

Standsticherheitsnachweis an Sanierungssystemen für Abwasserkanäle mit unverankerten Linern

Structural analysis for renovation systems of sewers with non-anchored liners

B. Falter

Schlagwörter

Rohrleitungsstatik — Sanierung — Liner — Durchschlaglasten — Temperaturerhöhung — Wasserdruck — Vorverformungen.

Zusammenfassung

Schadhafte Abwasserkanäle und -leitungen können durch Einziehen eines flexiblen Liners oder durch Teilauskleidung mit Platten saniert werden. Der Ringraum zwischen Rohr und Liner wird häufig mit Dämmer verfüllt. Bei größeren Querschnitten kann aus statischen Gründen eine linienförmige oder flächige Rückverankerung erforderlich werden — solche Konstruktionen werden an dieser Stelle nicht behandelt¹⁾.

Die Standsticherheit muß für die Lebensdauer des sanierten Bauwerks unter den während der Sanierungsarbeiten und beim Betrieb des Abwasserkanals herrschenden Bedingungen gewährleistet sein. Das bedeutet, daß konservative Annahmen bezüglich des System- und Belastungsverhaltens zu treffen sind. Für einige wichtige Lastfälle (hydrostatischer Druck mit Auftrieb, Eigenlasten, Temperaturänderungen usw.) werden Lösungsansätze diskutiert und Durchschlagbeiwerte α_D angegeben. Von besonderer Bedeutung für die Sicherheitsnachweise ist der richtige Ansatz der Vorverformungen: Sie müssen sowohl die Verformungen des Kanals repräsentieren als auch stabilitätstheoretischen Erkenntnissen entsprechen.

Summary

Defect sewers can be repaired by drawing in flexible liners or by lining parts of the circumference. The gap between pipe and liner is usually grouted. Greater diameters may need line or surface anchors for statical reasons — such constructions are not treated here¹⁾.

The structural safety of the renovated sewer must be ensured during the construction works and under longtime service conditions. This means, that conservative assumptions for the system and the load behaviour must be introduced into the analysis. For some important load cases (hydrostatic pressure with buoyancy, dead loads, temperature change etc.) solution methods are discussed and snap through coefficients α_D are presented. A true statement of the imperfections is very important for the safety analysis: The imperfections have to represent the deflections of the sewer and must be in accordance with the stability theory.

Einleitung

Bei einer Reihe von Sanierungsverfahren für schadhafte Abwasserkanäle wird in diese ein dünnwandiges zweites Rohr mit dem Ziel eingebracht, die Gebrauchsfähigkeit der Rohrleitung sowie erforderlichenfalls auch ihre Standsticherheit



Professor Dr.-Ing. Bernhard Falter

* 26. Mai 1945 in Niedernhausen/Taunus
Fachhochschule Münster, Fachbereich Bauingenieurwesen, Lehrgebiet Baustatik und Stahlbau, Münster; Tel. (0251) 835666. — Mitglied in VDI und DVS.

wiederherzustellen. Zu solchen Verfahren bzw. Systemen gehören das Kurz- und Langrohrrelining, die Teilauskleidung des Gasraums, das Rib-Loc-Verfahren, das Schlauchverfahren, die Auskleidung mit Noppenplatten [1].

Voraussetzung der meisten Verfahren ist eine ausreichende Tragfähigkeit des zu sanierenden Außenrohres, das heißt, die gemäß ATV-Arbeitsblatt A 127 [2] aus den Erd- und Verkehrslasten berechnete Druckverteilung am Rohrfumfang kann weiter vom Außenrohr aufgenommen werden. Diese Voraussetzung ist vor Beginn einer Sanierungsmaßnahme durch eine Schadensanalyse zu überprüfen. Bei undichten Rohrverbindungen und oberflächennaher Korrosion trifft sie sicher zu. Dagegen ist eine Beurteilung der Resttragfähigkeit bei einem Abwasserkanal mit Rissen schwieriger, wobei Lage, Länge und Tiefe der Risse sowie deren Ursachen eine Rolle spielen.

Das vom Außenrohr umschlossene Sanierungsrohr, der „Liner“ (gegebenenfalls mit verdämmtem Ringspalt), hat dann lediglich die folgenden Lasten aufzunehmen: die Eigenlasten des Liners, bei über der Sohle anstehendem Grundwasser der durch das schadhafte Außenrohr hindurch auf den Liner einwirkende Wasserdruck und andere, weiter unten aufgeführte Einwirkungen. Werden diese Lasten gesteigert und damit die Beullast des Liners überschritten, so schlägt ein Abschnitt des Liners nach innen durch (siehe Bild 3a), und der Abwasserkanal wird erneut sanierungsbedürftig.

Ausgehend vom einfachen Fall des ideal kreisrunden Liners mit konstanter Radialdruckverteilung wird im folgenden ein Überblick über das unterschiedliche Beulverhalten unter realistischen Bedingungen (Vorverformungen, veränderliche und zusammenwirkende Belastungen usw.) gegeben.

