

Anmerkungen zu Spannungs- und Dehnungsnachweis bei Liningverfahren

Notes on stresses and strain analysis in lining-based repair methods

Von Dr. Heinz Doll und Markus Maletz

Der folgende Beitrag hat die Beurteilung der Tragfähigkeit von Linern (sowohl Close-Fit-Liner als auch Liner mit Ringraumverdümmung) zum Gegenstand. Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf dem Zusammenhang zwischen Dehnungs- und Spannungsnachweis sowie auf dem Tragfähigkeitsnachweis unter Verwendung der Ringsteifigkeit. Der Verformungsnachweis wird hier nicht näher betrachtet, da es sich dabei um keinen Tragfähigkeits- sondern um einen Gebrauchstauglichkeitsnachweis handelt. Zudem gibt die ATV M 127 Teil 2 [1] nur einen Anhaltswert, jedoch keinen Grenzwert der zulässigen Durchmesseränderung an. Dieser ($\Delta d_v = 10\%$, inkl. Imperfektionen) kann in begründeten Fällen (konsolidierte Verhältnisse) durchaus überschritten werden. Auf die statische Modellbildung, d. h. die Einstufung des vorhandenen Kanals, die Berücksichtigung von Imperfektionen, den Ansatz von Material- und Lastparametern sowie den iterativen Lösungsweg wird hier nicht im Detail eingegangen, da sie in der Literatur bereits ausführlich beschrieben sind.

This article focuses on the assessment of the load-bearing capacity of liners (both Close-Fit types and those with filled annular gaps). Primary attention is devoted to the correlation between analysis of stresses and strains and to verification of load-bearing capability on the basis of ring stiffness. Deformation is not examined here in detail, since this is a criterion of suitability for use rather than of load-bearing capacity. In addition, ATV M 127, Part 2 [1] provides a reference Fig., but not a limit for permissible change in diameter. This value ($Ddv = 10\%$, inc. imperfections) can perfectly well be exceeded in justified cases (consolidated conditions). Stress-analysis modeling, i.e., classification of the existing conduit, the inclusion of imperfections, material and load parameter concepts, and the iterative route to solutions, are not dealt with in detail, since they have already been adequately discussed in the technical literature.

Spannungs- / Dehnungsnachweis

Als Tragfähigkeitsnachweise sind bei Linern gem. ATV M 127 Teil 2 [1] der Spannungs- bzw. Dehnungsnachweis sowie der Stabilitätsnachweis zu führen. Der Spannungsnachweis wird durch Vergleich der unter Gebrauchslast berechneten Beanspruchung max. σ_z bzw. max. σ_D mit der Festigkeit σ_R , der Dehnungsnachweis durch die Gegenüberstellung von Randfaserdehnung max. ε und Bruchdehnung ε_R geführt. In dem ATV-Merkblatt M 127 Teil 2 [1] wie auch in [3] wird davon ausgegangen, dass Spannungs- und Dehnungswerte über das Hooke'sche Gesetz miteinander verknüpft sind (siehe Gleichung 1).

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

(1)

σ = Spannung

E = Elastizitätsmodul

ε = Dehnung

Die Voraussetzung für die Gültigkeit dieser Beziehung ist linear-elastisches Materialverhalten in dem für die konkrete Problemstellung relevanten Spannungs- / Dehnungsbereich. Die ausreichende Tragfähigkeit ist dann nachgewiesen, wenn die vorhandene Sicherheit vorh. $\gamma = \sigma / \sigma_R$ bzw. vorh. $\gamma = \varepsilon / \varepsilon_R$ größer oder gleich 2,0 beträgt. Für die Einwirkung von Erd- und Verkehrslasten (Altrohrzustand III) wird in [1] zwar ein Wert von erf. $\gamma = 1,5$ angegeben, die vorliegenden DIBt-Zulassungen fordern jedoch eine Sicherheit von 2,0 (in einigen Fällen auch höhere Werte). In der Folge wird einheitlich von einem erforderlichen Sicherheitsbeiwert von 2,0 ausgegangen. Die

in dem Liner auftretenden Spannungen liefert die statische Berechnung an einem Stabwerks- oder auch Scheibenmodell. Die zugehörigen Dehnungen können bei Einhaltung der genannten Anwendungsvoraussetzung (linear-elastisches Materialverhalten) leicht durch Gleichung 1 ermittelt werden.

