

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	2
2	Ziel des Merkblattes	2
3	Voraussetzungen, Modellbildung	3
4	Altrohrzustand und Imperfektionen	3
4.1	Definition der Altrohrzustände	3
4.1.1	Altrohrzustand I	3
4.1.2	Altrohrzustand II	3
4.1.3	Altrohrzustand III	4
4.1.4	Durch Altrohrzustand III nicht mehr abgesicherte Zustände	4
4.2	Imperfektionen	5
4.2.1	Allgemeines zu Imperfektionen	5
4.2.2	In Rohrlängsrichtung konstante Imperfektionen	6
4.2.3	In Rohrlängsrichtung veränderliche Imperfektionen	7
4.2.4	Einfluss der Imperfektionen auf die Nachweise	8
5	Lastannahmen, Sicherheitskonzept	9
5.1	Regeluntersuchung	9
5.2	Sonderuntersuchungen	10
6	Werkstoffkennwerte	11
6.1	Eignungsnachweise	11
6.2	Ermittlung der Grenzdehnungen von GFK-Linern nach ATV-A 127	11
7	Hinweise für Ausschreibungen	11
8	Sonderfälle	12
8.1	Vorbemerkungen	12
8.2	Altrohr	13
8.2.1	Gemauerte Sammler	13
8.2.2	Biegeweiche Rohre	13
8.2.3	Nicht kreisförmige Rohre	13
9	Schlussbemerkungen	15
	Literatur	

Hinweise und Kommentare zur Anwendung des Merkblattes ATV-M 127-2 für die statische Berechnung von Linern

1 Vorwort

Das Merkblatt ATV-M 127-2 [1] regelt die statische Berechnung von Lining- und Montagesystemen zur Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen. Es wurde in den Jahren 1994 bis 1999 von der ATV-Arbeitsgruppe ES 2.3 erstellt, mit Vertretern der Praxis im Rahmen eines internen Einspruchsverfahrens diskutiert und im Januar 2000 veröffentlicht.

Die in [1] aufgeführten Bemessungsregeln werden bei einer großen Zahl von Liningmaßnahmen im Leistungsverzeichnis als Grundlage der Wanddickenermittlung und der Qualitätssicherung vorgeschrieben. Sie wurden bereits vor der endgültigen Fertigstellung des Merkblattes an einer Vielzahl von Projekten erprobt und angewendet. Ferner wird es zur Begutachtung von Schadensfällen und zu internationalen Vergleichen [2] herangezogen.

Auch nach dem Erscheinen des Merkblattes ATV-M 127-2 wurden die Forschungsarbeiten zu Fragen des Altrohrzustandes III, der Standsicherheit geschädigter Rohrleitungen und der Mess- und Versuchstechnik im Sandkasten und insitu fortgesetzt und publiziert [3], [4].

Aus der laufenden praktischen Anwendung, aber auch im Rahmen von Schulungen der auf dem Sanierungsgebiet tätigen Ingenieure folgten ergänzende Anregungen und zusätzliche Fragestellungen, die in der vorliegenden Veröffentlichung behandelt werden.

Die für die Erstellung des Merkblattes M 127-2 verantwortliche ATV-Arbeitsgruppe „Rohrstatik“ setzt die Beratungen fort, um neue Fragestellungen aufzugreifen und Fortschritte in den Verfahren in die Weiterentwicklung der Vorschrift zu übernehmen. Erfahrungen und Probleme bei Standsicherheitsuntersuchungen können damit weiterhin an die ATV-AG ES 2.3 gerichtet werden.

2 Ziel des Merkblattes

Ziel des Merkblattes ATV-M 127-2 ist die realitätsnahe Beschreibung des Tragverhaltens eines in das Altrohr eingebrachten dünnwandigen Rohres (Liner) durch Berechnungsmodelle mit der Möglichkeit, zumindest Standardfälle rechnerisch von Hand abzuschätzen.

Da die Schadensformen eines Abwasserkanals sehr vielfältig sein können (vgl. [15]) und häufig gleichzeitig mehrere Schäden in derselben Haltung auftreten, kommt der zutreffenden Beurteilung der Videoaufzeichnungen und anderer Informationsquellen eine besondere Bedeutung zu. Grundlage der Beurteilung sind Kenntnisse des Tragverhaltens eines Abwasserkanals unter mechanischen, chemischen und biologischen Angriffen, des umgebenden Bodens einschließlich der Grundwasserverhältnisse, betrieblicher Bedingungen und der Materialeigenschaften der eingesetzten Liner.

Die ggf. vielfältigen Schadensformen müssen in Gruppen eingeteilt und beurteilt werden, um den für die Wahl eines Sanierungsverfahrens und die Dimensionierung des Liners maßgebenden Fall zu finden.

Für diese Aufgabe ist nach ATV-M 127-2 eine Zuordnung der im Altrohr beobachteten Schäden zu den Altrohrzuständen I, II und III vorgeschrieben, vgl. Abschnitt 4.1. Außerdem sind zutreffende und auf der sicheren Seite liegende Imperfektionen zu wählen, womit eine flexible, aber dennoch eindeutige Beschreibung der Lagerungsbedingungen des Liners im Altrohr erfolgt, vgl. Abschnitt 4.2.

Für die Berechnung müssen Annahmen zur Belastung getroffen werden, die ihrerseits von der Einstufung des Altrohrzustandes abhängig sind. Schließlich sind Werkstoffeigenschaften des Liners und ggf.

des Altrohres erforderlich, im Wesentlichen der Elastizitätsmodul und die Biegefestigkeit. Die Werte für Kunststoffe sind für zeitabhängiges Verhalten auf geeignete Weise abzumindern.

3 Voraussetzungen, Modellbildung

Die Anwendbarkeit eines Berechnungsmodells ist von den Annahmen und Vereinfachungen abhängig, die bei der Entwicklung des Modells gemacht wurden:

- Es besteht kein Verbund zwischen Liner und Altrohr, d. h., in dem Zwischenraum werden nur Druckspannungen übertragen, dagegen keine Zug- und Tangentialspannungen (Reibung).
- Eine zweidimensionale Berechnung ist ausreichend (weiteres s. [4]). Flächenlasten wie konzentrierte Radlasten des SLW 60 können in äquivalente Gleichlasten umgerechnet werden.
- Es wird linear elastisches Materialverhalten angenommen.
- Das Kriechverhalten von Kunststofflinern wird durch den Langzeit-Elastizitätsmodul des Werkstoffs als Näherung für dessen viskoelastischen Eigenschaften beschrieben.
- Zu Berücksichtigung der zeitabhängigen Festigkeit des Linerwerkstoffs wird ein Abminderungsfaktor für die Biegezug- und Druckfestigkeit verwendet, analog der Dimensionierung von erdgebetteten Kunststoffrohren nach ATV-A 127 [5].
- Bei Vorliegen der Altrohrzustände I und II (s. Abschnitt 3.1) wird der Liner nur durch Grundwasser, nicht jedoch durch Erd- und Verkehrslasten beeinflusst.

Die Liste der Voraussetzungen zeigt, dass die im Merkblatt ATV-M 127-2 aufbereiteten Verfahren und Diagramme nicht auf alle zur Zeit eingesetzten Sanierungsverfahren anwendbar sind. So sind grundsätzlich alle Systeme mit Verklebungen zwischen Altrohr und Liner nicht durch das mechanische Modell des Merkblattes abgedeckt.