Ziel ist eine sichere und wirtschaftliche Bemessung von Sanierungssystemen mit Linern. Solche Konstruktionen sind in der Abwassertechnik noch relativ neu, und es liegen nur wenige Langzeiterfahrungen vor. Da wegen des Einsatzes von Werkstoffen mit zeitabhängigen Kennwerten die Standsticherheitsnachweise für mehrere Jahrzehnte geführt werden müssen, sind vorsichtige Rechenannahmen bezüglich der Systeme und der Lasten ratsam.

¹⁾ Überarbeiteter Auszug aus dem Beitrag „Standsticherheitsnachweise für Sanierungssysteme von Abwasserkanälen mit unverankerten und verankerten Linern“, Kolloquium „Bau und Sanierung von Abwasserkanälen“ der FH Münster am 29. November 1989

Verwendete Bezeichnungen

(Soweit möglich, werden die Formelzeichen aus [2] übernommen.)

1. Index R	zum Außenrohr gehörende Größen
1. Index L	zum Liner gehörende Größen
2. Index k	Kurzzeitrechenwert
2. Index l	Langzeitrechenwert
r_L	Radius des Liners
s_L	Wanddicke des Liners
w	maßgebende Radialverformung
w_v	Vorverformungsamplitude
κ_v	Abminderungsfaktor für Vorverformungen
φ_1	Bereichsgrenze der Beule bzw. Vorverformung
p_w	Wasserdruck $p_w = \gamma_w \cdot h_w$ (in [2] p_a genannt)
p_r	Reaktionsdruck
g_L	Eigenlasten des Liners
h_w	Höhe des Wasserspiegels über der Rohrsohle (in [2] über dem Rohrscheitell)
γ_w	Wichte der Flüssigkeit
p_T	Radialdruck infolge Temperaturerhöhung
α	Wärmedehnzahl des Linermaterials
$\alpha_D = \rho_D r_L^3 / B_L$	Durchschlagbeiwert des Liners
$B_L = E_L I_L / (1 - \mu^2)$	Biegesteifigkeit des Liners
$\mu \approx 0,38$	Querdehnzahl für Kunststoff, vgl. [3]
E_{Lk}, E_{Ll}	Elastizitätsmodul des Liners (Kurzzeit- und Langzeitrechenwert)
ρ_L	Dichte des Linermaterials

Statische Systeme und Lastfälle

Statische Systeme

Für die untersuchten statischen Systeme gelten die folgenden allgemeinen Annahmen (Bild 1):

1. In Richtung der Rohrachse sind alle geometrischen und lastabhängigen Größen konstant. Das dreidimensionale Problem wird damit auf einen Ring der Einheitsbreite reduziert. Für die Lasten gelten dann die Einheiten K/L anstelle von K/L^2 .
2. Vom Liner werden keine tangentialen Kräfte auf das Rohr übertragen, das heißt, Reibungskräfte werden vernachlässigt.
3. Zwischen Liner und Rohr werden nur Druckspannungen übertragen, das heißt, Haftzugspannungen werden vernachlässigt.
4. Das Rohr und/oder die Rohrverbindungen sind wasser-durchlässig, das heißt, bei Grundwasser wirkt der volle Wasserdruck auf die Lineräußenfläche.

Diese sehr konservativen Annahmen haben entscheidende Auswirkungen auf die Dimensionierung von Linersystemen. Bei Sanierungsarbeiten an Abwasserkanälen muß jedoch von realitätsnahen Bedingungen ausgegangen werden, zum Beispiel

- unvollständiges Verdämmen,
- Störungen der Bettung durch Abstandshalter,
- Lösen des Liners durch Schwinden des Dämmers bzw. Abkühlung im Kanal (Kunststoffe haben eine etwa zehnfache Temperaturdehnzahl, verglichen mit mineralischen Werkstoffen!),
- unvollständige Aushärtung von Kunstharzklebern im Kanal usw.

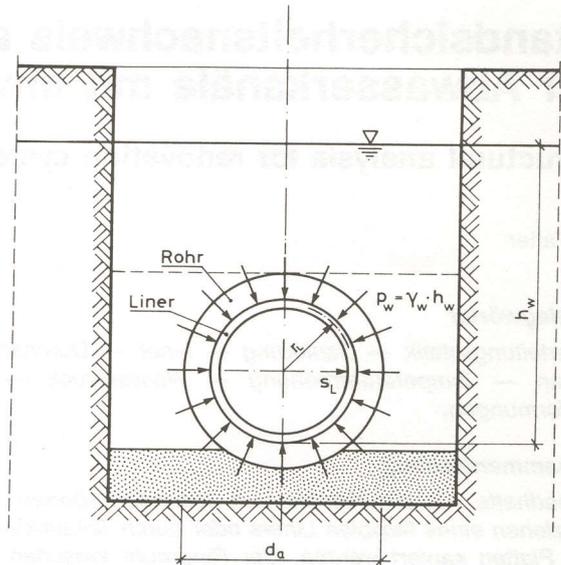


Bild 1: Liner unter hydrostatischer Belastung
Fig. 1: Liner with hydrostatic loading

Im Bereich von Abzweigen und Schachtanschlüssen, aber auch bei einem Rohrversatz und größeren örtlichen Störungen kann nicht mehr von einem in axialer Richtung konstanten System ausgegangen werden. Gegebenenfalls sind dort gesonderte Nachweise und konstruktive Maßnahmen erforderlich.