Im Folgenden soll insbesondere auf die Ermittlung der Grenzdehnung und den Dehnungsnachweis eingegangen werden: Nach Einführung der ATV-Merkblatt M 127, Teil 2 [1] im Januar 2000 wurde in der Regel allein der Spannungs- nicht aber der Dehnungsnachweis geführt. Dies änderte sich für den Werkstoff GfK durch einen Beitrag von Falter, Hoch, Wagner in der Korrespondenz Abwasser [3]. In diesem, im Jahr 2003 erschienen Artikel, wird an einem Beispiel die Grenzdehnungsermittlung auf der Grundlage der ATV-DVWK-A 127 [2] dargestellt. Die Randfaserdehnung ε_R kann demnach gem. ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 127 [2] für Rohre aus GfK wie folgt berechnet werden:

$$\varepsilon_R = \pm 4 \cdot \frac{s}{d_m} \cdot \frac{\Delta d_{\text{Bruch}}}{d_m} \quad (2)$$

ε_R = Rechenwert der Randfaserdehnung

s = Rohrwanddicke

d_m = mittlerer Rohrdurchmesser

$\frac{\Delta d_{\text{Bruch}}}{d_m}$ = rel. Bruchverformung gem. prEN 1636

Der Rechenwert der relativen Bruchverformungen $\Delta d_{\text{Bruch}}/d_m$ wie auch der Ringsteifigkeiten S_0 kann aus **Tabelle 1** in Abhängigkeit von der Nennsteifigkeit entnommen werden.

Unterschiede zwischen Spannungs- und Dehnungsnachweis

Die Konsequenzen aus der Anwendung der in Tabelle 1 dokumentierten Kennwerte sollen im Folgenden diskutiert und an Beispielen verdeutlicht werden: Der Rechenwert S_0 der Ringsteifigkeit ergibt sich gem. [2] zu

$$S_0 = \frac{E_R \cdot I}{d_m^3} = 8 \cdot \frac{E_R \cdot I}{r_m^3} = 8 \cdot S_R \quad (3)$$

Tab. 1: Ringsteifigkeit und rel. Bruchverformung in Abhängigkeit von der Nennsteifigkeit

Table 1: Ring stiffness and relative fracture strain as a function of nominal stiffness

| Nennsteifigkeit | Rechenwerte der Ringsteifigkeit S_0 [N/mm ²] | | Rechenwerte der relativen Bruchverformung $\Delta d_{\text{Bruch}}/d_m$ [%] | |
|-----------------|--|------------|---|------------|
| | kurzzeitig | langzeitig | kurzzeitig | langzeitig |
| SN 1250 | 1250 | 625 | 30 | 18 |
| SN 2500 | 2500 | 1250 | 25 | 15 |
| SN 5000 | 5000 | 2500 | 20 | 12 |
| SN 10000 | 10000 | 5000 | 15 | 9 |

Tab. 2: Abminderungsfaktoren im Widerspruch zu den Angaben in DIBt-Zulassungen für einige der gebräuchlichsten GfK-Liner

Table 2: Reduction factors contradicting the data in DIBt approvals for a number of the most widely used GRP liners

| | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Saertex-M-Liner: A = 1,80 [4] | $E_K = 7000 \text{ N/mm}^2$ | $\sigma_K = 200 \text{ N/mm}^2$ |
| | $E_L = 3800 \text{ N/mm}^2$ | $\sigma_L = 110 \text{ N/mm}^2$ |
| | erf. $s_L = 6,15 \text{ mm}$ (DIBt) | |
| | erf. $s_L = 6,32 \text{ mm}$ (ATV) | |
| Saertex-S-Liner: A = 1,35 [4] | $E_K = 12000 \text{ N/mm}^2$ | $\sigma_K = 350 \text{ N/mm}^2$ |
| | $E_L = 8800 \text{ N/mm}^2$ | $\sigma_L = 255 \text{ N/mm}^2$ |
| | erf. $s_L = 4,6 \text{ mm}$ (DIBt) | |
| | erf. $s_L = 5,2 \text{ mm}$ (ATV) | |
| iMPREG-Liner: A = 1,50 [5] | $E_K = 9500 \text{ N/mm}^2$ | $\sigma_K = 180 \text{ N/mm}^2$ |
| | $E_L = 6300 \text{ N/mm}^2$ | $\sigma_L = 120 \text{ N/mm}^2$ |
| | erf. $s_L = 5,1 \text{ mm}$ (DIBt) | |
| | erf. $s_L = 5,6 \text{ mm}$ (ATV) | |

