur wiederherstellen.

Die Vorgaben aus der statischen Berechnung sind in der Praxis durch die Baufirmen auch fachgerecht umzusetzen – dies muss gegebenenfalls durch den örtlichen Bauüberwacher überprüft und freigegeben werden. Besonders heikel stellt sich dabei die maßgefertigte Konfektionierung des vertikalen Liners in der Praxis dar, die bei Ungenauigkeiten zu größeren Spalten bzw. Ringräumen führen kann. Die kritischen Wasserdrücke werden dann schneller erreicht, und der Schachtliner beult eventuell ein. Planmäßige Ausrundungen bei eckigen Schächten müssen dazu mit einem geeigneten Material hinterfüllt werden; während des Einbaus ist hier auf ausreichende Auftrieb- und Beulsicherheit zu achten.

Anzumerken ist auch, dass Grundwasserstände oft variieren können und auch nach Sanierungsmaßnahmen ab und an ansteigen. Hier ist eventuell ein Sicherheitszuschlag erforderlich, wenn zur Zeit der Vorplanung beispielsweise ein niedriger Pegelstand als Planungsgrundlage vorhanden war.

Ein Prüfzeichen bzw. ein „Warentest“ für vertikale Liner gibt noch keine Garantie für die 100%ige Ausführung einer Sanierung – die Kontrolle der Materialien und die Überwachung des Einbaus auf der Baustelle ist bei diesen relativ neuen Produkten immer noch das A und O – man denke immer an die Anfangszeiten des Schlauchlinings zurück; es war ein langer Weg, bis zum geregelten Produkt.

Literatur

- [1] DWA-A 143-2: *Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 2: Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen mit Lining- und Montageverfahren*, Hennef, 2015
- [2] ATV-DVWK-A 127: *Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen*, 3. Aufl., korr. Nachdruck, Hennef, 2008
- [3] DIN V 4034-1: *Schächte aus Beton-, Stahlfaserbeton- und Stahlbetonfertigteilen für Abwasserleitungen und -kanäle – Typ 1 und Typ 2 – Teil 1: Anforderungen, Prüfung und Bewertung der Konformität*, Beuth, Berlin, 2004
- [4] RSV-Merkblatt 6.2: *Sanierung von Schächten und Bauwerken in Entwässerungssystemen, Reparatur/Renovierung, Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung*, 2012
- [5] Stellungnahme Nr. 124953186-2 vom 7. Oktober 2016, TÜV Rheinland Industrie Service GmbH Nürnberg

Autor

Dipl.-Ing. Markus Maletz
 TÜV Rheinland Industrie Service GmbH
 I.05: Infrastruktur
 Tillystraße 2
 90431 Nürnberg

E-Mail: markus.maletz@de.tuv.com



Reliable Performance.
 Sustainable Results.

Aqualogic® & Enerlogic®

Ihre Versicherung für einen zuverlässigen Kläranlagenbetrieb

Individuelle Reglersysteme und Verfahrenstechnik für die Abwasserreinigung

- Ganzheitliche Regelung
- Garantiert gute Ablaufwerte
- Maximale Energieeffizienz
- Höchste Betriebssicherheit
- Alternative zum Ausbau
- Einsparung von Fällmittel
- Mehrere hundert Installationen