Bei der Erstellung des Merkblattes wurde auf Erfahrungen mit derzeit üblichen Systemen bezüglich Werkstoffkennwerte, Wanddicken usw. zurückgegriffen. Beulversuche sind bisher nur für kreisförmige Schlauchliner aus Synthesefaserlaminat mit Radius-/Wanddickenverhältnissen bis 45 z. B. in [6] und für PE-HD-Liner bis 22,5 in [4] und [7] veröffentlicht. Für Liner, deren Parameter erheblich von diesen Grenzen abweichen, sind daher weitere Versuche und Berechnungen erforderlich.

4 Altrohrzustand und Imperfektionen

4.1 Definition der Altrohrzustände

4.1.1 Altrohrzustand I

Die Altleitung ist lediglich in der Rohrwand oder den Muffen undicht. Es sind keine Längsrisse vorhanden, ausgenommen Haarrisse.

Querrisse sind in der Regel dem Altrohrzustand I zuzuordnen, da jedoch häufig die Gefahr einer weitergehenden Rissbildung besteht, ist im Zweifelsfall der Altrohrzustand II anzunehmen. Das gleiche gilt für Scherbenbildungen, die ebenfalls Längsrisse auslösen können.

4.1.2 Altrohrzustand II

Die Altleitung weist Längsrisse auf, das Altrohr-Bodensystem ist jedoch weiterhin tragfähig. Aufgrund der durch die Rohrwand hindurchgehenden Längsrisse verformt sich das Rohr, bis zusammen mit den horizontalen Bettungsreaktionen des Bodens wieder ein Gleichgewichtszustand erreicht ist, vgl. auch Abschnitt 6.2.

Die auf diese Weise entstandene Verformung des Gelenkringes wird häufig auch Ovalisierung genannt, obwohl streng genommen keine mathematische Ellipsenform entsteht.

Ohne oder bei nicht ausreichend tragfähiger Bettung liegt ein instabiler Zustand vor. Eine Berechnung der Verformungen und der kritischen Last des gebetteten Liners ist näherungsweise mit ATV-M 127-2, Anhang A6 möglich.

Pauschale Kriterien für die Annahme des Altrohrzustandes II sind:

1. kleine Ovalisierungen $w_{GR,v}$ (< 3 bis 5%) – in diesem Fall ist die zugehörige Sicherheit des Rohr-Bodensystems größer als 2,0 (vgl. [1], Abschnitt 6.2 und Anhang A3/2),
2. größere Überdeckungen $h \geq 1,5$ m und $h \geq 2d_a$, verbunden mit einem geringeren Einfluss der Verkehrslasten

Zu Querrissen und Scherbenbildung s. Kommentar zu Altrohrzustand I.

4.1.3 Altrohrzustand III

Wie bei Altrohrzustand II liegen Längsrisse vor, jedoch ist die Gelenkringverformung (Ovalisierung) deutlich größer. Ein Indiz für kleinere Sicherheiten des Altrohr-Bodensystems als 2,0 sind Ovalisierungen, die größer als 3 bis 5 % sind.

Auch andere Szenarien müssen dem Altrohrzustand III zugeordnet werden, z. B. geringe Überdeckungen, mögliche spätere Baumaßnahmen in der Nähe der Rohrtrasse usw. Grabenlose Sanierungsverfahren werden inzwischen auch bei Überdeckungen unter 1 m angewandt.

Eine Berechnung nach Altrohrzustand III führt nicht immer zu größeren Wanddicken des Liners, da z. B. eine geringere Überdeckung in der Regel nur mit einem geringen Wasserdruck von außen verbunden ist.

Tab. 1 Hinweise für eine Zuordnung der Altrohrzustände

Altrohrzustand	I	II	III
Längsrisse	-	x	x
Ovalisierung (Anhaltswerte)	-	≤ 3 bis 5%	> 3 bis 5%
geringe Überdeckung (hoher Verkehrslasteinfluss)	bei ausreichend tragfähigem Altrohr	$h \geq 1,5$ m und $h \geq 2d_a$	$h < 1,5$ m oder $h < 2d_a$

4.1.4 Durch Altrohrzustand III nicht mehr abgesicherte Zustände

Ist das Altrohr-Bodensystem als gebettete „Viergelenkschale“ nicht mehr funktionsfähig, so ist keine Modellbildung durch einen der drei Altrohrzustände möglich.

Beispiele hierfür sind:

- Korrosion eines erheblichen Teils der Altrohrwanddicke ($\geq 20 \%$ oder statischer Nachweis),
- Versagen der Altrohrdruckzonen in den Berührungsflächen der Scherben (Gelenklinien bzw. -punkten) – kleinere, in Längsrichtung begrenzte Abplatzungen sind dagegen unbedenklich,
- Fehlen von Teilen der Rohrwand (Kantenlängen $> d_i/2$),
- massive Scherbenbildung.

In solchen Fällen ist kein oder kein ausreichend sicherer Ringschluss in der Altrohrwandung vorhanden, d. h., die Ringdruckkräfte der Rohrwand können nicht mehr zwischen den Altrohrteilstücken übertragen werden, vgl. Bild 1. Damit entfallen die statischen Voraussetzungen der im ATV-M 127-2 definierten Altrohrzustände I bis III.

Bild 1
Fehlende Rohrsohle, kein
Ringschluss mehr vorhanden



4.2 Imperfektionen

4.2.1 Allgemeines zu Imperfektionen

Vorverformungen oder andere unzureichende Bettungsbedingungen des Liners im Altrohr aber auch Schwankungen der Wanddicke und der Materialeigenschaften (z. B. des E- Moduls) werden als geometrische und strukturelle Imperfektionen bezeichnet.

Imperfektionen nach Bild 2 vermindern den Beulwiderstand und erhöhen die Spannungen und Verformungen des Liners. Eine Unterschreitung der im ATV-M 127-2 vorgeschriebenen Imperfektionsansätze können

- zu einer vorwiegenden Druckbeanspruchung in der Linerwand und / oder
- zu nicht maßgebenden Beulformen führen [8].

Bei Durchschlagproblemen von schlanken Bauwerken ist bekannt, dass bereits kleine Vorbeulen einen dramatischen Abfall der kritischen Last zur Folge haben können [9]. Zudem wird die Anfälligkeit der Spannungen und Beullasten von Variationen der Ausgangswerte (Sensibilität) durch ausreichende Imperfektionen vermindert

Der Ansatz ausreichend großer Imperfektionen nach Bild 2a-c ist daher für eine sichere Bemessung unverzichtbar.