Lastfälle

Bei den anzusetzenden Lastfällen ist zwischen kraftschlüssigen und verformungsschlüssigen Einwirkungen auf den Liner zu unterscheiden.

- Zu den kraftschlüssigen Lasten gehören
- Eigenlasten g (bei Rohren großer Nennweite zu beachten),
 - äußerer Wasserdruck $p_w = \gamma_w \cdot h_w$,
 - Unterdruck p_i im Rohr,
 - Innendruck.

Verformungsschlüssige Lasten sind unter anderem

- Vorspannung des Liners,
- Verformungen des äußeren Rohres,
- Temperaturerhöhung $+\Delta T$ des Liners.

Die Lastfälle

- Abkühlung $-\Delta T$ des Liners und
 - Schwinden des Dämmers
- können zu einer Spaltbildung zwischen Liner und Rohr führen.

Lasten aus Bauzuständen (zum Beispiel Verdämmen des Ringspaltes) sind ebenfalls zu untersuchen; hierzu wird auf [4] verwiesen.

Kraft- und verformungsschlüssige Einwirkungen

Zum besseren Verständnis des unterschiedlichen Verhaltens von Linern unter kraft- und verformungsschlüssigen Einwirkungen werden die beiden Lastfälle

- a) hydrostatischer Druck p_w auf den Liner und
 - b) Temperaturerhöhung $+\Delta T$ des Liners
- näher betrachtet.

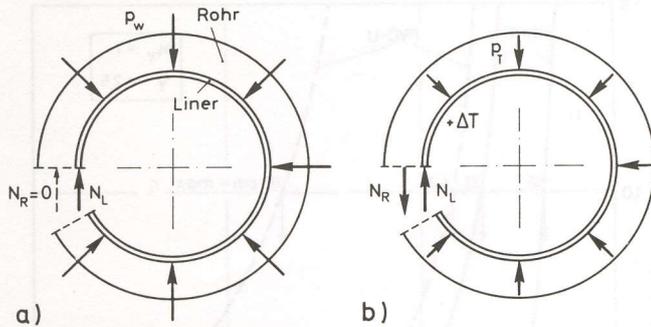


Bild 2: System und Belastung
 a) kraftschlüssige Belastung p_w
 b) verformungsschlüssige Belastung p_T
 Fig. 2: System and loading
 a) active water pressure p_w
 b) positive pressure p_T

In Bild 2 sind die auf den Liner einwirkenden konstanten Drücke p_w und p_T aufgetragen. p_T ergibt sich durch Gleichsetzen der Dehnungen aus Temperatur und Längskraft zu

$$p_T = \alpha \cdot \Delta T \cdot E_L A_L / r_L \quad (1)$$

Im Fall a) ergibt sich die Linerdruckkraft $N_L = p_w r_L$, im Fall b) dagegen ein Gleichgewichtszustand der Bettungs- und Linerkräfte ($N_R = -N_L$).

Werden die Lasten gesteigert, so ergibt sich im Fall a) ein Spalt (Strecke $L-L'$) zwischen Liner und Bettung mit einem anfangs großen Öffnungswinkel $2\varphi_1'$. Der Winkel nimmt ab, bis die Beullast erreicht ist und der First nach innen durchschlägt (Bild 3a: L' , L''). Die Belastung p_w wirkt beim und nach dem Durchschlagen weiter.

Bei Temperatursteigerung (Fall b)) entsteht vor dem Beulen kein Spalt ($L = L'$), der Liner schlägt unter Kontaktdruckspannungen p_T plötzlich nach L'' durch. In dieser Position des Liners ist der Druck p_T gleich Null. Das gleiche gilt für die Längskräfte N_R'' und N_L'' .

Die beschriebenen Vorgänge bis zum Durchschlagen und danach lassen sich mit den Last-Verschiebungs-Kurven in Bild 4 anschaulich darstellen: Im Fall a) erhält man einen ansteigenden (A) und nach dem Maximum $p_{w,D}$ einen abfallenden Verlauf (B = Einsturz des Liners). Dagegen ist der Fall b) komplizierter: Dem verformungsfreien Vorbeulzustand entspricht die senkrechte Gerade A: Für den ideal kreisrunden Liner gibt es keine kritische Temperatur [5]. Dennoch

schlägt der Liner bei scheinbar willkürlichen Werten für p_T bis zum stabilen Ast C durch.