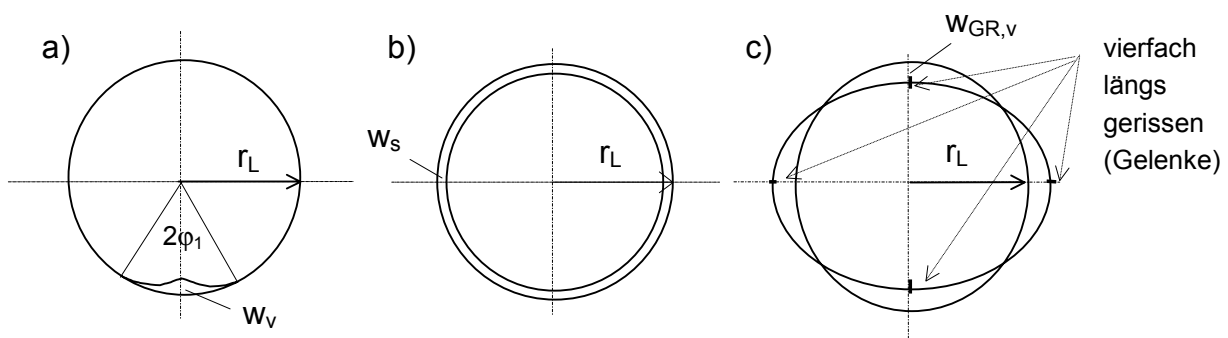


Bild 2 Imperfektionen: a) örtliche Vorverformung (überhöhte Darstellung)
b) Spaltbildung (überhöhte Darstellung)
c) Gelenkringvorverformung (\approx Ovalisierung)

4.2.2 In Rohrlängsrichtung konstante Imperfektionen

4.2.2.1 Lokale Vorverformung w_v

Bei Überschreiten des kritischen Außendruckes folgt eine örtliche Beulfigur, die auf einen Teil des Umfanges begrenzt ist (z. B. $2\varphi_1 = 40^\circ$) - die anzusetzende Vorverformung muss hierzu ähnlich sein (affine Vorverformung). Dieser Vorverformungstyp ist bei Vorliegen von Wasseraußendruck p_a zwingend erforderlich.

Als Mindestwert gilt bei Kreisquerschnitten 2% des Linerradius, nur aufgrund sorgfältiger Messungen der Geometrie bei begehbaren Profilen ist eine Reduktion auf 1% möglich. In diesen Werten ist ein geometrischer und ein struktureller Anteil enthalten. Die strukturelle Imperfektion (Streuungen der Wanddicke und der Werkstoffeigenschaften) beträgt 0,5%.

Auch bei der Sanierung von neu verlegten Rohren sind mindestens 1% anzusetzen. Beim Rohrstrangling mit Ringraumverdämmung gilt folgendes: Die elastische Verformung beim Verdämmen mit einer näherungsweise ovalen Form (Mindestansatz 0,5 %) zuzüglich der strukturellen Imperfektion (0,5%) ergibt den Mindestwert von 1%.

Bei gemauerten Kanälen in schlechtem Zustand sind Vorverformungen $> 2\%$ denkbar.

4.2.2.2 Gelenkringvorverformung $w_{GR,v}$

Diese Imperfektion entsteht durch die Verformung beim Bruch der Altleitung im Boden. Als Mindestwert gilt 3%, da kleinere Werte kaum messbar oder aus Videoaufzeichnungen ableitbar sind. Voraussetzung ist allerdings, dass Rohrachse und optische Achse näherungsweise übereinstimmen.

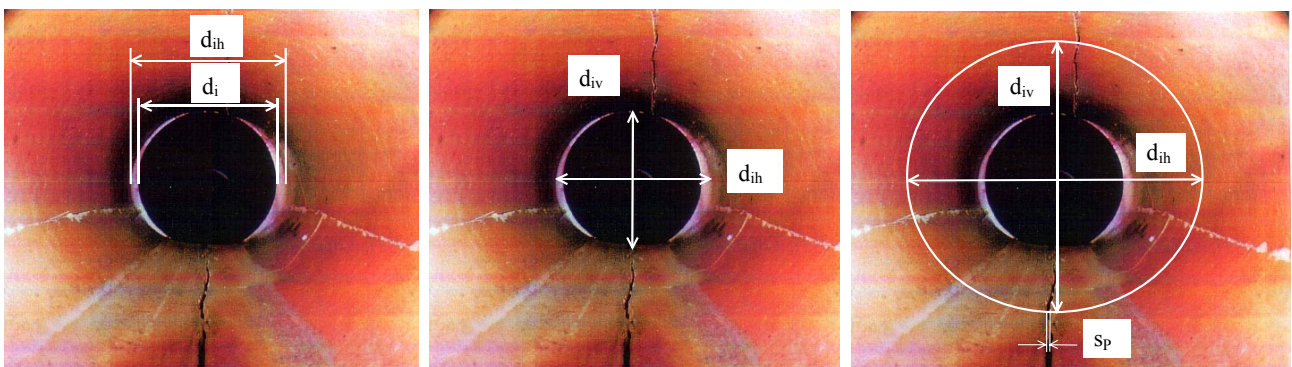


Bild 3 Ermittlung der Gelenkringverformung aus Videoaufnahmen (Foto aus [15])

Für die näherungsweise Ermittlung des Wertes $w_{GR,v}$ sind die folgenden Verfahren möglich, s. Bild 3:

1. Mit Referenzlinie (intakter Rohrquerschnitt):

Mit dem Durchmesser d_i des Referenzrohres im Hintergrund folgt die Gelenkringverformung

$$\delta_{GR,v} = (d_i - d_{i,h}) / d_i \cdot 100 \% \quad (1a)$$

Vorteile: Restwasser im Kanal stört nicht, relativ genau

2. Ohne Referenzlinie als relativer Durchmesserunterschied:

Nach der Berechnung von $d_{i,m} = (d_{i,v} + d_{i,h}) / 2$ folgt die Gelenkringverformung

$$\delta_{GR,v} = (d_{i,h} - d_{i,m}) / d_{i,m} \cdot 100 \% \quad (1b)$$

Nachteile: Bei Restwasser muss der Verlauf der Ellipse in der Kanalsohle geschätzt werden. Die Rohrachse und die optische Achse müssen übereinstimmen (Schrägaufnahme nicht zulässig).

3. Über die Rissöffnung s_p (im Kanal gemessen oder aus Bild 3 umgerechnet):

Mit dem Verhältnis r_m/s und der Spaltbreite s_p folgt die Ovalisierung

$$w_y = s_p \cdot \frac{r_m / s - e_G / s}{2e_G / s + 1} \quad (1c)$$

mit $e_G/s \approx 0,5$ bei intakter Rohrdruckzone
und die Gelenkringverformung $\delta_{GR,v} = w_y / r_i \cdot 100 \%$

Nachteile:

- Die Altrohrwanddicke s und die Gelenkexzentrizität e_G müssen geschätzt werden.
- Die Umrechnung von der Rissbreite s_p (klein, mit Fehlern behaftet) auf einen größeren Wert $w_{GR,v}$ ist ungenau.
- Die Rissbreite s_p ist häufig nicht konstant.

Für das in Bild 3 dargestellte Altrrohr ergibt das Verfahren 1 ca. 10%, das Verfahren 2 ca. 6% und das Verfahren 3 ca. 8% Ovalisierung. Die Ermittlung dieses Wertes aus Videoaufzeichnungen ist zwar relativ ungenau, ohne Berechnung kann die Größe der Verformung jedoch leicht unterschätzt werden.

4.2.2.3 Spaltbildung w_s

Die Spaltbildung zwischen Liner und Altrrohr ist abhängig von der Verfahrenstechnik und den Werkstoffeigenschaften, also der Kriech- und Schwindneigung des Kunststoffliners (ggf. auch infolge Schwinden des Dämmers beim Langrohrlining). Im Merkblatt ATV-M 127-2 sind daher die folgenden Ansätze vorgeschrieben:

- 0,5% für Schlauchverfahren, die im Altrrohr aushärten
- 2% für verformte und im Altrrohr rückverformte Liner

Da der Ringspalt an ausgeführten Objekten nur schwer zu messen ist, ist bei kleinen Nennweiten keine Reduktion der Mindestwerte zulässig. Aufgrund von Erfahrungen mit Schlauchverfahren ist jedoch vorgesehen, unter den folgenden Bedingungen den Rechenwert des Ringspaltens von 0,5% auf 0,25% des (Scheitel-)Radius zu reduzieren:

- Nennweite ≥ 800 mm (Eiprofile $H \geq 800$ mm),
- Ermittlung der Spaltweite durch Messungen im Rahmen der Erstprüfung,
- Wiederholungsprüfungen mindestens drei pro Jahr an Baustellen, die durch den Auftraggeber ausgewählt werden,
- Ausführung der Wiederholungsprüfungen:
 - a) Messung des Altrrohrinnendurchmessers d_i vertikal und horizontal in mindestens 0,5 m - Entfernung vom Anfangs- und Endschacht (= vier Messergebnisse);
 - b) Ermittlung der Linerwanddicke $\min s_L$ als Mindestwert der Rückstellproben;
 - c) Messung des Linerinnendurchmessers d_{iL} an den selben Stellen, an denen der Altrrohrinnen durchmesser ermittelt wurde, vgl. Punkt a);
 - d) Berechnung der Ringspaltweite $w_s = \frac{1}{2} d_i - \frac{1}{2} d_{iL} - \min s_L$;
 - e) Es ist für alle vier Messungen gefordert $(w_s / r_L) \cdot 100 \% \leq 0,25 \%$.Bei Eiprofilen ist der Ringspalt w_s auf den Radius des Scheitels zu beziehen.

4.2.3 In Rohrlängsrichtung veränderliche Imperfektionen

Alle Imperfektionen nach ATV-M 127-2 werden in Rohrlängsrichtung konstant angenommen. Diese Annahme liegt auf der sicheren Seite, da das zugehörige Berechnungsmodell räumliche Tragwirkungen, die bei veränderlichen Imperfektionen möglich sind, vernachlässigt. Durch den konservativen konstanten Ansatz werden größere Imperfektionen, deren Länge in Rohrlängsrichtung begrenzt ist, kompensiert.

In Rohrlängsrichtung *veränderliche* Imperfektionen treten z. B. in den folgenden typischen Fällen auf:

1. Im Übergang von einem kreisrunden Rohr (Altrrohrzustand I) zum vierfach längs gerissenen Rohr (Bild 3) sowie ähnliche Fälle mit Rohrversatz oder Sohl sprung,

2. beim Überfahren eines örtlichen Hindernisses mit dem noch nicht ausgehärteten Liner und
3. durch Überbrückung von Fehlstellen.

Aus statischer Sicht handelt es sich bei allen Beispielen um örtliche Störungen. In Versuchen mit PE-HD-Linern zu Fall 1 [7] wurde keine Verminderung der Tragfähigkeit festgestellt: Obwohl an den Übergängen vom Kreisrohr zum ovalen Mittelteil nach der Rückverformung eine kurze Längsfalte verblieb, lag der Beulbeginn für Wasseraußendruck im Mittelteil, vgl. Bilder 4 und 5. Eine Bemessung des Liners mit den Vorverformungen des ovalen Mittelbereichs liefert ausreichend sichere Wanddicken.

Bild 4
Versuchsanordnung [7] mit
in Längsrichtung veränder-
licher Geometrie
1) Einbaufalte
2) Beule infolge Wasserdruck

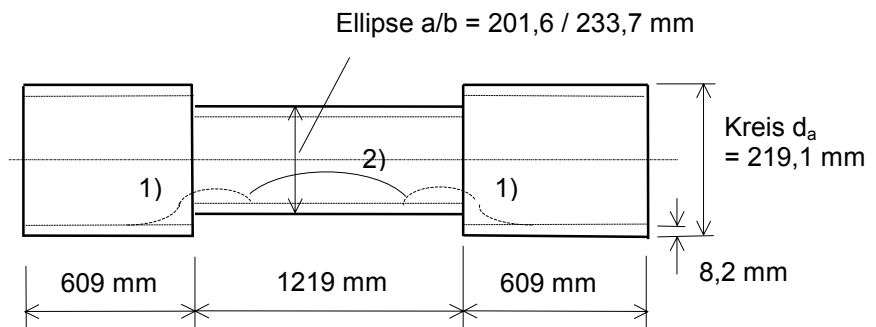


Bild 5
Blick in das durch einen U-Liner
sanierte Rohr (Bild 4) nach
dem Beulen des ovalen
Mittelteils



Auch der Fall 2 ist bereits durch Versuche belegt [10], dennoch sind in Einzelfällen mit größerer Ausdehnung in Längsrichtung oder großen Vorverformungen gesonderte Untersuchungen erforderlich.

Bei der Überbrückung von Fehlstellen mit Längen ab $0,5 \cdot d_i$ wird im ATV-M 127-2 eine Nachrechnung nach der Schalentheorie empfohlen. In Bereichen mit nachträglichen Abgrabungen z. B. für Seitenanschlüsse ist eine Berechnung nach ATV-A 127 [5] (bei Ausbau des Altrohres) oder M 127-2 [1] (bei verbleibendem Altrohr) durchzuführen.

4.2.4 Einfluss der Imperfektionen auf die Nachweise

Die drei Imperfektionen nach Bild 2a-c verringern den kritischen Wasseraußendruck des Liners (Beulast) und vergrößern die Spannungen in der Linerwand sowie die Linerverformungen.

Aus den Diagrammen D1 bis D3 des ATV-M 127-2 werden drei Abminderungsfaktoren κ_v , κ_s und $\kappa_{GR,v}$ entnommen, die den Imperfektionsarten zugeordnet sind. Ein weiterer Vorteil der Diagramme ist ihre Gültigkeit für alle Linerwerkstoffe und alle praktisch vorkommenden Wanddicken.

Die anschließende Berechnung des gemeinsamen Abminderungsfaktors durch Multiplikation

$$K_{vs} \approx K_v \cdot K_s \cdot K_{GR,v}$$

(2)

ist insbesondere für die Altrohrzustände II und III eine Abschätzung auf der sicheren Seite.

In Bild 6 wird ein Diagramm vorgestellt, das für den häufigen Fall $w_v = 2\%$, $w_s = 0,5\%$ und beliebige Werte der Gelenkringvorverformung $w_{GR,v}$ gilt. Für Fälle mit ausreichender Biegefestigkeit des Werkstoffes ist mit Bild 6 eine wirtschaftlichere Bemessung möglich.

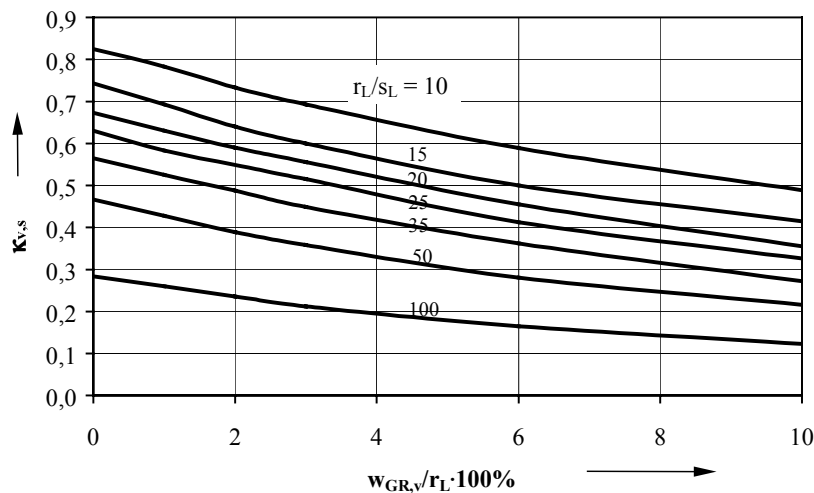


Bild 6 Abminderungsfaktor K_{vs} für die Fälle $w_v = 2\%$, $w_s = 0,5\%$ und beliebige Werte für $w_{GR,v}$ (zur Ergänzung der Diagramme D1 bis D3 in ATV-M 127-2)

5 Lastannahmen, Sicherheitskonzept

5.1 Regeluntersuchung

Die Belastung des Liners ist von der Einstufung des Altrohrzustandes abhängig. Bei Altrohrzustand I und II ist nur Wasserdruck p_a anzunehmen, die Erd- und Verkehrslasten werden weiterhin vom Altrohr bzw. dem Altrohr-Bodensystem übernommen. Für das Altrohr-Bodensystem sind rechnerische Nachweise nach ATV-M 127-2, Anhang A6 möglich, wenn die Bodenkennwerte der Leitungszone ermittelt werden und das Altrohr einen Ringschluss der Kräfte ermöglicht.