Werden jedoch kleine Störungen der Kreisform (Vorverformungen) in die Berechnungen einbezogen, so ergeben sich die gestrichelten Kurven in den Bildern 4a und b. Die kritischen Belastungen werden durch Vorverformungen reduziert, was für die folgenden Betrachtungen von großer Bedeutung ist. Im Fall b) wird das Minimum der Kurve B—C, das zum Beispiel in [6] mit

$$\alpha_{T, \min} = 6,72 \cdot (r_L/s_L)^{0,8} \quad (2)$$

angegeben wird, auch bei Linern mit größeren Vorverformungen nicht unterschritten, das heißt, Gleichung (2) liegt für den Lastfall Temperaturerhöhung auf der sicheren Seite.

Durchschlagbeiwerte für unverankerte Liner

Ideal kreisrundes Rohr unter hydrostatischem Druck

Im Diagramm 10 des ATV-Arbeitsblattes A 127 sind die Durchschlagbeiwerte α_D des elastisch gebetteten Rohres für verschiedene Radius-Wanddicken-Verhältnisse über der Systemsteifigkeit V_{RB} aufgetragen (Bild 5: Bereich $10^{-4} \leq V_{RB} \leq 0,1$).

In [7] wird darauf hingewiesen, daß die Beiwerte α_D nur für Rohre ohne Vorverformungen gelten. Wird $V_{RB} = S_R/S_{Bh}$ weiter verringert ($V_{RB} \ll 10^{-4}$), so entspricht dies einer Erhöhung der seitlichen Bettungssteifigkeit S_{Bh} und im Grenzfall $V_{RB} = 0$ einer starren Bettung $S_{Bh} = \infty$. Wie frühere Berechnungen [6] gezeigt haben, münden die vom Radius-Wanddicken-Verhältnis r_L/s_L abhängigen Kurven für α_D in horizontale Tangenten, deren Ordinaten sich mit nur kleinen Abweichungen aus der Gleichung

$$\alpha_{w,D} = \kappa_v \cdot 2,62 \cdot (r_L/s_L)^{0,8} \quad (3)$$

mit $\alpha_{w,D} = p_{w,D} \cdot r_L^3/B_L$

ergeben, wenn der Abminderungsfaktor κ_v für Vorverformungen gleich 1 gesetzt wird (Bild 5, linker Rand bei $V_{RB} = 0$).

Die Durchschlagbeiwerte $\alpha_{w,D}$ für konstanten Wasserdruck sind nicht nur theoretisch hergeleitet, sondern auch in zahlreichen Versuchen bestätigt worden (zum Beispiel [8], [9] und [10]). Dabei hat sich herausgestellt, daß beim freien Rohr und bei weichen Bettungen ($V_{RB} \leq 0,05$) eine zweiwellige (elliptische) Beulfigur, bei steiferen Bettungen dagegen einwelliges Beulen maßgebend ist. Das ist wichtig für den richtigen Ansatz von Vorverformungen, die affin zur Beulfigur gewählt werden müssen.

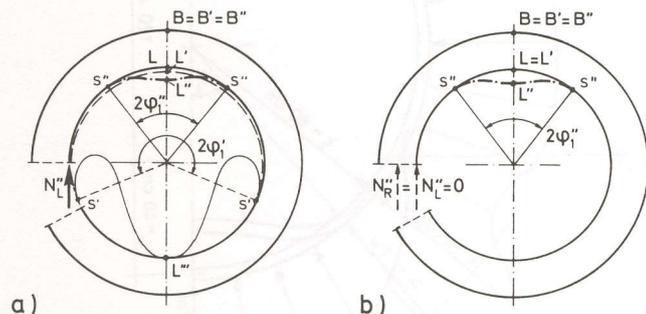


Bild 3: Biegelinien
 ...' Zustand vor dem Durchschlagen
 ...'' Zustand nach dem Durchschlagen
 Fig. 3: Deflection lines
 ...' state before snap through
 ...'' state after snap through