Tab. 2 Belastungen des Liners

Altrohrzustand	Wasserdruck p_a		Erddruck- und Verkehrslasten	Sicherheitsbeiwert γ
	Grundwasser über Linersohle	mindestens jedoch: Ersatzlast		
I	h_w	1,5 m oder DN + 0,1 m	-	2,0
II			$p_E = 0,75 \cdot \gamma_B \cdot h$, p_V	2,0 für p_a , 1,5 für p_E , p_V
III örtliche Schäden				

Die Ersatzlast soll eine ausreichende Mindeststeifigkeit des Liners gewährleisten.

Bei Vorhandensein von Wasseraußendruck (Grundwasser, Hochwasser) wird der meist dünnwandige Liner durch hohe Druckkräfte beansprucht. Aus diesem Grunde beruht das Berechnungskonzept des Merkblattes ATV-M 127-2 auf nicht linearen Nachweisen mit γ -fachen Lasten und ausreichend große

Imperfektionen. Auf diese Weise wird vermieden, dass geringe Variationen der Eingangsgrößen zu großen Unterschieden in den berechneten Sicherheitsbeiwerten führen.

Der für Altrohrzustand III bei Erd- und Verkehrslasten vorgesehene geringere Sicherheitsbeiwert von 1,5 ist mit der Belastungsart zu begründen: Anders als bei äußerem Wasserdruck handelt es sich hier nicht um ein Kraft- sondern um ein überwiegendes Formschlussproblem des Liners im Altrohr. Bei solchen Zwängungsproblemen werden im Bauwesen üblicherweise geringere Sicherheiten gefordert, vgl. z. B. EC 1. Voraussetzung ist allerdings ein funktionsfähiger Kraftschluss zwischen den Altrohrscherben, vgl. Abschnitt 5.2.

5.2 Sonderuntersuchungen

Bei Vorliegen des Altrohrzustandes I kann insbesondere für geringe Überdeckungen und hohe Verkehrslasten eine Berechnung des Altrohres nach ATV-A 127 erforderlich werden. Hierbei ist ggf. ein Abschlag bei der Wanddicke für Korrosion und Abrieb vorzunehmen. Ist keine ausreichende Sicherheit vorhanden, so ist mit einem nachträglichen Bruch der Leitung zu rechnen, d. h. es gilt die Regelung für Altrohrzustand III - jedoch mit dem Konzentrationsfaktor $\lambda_R = 1,5$ statt 0,75, vgl. ATV-M 127-3, Abschnitt 6.3.2.4.

Bei den Altrohrzuständen II und III ist die Druckzone der Ableitung näherungsweise nachzuweisen. Die Längskräfte N_K zwischen den Kämpferscherben (Gelenkkräfte) werden durch das vertikale Gleichgewicht ermittelt, für die Breite der Druckzone kann 1/5 der Altrohrwanddicke s geschätzt werden, vgl. Bilder 7 und 8.

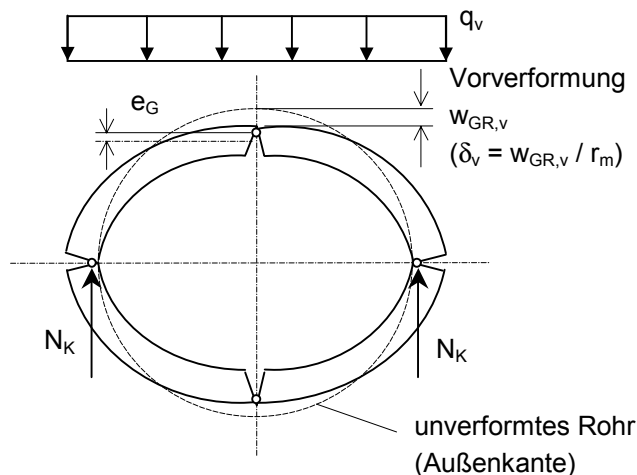


Bild 7 Viereckring, Druckkräfte N_K in den Kämpferlinien, vertikales Gleichgewicht



Bild 8 Überprüfung der Grenztragfähigkeit der Altrohrdruckzonen durch Versuche (aus [4], neues Betonrohr, $w_{GR,v} = 9\%$)

Für die maximale vertikale Scheitelbelastung des Altrohres gilt nach [1] Gl. (6.11a):

$$q_v = \lambda_R \cdot \gamma_B \cdot h + \varphi \cdot p$$

Aus $\Sigma V = 0$ folgt die Druckkraft im Kämpfer

$$N_K \cong -q_v \cdot (1 + \delta_{GR,h}) \cdot \frac{d_a}{2} \quad \text{mit} \quad \delta_{GR,h} \cong \delta_{GR,v} \quad (3a)$$

Für die Breite der Druckzone $s_D \cong s/5$ (20% der Altrohrwanddicke) und für dreieckförmigen Spannungsverlauf beträgt die maximale Druckspannung in der Kämpferdruckzone:

$$\sigma_{D,K} \equiv 2 \cdot N_K / s_D = 10 \cdot N_K / s \quad (3b)$$

Die Druckfestigkeit des Altrohres β_R kann in Einzelfällen durch Kernbohrungen ermittelt werden, in der Regel wird ein Ansatz von ca. 50% der Festigkeit eines neuwertigen Rohres genügen. Als erforderlicher Sicherheitsbeiwert gilt $\gamma = 2,1$ für Bruch ohne Vorankündigung, vgl. ATV-M 127-2, Tab. 4.

Damit folgt der Nachweis:

$$\gamma_D = \beta_R / \sigma_{D,K} \geq \text{erf } \gamma = 2,1$$

6 Werkstoffkennwerte

6.1 Eignungsnachweise

Die Werkstoffkennwerte von im Kanal aushärtenden Linern werden in Eignungsnachweisen festgestellt und im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung auf der Baustelle kontrolliert [14].

Einzelheiten hierzu sind dem Merkblatt ATV-DVWK-M 143-xx (Entwurf) zu entnehmen [16].

6.2 Ermittlung der Grenzdehnungen von GFK-Linern nach ATV-A 127

Die Vorgehensweise in Anlehnung an das Arbeitsblatt ATV-A 127 [5] wird anhand eines Beispiels dargestellt. Es wird ein Rohrwerkstoff nach DIN 19565-1 mit gleichen oder ähnlichen Füllstoffanteilen vorausgesetzt.

Gegeben sei für einen Liner der Nennweite DN 600 die Wanddicke $s_L = 10$ mm. Der Dreipunktbiegeversuch ergibt den Elastizitätsmodul $E_L = 8000$ N/mm².

Zunächst erfolgt eine Einstufung der Ringsteifigkeit S_L des Liners. Mit dem Kurzzeitwert E_L folgen

$$S_L = \frac{E_L \cdot s_L^3}{12 \cdot r_m^3} = \frac{8000}{12} \cdot \left(\frac{10}{295}\right)^3 = 0,026 \text{ N/mm}^2 \quad (4a)$$

und $SN = S_L / 8 = 0,0032$ N/mm² = 3200 N/m² (SN ist auf d_m bezogen). Damit ist eine ungefähre Einstufung in die Ringsteifigkeitsklasse SN 2500 möglich.

Nun werden die Grenzdehnungen und ggf. -spannungen wie folgt ermittelt:

Für SN 2500 gilt unter Langzeitbedingungen (50a) nach ATV-A 127, Tabelle 3 die Bruchverformung des Rohres $\Delta d_{\text{Bruch}} / d_m = 15\%$. Nach Fußnote 35 dieser Tabelle wird die Grenzdehnung

$$\varepsilon_L = \pm 4,28 \cdot \frac{s_L}{d_m} \cdot \frac{\Delta d_{\text{Bruch}}}{d_m} = \pm 4,28 \cdot \frac{10}{590} \cdot 15\% = \pm 1,09\% \quad (4b)$$

berechnet. Falls anstelle der Grenzdehnung für den Nachweis die Biegezugfestigkeit zugrunde gelegt wird, folgt mit dem Abminderungsfaktor 0,5 nach ATV-A 127, Tabelle 3 der Langzeit-E-Modul $E_L = 8000 \cdot 0,5 = 4000$ N/mm² und damit die Langzeit-Biegezugfestigkeit

$$\sigma_{bZ} = \varepsilon_L \cdot E_L = 0,0109 \cdot 4000 = 43,6 \text{ N/mm}^2. \quad (4c)$$

Hinweis: Der Index R (Rohr) im ATV-A 127 wird im M 127-2 durch L (Liner) ersetzt.

7 Hinweise für Ausschreibungen

Bei der Formulierung von Leistungsverzeichnissen bestehen gelegentlich Unsicherheiten hinsichtlich der Beschreibung der Altrohrschäden und der Zuständigkeiten für notwendige Angaben vor einer sta-

tischen Berechnung eines Liners. Im folgenden werden einige Hinweise für Ausschreibungstexte gegeben.

- In einer Ausschreibung sind vom AG mindestens die folgenden Angaben beizufügen, vgl. Checkliste im Anhang A7 des ATV-M 127-2:
Zum **Altrohr**: Werkstoff, Nennweite, Altrohrzustand, bei Altrohrzustand II und III *Gelenkringvorverformung*;
Für die übrigen Imperfektionen (*örtliche Vorverformung* und *Spaltbildung*) ist auf ATV-M 127-2 zu verweisen;
tatsächlich vorhandener *Grundwasserstand*;
Bei Vorliegen von Altrohrzustand III sind zusätzliche Angaben zum **Boden** (Bodengruppe, Verformungsmodul) zu ergänzen;
Angaben zur **Belastung** (Überdeckung, Verkehrslasten) müssen für alle Altrohrzustände vorliegen, da z.B. bei Altrohrzustand I eine Nachrechnung der Leitung erforderlich werden kann und bei Altrohrzustand II und III die Altrohrdruckzonen zu überprüfen sind.
- Die alleinige Angabe des Außendurchmessers, der Wanddicke, des Werkstoffs (z. B. PE 80), der Druckstufe (z. B. PN 10) und der Zugfestigkeit (8 N/mm²) kann eine statische Berechnung des Liners nicht ersetzen.
- Die Formulierung „Der Ringspalt ist vom Bieter anzugeben“ ist nicht ausreichend. Es ist auf die *Mindestwerte nach ATV-M 127-2* hinzuweisen (Schlauchliner mit Kreisquerschnitt: $w_s = 0,5\%$ vom Linerradius). Zudem muss durch Verfahrensprüfungen nachgewiesen sein, dass diese Mindestwerte nicht überschritten werden.
- Die gleichzeitige Angabe der Linerwanddicke *und* des anzusetzenden Grundwasserstandes ist nicht sinnvoll. Falls eine Wanddicke angegeben wird, ist diese als Mindestwert kenntlich zu machen.
- Die Forderung einer statischen Berechnung nach ATV-M 143-3 für Lastfall II (Altrohr *nicht tragfähig*) ist überholt. Stattdessen ist die statische Berechnung nach ATV-M 127-2 auszuschreiben. Ist das Altrohr-Bodensystem nicht tragfähig (Lastfall II nach M 143-3), so ist die Leitung zu erneuern.
- Begriffe wie „selbsttragend“ und „der Liner muss alle Lasten übernehmen“ werden dem Tragverhalten des Systems nicht gerecht und sind zu vermeiden.
- Der tatsächliche Grundwasserstand und ein aus Sicherheitsbedürfnissen geforderter höherer Grundwasserstand sind getrennt anzugeben.
Begründung: In solchen Fällen kann der Nachweis der Interaktion des höheren Grundwasserstandes mit den Erd- und Verkehrslasten entfallen.

Musterausschreibungstexte sind z. B. bei den Städten Hamburg und Nürnberg erhältlich.

8 Sonderfälle

8.1 Vorbemerkungen

Bei der Bearbeitung des Merkblattes ATV-M 127-2 war eine Beschränkung auf Standardfälle der Geometrie (Kreisquerschnitt) und der Verfahren erforderlich. Oft wird auch die Auffassung vertreten, dass gewisse Verfahren eher eine Reparatur darstellen, für die statische Nachweise nicht erforderlich seien („bei Versagen erneute Reparatur“).

Im folgenden werden einige Überlegungen zu speziellen Altrohrwerkstoffen und zu Querschnitten, die von der Kreisform abweichen, mitgeteilt.

8.2 Altrohr

8.2.1 Gemauerte Sammler

Sammler aus Mauerwerk können folgende Besonderheiten aufweisen:

- unregelmäßige Oberfläche,
- von den Imperfektionstypen nach Bild 2a-c abweichende Formen und andere Längsrissslagen, bedingt z. B. durch Übergänge vom ein- zum zweischaligen Mauerwerk im Scheitel,
- geringe Festigkeit des Mauerwerks, insbesondere des Mörtels,
- Mörtelauswaschungen oder –verlust, ggf. über die gesamte Wanddicke.

Bei der Dimensionierung eines Liners müssen diese Besonderheiten berücksichtigt werden, z. B. durch eine pauschale Erhöhung der örtlichen Imperfektionen, durch Messung und Ansatz der vorhandenen globalen Imperfektionen (s. Bild 2c) und durch Berücksichtigung auch nachträglicher Umfangsverkürzungen des Sammlers durch Stauchungen, die zu höheren Linerbelastungen führen.

Größere Querschnitte ermöglichen ein Aufmaß der Querschnittsform mit dem Ziel, Abweichungen von der Ausgangsgeometrie zu quantifizieren und Informationen über die Resttragfähigkeit des Sammlers zu ermitteln. Dies kann auch mit experimentellen Mitteln erfolgen, wobei aufgrund der Kenntnis der mittragenden Länge der Sammlerwand und der Bruchfigur [11] eine Reduktion des Messaufwandes möglich ist [4]. Durch Bodensondierung (Rammsondierung und erforderlichenfalls Schürfung) können die Bodenkennwerte zur Beschreibung des Tragmodells ermittelt werden.