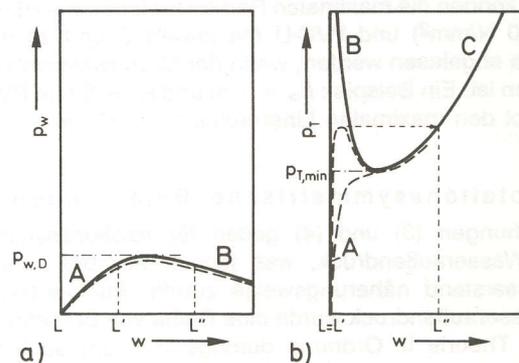


Bild 4: Last-Verschiebungs-Kurven
 Fig. 4: Load-deflection curves

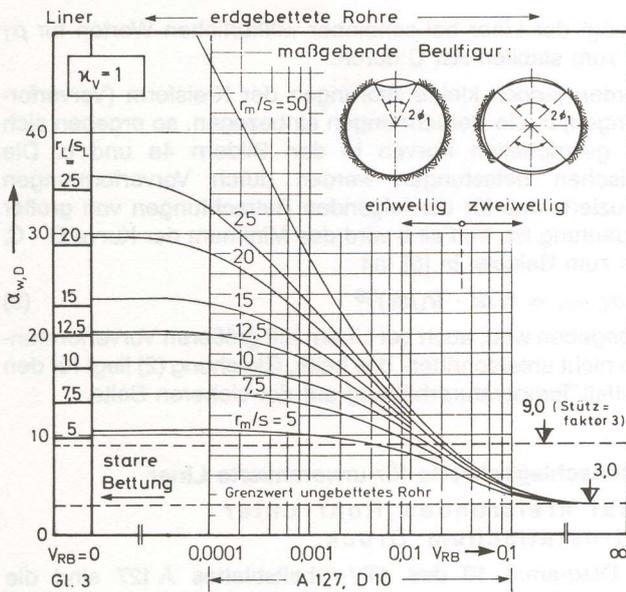


Bild 5: Durchschlagbeiwerte α_D für konstanten Wasserdruck (Systeme ohne Vorverformungen)

Fig. 5: Snap through coefficients α_D for hydrostatic pressure (system without imperfections)

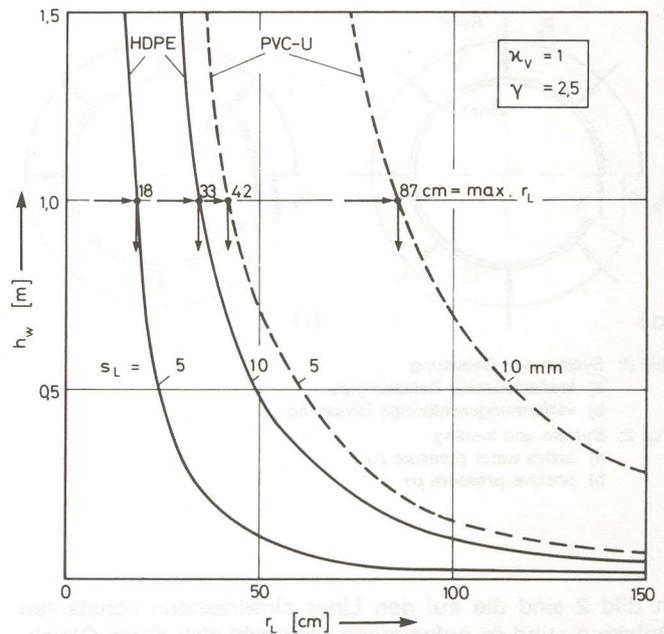


Bild 6: Zulässige Radien r_L bei hydrostatischer Belastung (Liner ohne Vorverformungen)

Fig. 6: Admissible radius r_L for hydrostatic pressure (liner without imperfections)

In der Literatur wird der Beulnachweis von erdbetteten Rohren häufig mit einem „Stützfaktor“ zwischen 1 und 3 geführt [11]. Mit einem solchen Faktor soll der Beuldruck des freien Rohres ($\alpha_D = 3,0$) multipliziert werden. Ein ähnliches Vorgehen wird zum Beispiel in [4] auch auf Liner angewendet und der Faktor 3 vorgeschlagen. Damit ergibt sich der Durchschlagbeiwert

$$\alpha_{w,D} (V_{RB} = 0) = \alpha_{w,D} (V_{RB} = \infty) \cdot 3 = 9,0.$$

Nach Bild 5 führt dieser Beiwert in der Regel zu einer erheblichen Unterschätzung der Tragfähigkeit!

Wird Gleichung (3) durch den Sicherheitsbeiwert 2,5 [2] dividiert und nach $p_{w,D}$ aufgelöst, so erhält man

$$\text{zul } p_{w,D} = x_v \cdot E_L \cdot (s_L/r_L)^{2,2} \quad (4)$$

mit den Einheiten N/mm^2 für E_L und bar für $p_{w,D}$.

Der zulässige Wasserdruck (bzw. die zulässige Wasserspiegelhöhe h_w über der Sohle) ist von den beiden beeinflussbaren Größen E_L und s_L in Gleichung (4) abhängig. Für den Elastizitätsmodul des Liners ist in der Regel der Langzeitrechenwert gemäß Tafel 1 zu verwenden. Die Werte in Tafel 1 gelten für $+23^\circ C$, bei höheren Temperaturen sind sie entsprechend abzumindern [3].

Aus Bild 6 können die maximalen Radien für Liner aus HDPE ($E_L = 260 N/mm^2$) und PVC-U mit jeweils 5 und 10 mm Wanddicke abgelesen werden, wenn der Grundwasserstand h_w gegeben ist. Ein Beispiel: $h_w = 1 m$ und $s_L = 5 mm$ PVC-Liner ergibt den maximalen Linerradius $r_L = 42 cm$.

Nicht rotationssymmetrische Belastungen

Die Gleichungen (3) und (4) gelten für rotationssymmetrischen Wasseraußendruck, was jedoch nur bei hohem Grundwasserstand näherungsweise zutrifft. Für veränderlichen Wasseraußendruck wurde eine Reihe von Berechnungen nach Theorie II. Ordnung durchgeführt, um auch für diese Fälle ein einfaches Nachweisverfahren zu erhalten [13]. Für das Beispiel $h_w = 0,5 \cdot r_L$ zeigt Bild 7 die Verteilung des Wasserdrucks im Sohlbereich (Maximalwert $p_w = 4,4 N/cm$).