Die Lastaufbringung durch das neu entwickelte Belastungsfahrzeug BELFA wurde in Bremen mehrfach erfolgreich eingesetzt. Es enthält die erforderliche Mess- und Belastungstechnik, und der Einsatz erfordert erfahrungsgemäß nur kurze Sperrzeiten für den Verkehr [12].

8.2.2 Biegeweiche Rohre

Bei der Sanierung biegeweicher Rohre kann die Verformung durch den Vorverformungsansatz nach Bild 2c beschrieben werden (Gelenkringvorverformung). Damit erfolgt eine Berechnung nach Altrohrzustand II oder III auch ohne Vorliegen von Längsrisssen.

Bei Einbau einer Stahlhülse kann deren Vorspannung gegen ein Kunststoffrohr zur Relaxation des Werkstoffs und damit zur Reduktion der Verschiebesicherheit führen. Vorteilhaft ist daher eine mechanische Verklammerung im Altrohr. Aufgrund der Biegeweichheit des Altrohres gelten die Kriterien für eine Berechnung nach Altrohrzustand III, vgl. Tabelle 1.

8.2.3 Nicht kreisförmige Rohre

8.2.3.1 Ermittlung der Vorverformung

Liner mit Eiprofil werden höher als Kreisprofile beansprucht, da bei konstantem äußerem Druck hoch-ovale Verformungen und andere Verläufe der Biegemomente entstehen. Bei der Sanierung von Eiprofilen sind einige Besonderheiten zu beachten.

Bild 9a) Gesamtverformung (vier Gelenke, Gelenkexzentrizitäten sind nicht dargestellt) mit Polplan zur Ermittlung von Gelenkringvorverformungen bei nicht kreisförmigen Querschnitten

Legende:

- G_S, G_K, G_{S_0} exzentrische Gelenke im Mauerwerk
- P_S Hauptpol des Scheitelbogens
- P_{S_0} Hauptpol des unteren Bogens
- v_S Scheitelverschiebung
- v_K Kämpfersverschiebung
- ψ Verdrehung des Scheitelbogens
- φ_G Öffnungswinkel des Scheitelbogens (Winkel $< 90^\circ$ sind möglich, vgl. [11])

Die Lage des Hauptpols P_{S_0} des unteren Bogens stimmt mit dem Sohlgelenk G_{S_0} überein (durch Versuche bestätigt)

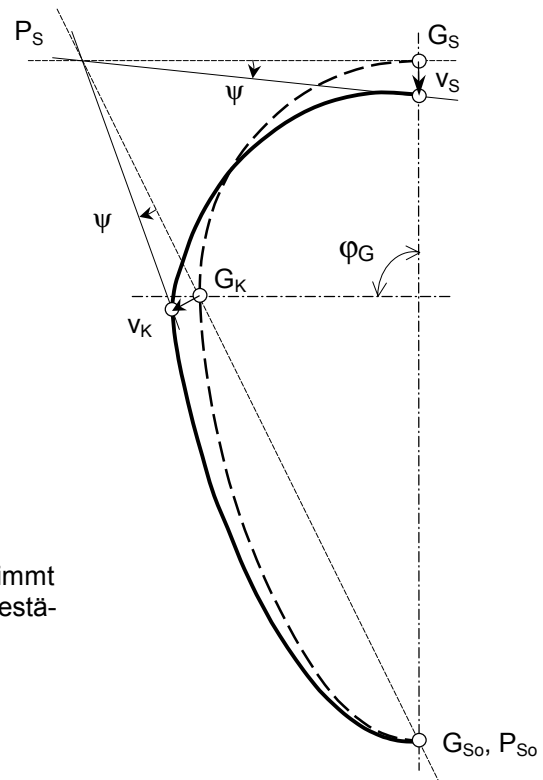
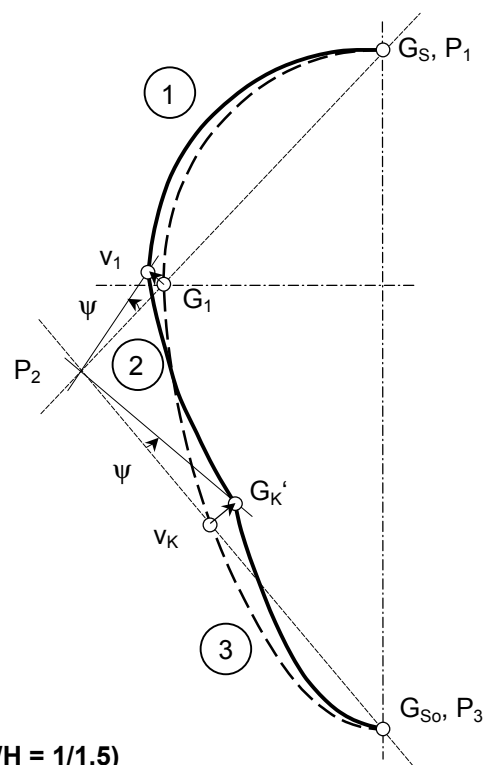


Bild 9b) Verformung im Kämpferbereich (vier Gelenke, Gelenkexzentrizitäten sind nicht dargestellt, Verschiebungen überhöht)



8.2.3.2 Vorverformungen normaler Eiquerschnitte ($B/H = 1/1,5$)

Für normale Eiquerschnitte ($H/B = 1,5$) und hierzu ähnliche Profile gilt:

- Die örtliche Vorverformung nach Bild 2a ist im *flachen Bereich* des Querschnitts anzuordnen.
- Der Ringspalt nach Bild 2b ist in % des *Scheitelradius* anzunehmen.
- Die Gelenkringvorverformung nach Bild 2c kann am Originalquerschnitt mit der Vorverformungsfigur nach Bild 9a durch Polplan ermittelt werden. Zur Berücksichtigung von Rissverläufen in

Sammlerlängsrichtung, die von den ideal gerade angenommenen Gelenklinien abweichen können, ist die örtliche Vorverformung zu vergrößern:

$$w_v = 0,5 \% + w_{GR,v} / 10 \quad (5)$$

- Vorverformungen aus drei Längsrissen im Kämpfer nach Bild 9b sind näherungsweise zu den örtlichen Vorverformungen w_v zu addieren.

8.2.3.3 Andere Eiquerschnitte

Bei gedrückten Eiprofilen ist eine Näherung der Querschnittsform durch einen Korbbogen mit vier Radien wirtschaftlich. In Tabelle 3 sind Berechnungen zusammengefasst, denen die Bedingungen des LV der Hamburger Stadtentwässerung zugrunde liegen:

- Vorverformungen im Kämpferbereich: 1,5% von $r_{L,K}$ (dreifacher Wert nach ATV-M 127-2),
- äußerer Wasserstand über Rohrscheitel $h_w = 3 \text{ m}$ (> doppelter Mindestwert nach ATV-M 127-2)

Für die Spaltbildung wird 0,25% von $r_{L,S}$ nach Abschnitt 4.2.2.3 gewählt. Die Werkstoffkennwerte betragen: $E_L = 1400 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{bZ} = 20 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{bD} = 50 \text{ N/mm}^2$ (Langzeitwerte). Für die Querkontraktionszahl wird $\mu = 0$ gesetzt, um das - verglichen mit einem ebenen FE-Modell - etwas steifere Verhalten des Stabwerkmodells zu kompensieren.