Tafel 1: Langzeitrechenwerte für Kunststoffe, die für Liner eingesetzt werden

Material	E_L [N/mm^2]
HDPE	$\approx 150^{(1)} \dots 320^{(2)}$
PVC-U	$\approx 1750^{(1)}$
Synthesefaser-UP	$\approx 2200^{(3)}$
GF-UP	$\approx 10000 \dots 20000^{(3)}$

¹⁾ nach [2], ²⁾ nach [3] und Industrieangaben, ³⁾ Biege-E-Modul nach [12]

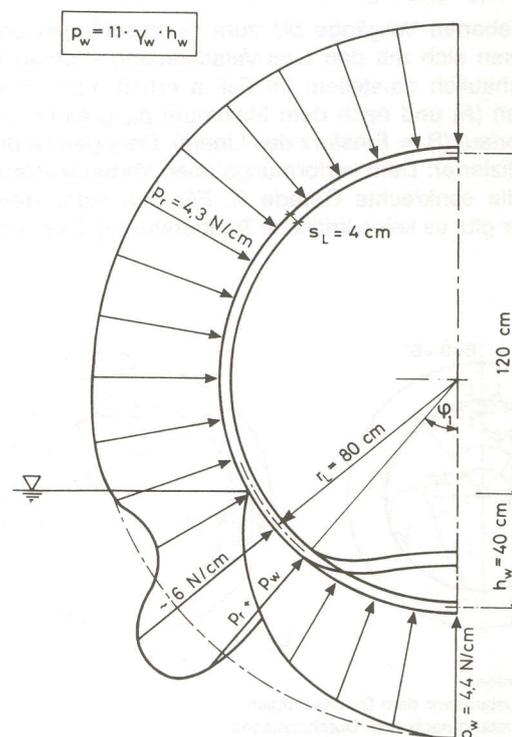


Bild 7: Druckverteilung an einem Liner infolge Auftrieb

Fig. 7: Pressure distribution on a liner caused by buoyancy

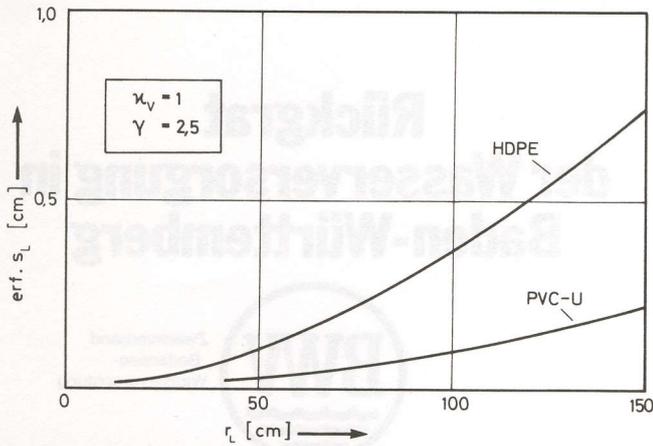


Bild 8: Erforderliche Wanddicken s_L unter Eigenlasten (Liner ohne Vorverformungen)

Fig. 8: Necessary wall-thickness s_L for dead loads (liner without imperfections)

Durch Aufschwimmen wird der Liner im Scheitel und im Kämpfer an das Außenrohr gedrückt, woraus nahezu konstante Reaktionskräfte $p_r = 4,3 \text{ N/cm}$ resultieren. Im Kämpferbereich entsteht durch Abstützen des Liners an der Rohrwand eine Belastungsspitze $p_r > 6,0 \text{ N/cm}$. Damit stellt sich am Rohrumfang eine Gesamtbelastung $p_w + p_r \approx \gamma_w \cdot h_w$ ein — die Durchschlagsbeiwerte $\alpha_{w, D}$ dürfen also auch in diesem Fall wieder nach Gleichung (3) berechnet werden.

Bei Rohren größeren Durchmessers gewinnen die Eigenlasten g_L des Liners eine zunehmende Bedeutung. Sowohl die Anschauung als auch genaue Untersuchungen zeigen, daß im Scheitel zwar ein Spalt zwischen Liner und Rohr entsteht, die Längskräfte im Liner dagegen relativ klein bleiben.

Aus [14] läßt sich für das Durchschlagen des Scheitels der Beiwert

$$\alpha_{g, D} = \chi_v \cdot 2,03 (r_L/s_L)^{0,8} \quad (5)$$

herleiten. Geht man auf der sicheren Seite von den in der Sohle wirkenden Reaktionskräften aus Eigenlasten $\max g_r = \rho \cdot s_L \cdot \pi$ aus, so ergibt eine Auflösung der Gleichung (4) nach s_L die Beziehung

$$\text{erf } s_L = \{ [10 \cdot \pi \cdot \rho (\chi_v E_L)] \cdot r_L^{2,2} \}^{0,8333} \quad (6)$$

Der Sicherheitsbeiwert beträgt wieder $\gamma = 2,5$. Bild 8 zeigt die erforderliche Wanddicke von Linern aus HDPE und PVC-U ohne Vorverformungen in Abhängigkeit vom Linerradius.

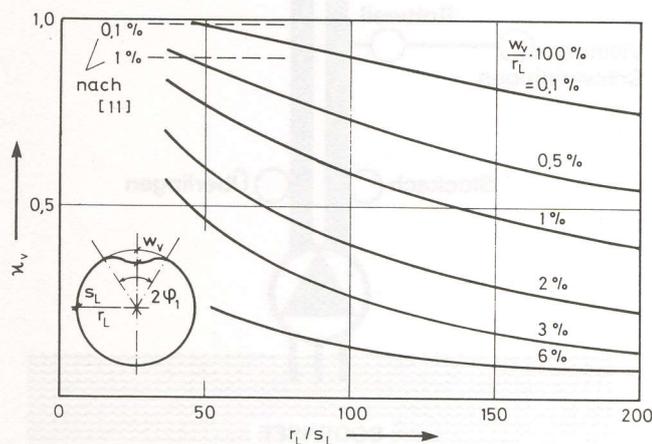


Bild 9: Abminderungsfaktor χ_v für Vorverformungen
Fig. 9: Reduction coefficient χ_v for imperfections

Vorverformungen

Für eine sichere Bemessung von Linern ist es erforderlich, ungünstig wirkende, das heißt den Beulvorgang fördernde Vorverformungen anzusetzen. Dabei können

- die Lage der Vorbeule,
 - ihre Amplitude w_v und
 - ihre Funktion $w_v(\varphi)$ mit der Bereichsgrenze φ_1
- variiert werden (Bild 9). Kriterien für die Auswahl der Parameter sind einerseits die Sicherheit der Konstruktion und andererseits natürlich auch wirtschaftliche Gesichtspunkte.

Gemäß der Stabilitätstheorie muß man zur Beulfigur affine Vorverformungen ansetzen, um eine untere Grenze für die Durchschlaglasten zu erhalten. Die maßgebende Beulfigur ist nach Bild 3a und 5 einwellig. Es wird die Funktion

$$w_v(\varphi) = w_v \cdot \cos^2 [0,5 \cdot \pi\varphi/\varphi_1] \quad (7)$$

im Gültigkeitsbereich $-\varphi_1 \leq \varphi \leq +\varphi_1$ gewählt (vgl. [15]). Die Bereichsgrenze φ_1 kann einer Vorberechnung am vorverformungsfreien Ring entnommen werden. Die Vorbeule wird an der Stelle des erwarteten Beulbeginns positioniert, zum Beispiel bei Auftrieb in der Sohle. Die maximale Amplitude w_v ist aus einer Inspektion nach ATV-Merkblatt M 143, Teil 2 E, bekannt oder sinnvoll anzunehmen.

Die Vorverformung nach Gleichung (7) wird bei der Computerberechnung [16] als Abweichung von der Kreisform des Liners berücksichtigt. Die Berechnungen werden für mehrere Laststufen (Lastfaktor γ) nach Theorie II. Ordnung durchgeführt und die Maxima $p_{w, D}$ der Last-Verschiebungskurven (siehe Bild 4a) ermittelt. Als Ergebnisse sind die Quotienten der Durchschlaglasten vom kreisrunden zum vorverformten Ring in Bild 9 aufgetragen ($\chi_v = p_{w, D} / (p_{w, D} (w_v = 0))$). Ein wichtiges Resultat ist die Abhängigkeit der Abminderungsfaktoren χ_v vom Radius-Wanddicken-Verhältnis: Dünnwandige Liner sind erheblich empfindlicher gegen Vorbeulen als dickwandige!

In Bild 9 sind auch die Abminderungsfaktoren aus [11] als gestrichelte Linien eingetragen: Sie sind im Gegensatz zu den hier vorgestellten Untersuchungen nicht vom Verhältnis r_L/s_L abhängig und liegen in der Regel auf der unsicheren Seite.

In früheren Arbeiten des Verfassers [6] wurden auch Vorverformungen mit der zweiwelligen Funktion nach Bild 5 (oben rechts) untersucht. Wird diese Form bei Inspektionen festgestellt, so kann dies ohne weiteres in den Stabilitäts-

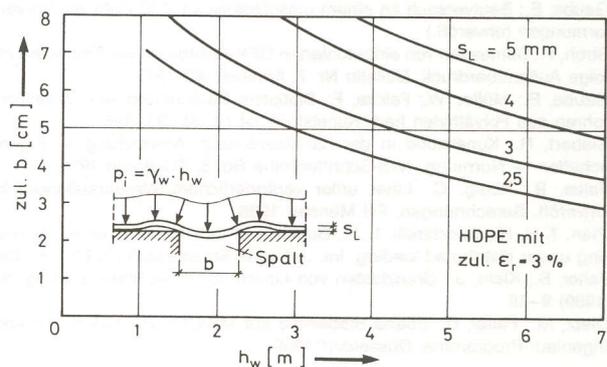


Bild 10: Zulässige Spaltbreiten für HDPE-Liner
Fig. 10: Admissible gap width for HDPE-liners

nachweis einbezogen werden. Aus Sicherheitsgründen ist jedoch stets ein Vorverformungsanteil nach Bild 9 zu addieren.