Tab. 3 erforderlichen Wanddicken für Eiprofile mit vier Radien, Vergleich mit normalen Eiprofilen

Hamburger Klassenprofil	H/B	Kämpfer-radius	Ei mit vier Radien erf s_L	normales Ei (drei Radien) erf s_L	Unterschied zum normalen Ei $\Delta s_L / \text{erf } s_L \cdot 100$
	mm	mm	mm	mm	%
V alt	800/1290 (1:1,61)	980	23,0	29,5	28
V neu	700/1200 (1:1,714)	997	22,8	27,3	20
VI alt	570/855 (1:1,5)	860	17,6	19,1	9
VI neu	550/1000 (1:1,82)	975	20,9	22,5	8

Der Stabilitätsnachweis kann durch eine geometrisch nichtlineare Berechnung mit Imperfektionen und γ -fachen Lasten geführt werden. Für Überschlagsrechnungen kann die kritische Belastung für Wasseraußendruck näherungsweise an einem Ersatzkreis mit dem Radius $r_E = 0,6 \cdot H - s_L/2$ ermittelt werden. Der Ersatzradius r_E wurde durch eine rechnerische Steigerung des hydrostatischen Drucks am Eiprofil bis zum Versagen ermittelt - er stimmt näherungsweise mit dem von Amstutz [13] für ovale Rohre angegebenen Ersatzradius überein.

Bei Profilen mit ebenen Bereichen ($r = \infty$, z. B. Tunnelprofil mit ebener Sohle) sind Sonderuntersuchungen erforderlich, da in solchen Fällen Biegemomente dominieren und Spannungsversagen maßgebend wird. Bei Rohrlining- oder Montageverfahren mit Verdämmung des Ringraumes sind Profile ohne ebene Bereiche anzustreben.

9 Schlussbemerkungen

Ausgehend von Erfahrungen bei der Anwendung des Merkblattes ATV-M 127-2 zur Dimensionierung von Sanierungssystemen werden Grundzüge der Vorgehensweise sowie erweiterte Fragestellungen behandelt.

Da den Autoren bisher nur wenige statisch bedingte Schadensfälle bekannt geworden sind, kann von einer sicheren Bemessung durch das Merkblatt ATV-M 127-2 ausgegangen werden. Andererseits

dürfen die Standards nicht verringert werden, da die eingebauten Liner in den meisten Fällen erst in der Altleitung ausgehärtet werden und damit die Werkstoffkennwerte und Wanddicken nur im Schacht, nicht jedoch unter den Bedingungen innerhalb der Haltung kontrollierbar sind. Zudem handelt es sich bei Kunststofflinern um Werkstoffe mit Kriechneigung, so dass eine Unterdimensionierung möglicherweise erst mit einem Zeitverzug oder bei Auftreten z. B. eines Hochwasserereignisses zum Schadensfall führt.

Für Auftraggeber und Planer dürften Fragen der Einordnung der Altrohrzustände, des Ansatzes von Imperfektionen, der Wahl und Kontrolle von Werkstoffparametern, der Behandlung von Sonderquerschnitten und der korrekten Ausschreibung von Sanierungsmaßnahmen weiterhin aktuell bleiben.

Es ist vorgesehen, die in dieser Arbeit vorgestellten Ergänzungen der Bemessungsregeln im kommenden Jahr als Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe ES 2.3 Rohrstatik, UA2 „Rohrsanierung“ zu veröffentlichen. Für alle Hinweise und Diskussionsbeiträge aus der Praxis danken die Autoren.

Vorschriften, Literatur

- [1] Merkblatt ATV-M 127-2 „Statische Berechnung von Lining- und Montageverfahren zur Sanierung von Abwasserkanälen und –leitungen. Hennef (01.00)
- [2] Thépot, O.: Trenchless Technology Research Colloquium 2001. Workshop Liner Design – International Design Method Comparison (unveröff. Manuskript)
- [3] Doll, H.: Dimensionierung von Kunststofflinern Close-Fit-Verfahren – Versuchsgestützte Modifikation von Berechnungsansätzen der ATV M 127 Teil 2. Mitt. Inst. für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau (IGBE) TU Hannover H. 59 (2001)
- [4] Steffens, K. (Hrsg.); Falter, B.; Grunwald, G.; Harder, H.: Abwasserkanäle und –leitungen, Statik bei der Substanzerhaltung und Renovierung (ASSUR). Kooperatives Forschungsprojekt 01RA 9803/8, gefördert durch das BMB+F. Abschlussbericht, Eigenverlag Inst. für Experimentelle Statik, Hochschule Bremen 2002
- [5] Arbeitsblatt ATV-A 127 „Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen“ 3. Auflage 08.2000, Hennef
- [6] Wagner, V.: Beulnachweis bei der Sanierung von nicht begehbaren, undichten Abwasserkanälen mit dem Schlauchverfahren. Diss. TU Berlin 1992
- [7] Alberding, M.; Falter, B.: Zeitabhängiges Beulverhalten von U-Linern aus PE-HD. 3R international 36 (1997) 534-541
- [8] Falter, B.: Statische Berechnung von Linern für die Renovierung von Abwasserkanälen. Proceedings for the 5th International Conference on Pipeline Construction. Oct. 19.-23. 1997 in Hamburg, 471-502
- [9] Link, H.: Der kritische Außenwasserdruck des starr gebetteten Kreisrohres bei einer Klaffung zwischen Rohr und Bettung. Kali und Steinsalz (1987), S. 345
- [10] Gaube, E.: Beulversuche an einem umschlossenen PVC-Rohr mit Vorverformungen (unveröff.)
- [11] Falter, B.; Grunwald, G.; Steffens, K.: Experimentelle Standsicherheitsuntersuchung an einem gemauerten Abwasserkanal mit Eiquerschnitt. Korrespondenz Abwasser 46 (1999) 258-266

- [12] Steffens, K. (Hrsg.): Entwicklung, Bau und Erprobung eines Belastungsfahrzeuges (BELFA). Kooperatives Forschungsprojekt 01RA 9901/0, gefördert durch das BMB+F. Abschlussbericht, Bezug durch Hochschule Bremen, Eigenverlag 2002
- [13] Amstutz, E.: Das Einbeulen von Schacht- und Stollenpanzerungen. Schweizerische Bauzeitung 87. Jg. H. 28 (1969) 541-549
- [14] Merkblatt RSV 1: Renovierung von drucklosen Abwasserkanälen und Rohrleitungen mit vor Ort härtendem Schlauchlining. Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung (02.2000)
- [15] Digitaler Schadenskatalog nach Merkblatt ATV-M 143-2 (08.01)
- [16] Merkblatt ATV-DVWK-M 143-xx (Entwurf): Prüfung und Beurteilung von Sanierungsverfahren für den Einsatz in Abwasserkanälen und -leitungen, Prüfkriterien und Prüfeempfehlungen.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Falter
Fachhochschule Münster, Fachbereich Bauingenieurwesen
Postfach 3020
48016 Münster
E-Mail: falter@fh-muenster.de

Dr.-Ing. Albert Hoch
Landesgewerbeanstalt Bayern, Institut für Baustatik
Tillystraße 2
90431 Nürnberg
E-Mail: ahoch@lga.de

Prof. D.-Ing. Volker Wagner
Fachhochschule Neubrandenburg, Fachbereich Bauingenieurwesen
Brodaer Str. 2
17033 Neubrandenburg
E-Mail: wagner@fh-nb.de