Sonderprobleme und Ausblick

Im folgenden werden einige Voruntersuchungen und Überlegungen zur Sanierung mit Linern ergänzt.

Beim Lastfall Innendruck wird der Liner an das Außenrohr gepreßt, eventuelle Löcher, Risse oder Fugen im Bereich der Rohrverbindungen müssen überbrückt werden. Für HDPE-Platten über Spalte der Breite b können aus Bild 10 die Mindestdicken s_L entnommen werden, wobei die Dehnungen auf 3% begrenzt sind. Die Untersuchungen wurden mit dem Kriech-E-Modul $E_{L1} = 320 \text{ N/mm}^2$ und dem Sicherheitsbeiwert $\gamma = 2,0$ geführt.

Bei Linern aus Werkstoffen mit großem Elastizitätsmodul und großer Wanddicke stellt sich die Frage, ob das Außenrohr noch als starr angesehen werden darf; hierfür sind in [15] sogenannte Grenzbettungen angegeben.

Statt mit Durchschlagbeiwerten kann der Stabilitätsnachweis auch nach der Elastizitätstheorie II. Ordnung unter Berücksichtigung ungünstiger Vorverformungen geführt werden. Es sind dann die maximal auftretenden Spannungen bzw. Dehnungen mit den Grenzspannungen bzw. Grenzdehnungen des Linerwerkstoffes zu vergleichen. Dieses Vorgehen ist insbesondere bei dickwandigeren Linern erforderlich. Für verankerte Liner liefert die Berechnung nach Theorie II. Ordnung auch die Verankerungskräfte.

Schrifttum

- [1] Stein, D.; Niederehe, W.: Instandhaltung von Kanalisationen. Berlin: Ernst & Sohn 1987
- [2] ATV-Arbeitsblatt A 127 „Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen“. 2. Aufl. 1988. St. Augustin: Abwassertechnische Vereinigung e.V.
- [3] Oberbach, K.: Kunststoff-Kennwerte für Konstrukteure, 2. Aufl. 1980. München: Carl Hanser
- [4] Meldt, R.: Beanspruchungen von Kunststoffrohren aus HDPE und PP bei der Sanierung von Rohrleitungsnetzen durch Relining. 3R internat. 21 (1982) 214–220
- [5] Hain, H.; Falter, B.: Zum Stabilitätsproblem des starr oder elastisch gebetteten Kreisringes infolge gleichmäßiger Temperaturerhöhung. Pflüger-Festschrift, TU Hannover 1977
- [6] Falter, B.: Grenzlasten von einseitig elastisch gebetteten kreiszylindrischen Konstruktionen. Bauing. 55 (1980) 381–390
- [7] Falter, B.: Zum Stabilitätsnachweis von erdverlegten Rohren gegen äußeren Wasserdruck nach ATV-Arbeitsblatt A 127. Korrespondenz Abwasser 31 (1984) 520–522
- [8] Dürkop, J.: Beitrag zur Stabilität gebetteter Zylinderschalen aus glasfaserverstärkten ungesättigten Polyesterharzen. Diss. Aachen 1974
- [9] Gaube, E.: Beulversuch an einem umschlossenen PVC-Rohr mit Vorverformungen (unveröff.)
- [10] Stroh, P.: Bemessen von einbetonierten GFK-Rohren gegen Einbeulen infolge Außenüberdruck. Bulletin Nr. 7. Armaver AG 1977
- [11] Gaube, E.; Müller, W.; Falcke, F.: Statische Berechnung von Abwasserrohren aus Polyäthylen hart. Kunststoffe 64 (1974) 193–196
- [12] Siebert, R.: Kunststoffe in der Kanalsanierung, Anwendung — Eigenschaften — Normung. IWS-Schriftenreihe Bd. 5, TU Berlin 1988
- [13] Falter, B.; König, C.: Liner unter veränderlichem Wasseraußendruck. Unveröff. Berechnungen, FH Münster 1988
- [14] Pian, T. H. H.; Bucciarelli, L. L.: Buckling of radially constrained circular ring under distributed loading. Int. J. Solids Structures 3 (1967) 715–730
- [15] Falter, B.; Klein, J.: Grenzlasten von Linern im Schachtbau. Bauing. 64 (1989) 9–18
- [16] Dietz, M.; Falter, B.: Ebene Stabwerke auf MS-DOS-Rechnern. Werner-Ingenieur-Programme, Düsseldorf 1989

Rückgrat der Wasserversorgung in Baden-Württemberg



Zweckverband
Bodensee-
Wasserversorgung