D. h., neben den reinen Geometrie Kennwerten I (Trägheitsmoment) und d_m (mittlerer Linderdurchmesser) ist er allein vom E-Modul des Linermaterials abhängig. Aus den in Tabelle 1 aufgeführten Kurzzeit- und Langzeitkennwerten ergeben sich somit die Abminderungsfaktoren $A_1 = 2,0$ für den E-Modul und $A_2 = 1,66$ für die Bruchdehnung und somit auch für die Bruchspannung. Die Zusammenstellung von Materialkennwerten für einige der gebräuchlichsten GfK-Liner in **Tabelle 2** zeigt, dass diese Abminderungsfaktoren im Widerspruch zu den Angaben in DIBt-Zulassungen [4, 5] stehen.

Am Beispiel eines GfK-Schlauchliners DN 600 wurden für die aufgeführten Linertypen die erforderlichen Mindestwanddicken unter Ansatz eines Grundwasserstandes von 3,0 m über Sohle, sowie der Mindestimperfectionen gem. [1] ermittelt. Dabei wurden alternativ die Abminderungsfaktoren gem. DIBt-Zulassungen und gem. Tabelle 1 berücksichtigt. Der Vergleich ergab bei Berücksichtigung der ATV-Werte eine Wanddickenerhöhung um 2,76 % (Saertex-M-Liner), um 13 % (Saertex-S-Liner) bzw. um 9,8 % (iMPREG-Liner) gegenüber der Nachweisführung unter Zugrundelegung der

DIBt-Zulassungen. Anwendung der Tabelle 1 führt also im Vergleich zur Anwendung der DIBt-Zulassungen allein durch den Ansatz geringerer Langzeit-E-Moduli zu konservativen aber auch zu unwirtschaftlichen Ergebnissen.

Ein zweiter, wesentlicher Unterschied zwischen Spannungs- (DIBt) und Dehnungskriterium (ATV) liegt in der Definition der Grenzwerte. Die in Tabelle 1 aufgeführten relativen Bruchverformungen sind offensichtlich aus den Prüfnormen für geschleuderte wie auch gewickelte GfK-Rohre entnommen [6, 7, 8]. Dabei wird das Kriterium B, kein Versagen durch Delamination oder Faserbruch, zugrunde gelegt. Es handelt sich gem. [6, 7 und 8] um Mindestwerte, die im Kurzzeit-Scheiteldruckversuch erreicht werden müssen. In der praktischen Umsetzung bedeutet dies, dass die Versuche lediglich bis zu dem entsprechenden Verformungskriterium, nicht jedoch bis zu dem Versagenskriterium gefahren werden. Die Vertikalverformung von 25 % kann z. B. an einem Rohr der Steifigkeitsklasse SN 2500 gemessen werden, das Erreichen des definierten Grenzwertes B kann jedoch unabhängig davon erst bei einer deutlich höheren Deformation erfolgen. Letzteres betrifft in

erster Linie hochfeste Materialien. Im Gegensatz zu den Dehnungsgrenzwerten liegen den Spannungsgrenzwerten der DIBt-Zulassungen in Dreipunktbiegeversuchen ermittelte Bruchwerte zugrunde. Die Auswirkungen werden am Beispiel eines Saertex-S-Liners verdeutlicht:

- Bruchspannung gem. [2]:
 - Linertyp: Saertex-S-Liner, DN 600, $s_L = 8,88 \text{ mm}$
 - Gl. 3: SN 2500
 - Tab. 1: $\Delta d_{\text{Bruch}}/d_m = 15 \%$
 - Gl. 2: $\epsilon_R = 0,9 \%$
 - Gl. 1: $\sigma_{BR} = 54 \text{ N/mm}^2$
- Bruchspannung gem. [4]:
 - $\sigma_{BR} = 255 \text{ N/mm}^2$

Die Anwendung der DIBt Zulassung [4] ergibt somit den 4,72-fachen langzeitigen Bruchspannungskennwert im Vergleich zur ATV-DVWK A127 [2]. Diese Diskrepanz kann insbesondere dann zu einem deutlichen Unterschied in der erforderlichen Rohrwanddicke und somit ggf. zu einer unwirtschaftlichen Bemessung führen, wenn der Spannungsnachweis für die Linertragfähigkeit maßgebend ist.

Statische Dimensionierung unter Verwendung der Ringsteifigkeit

In der jüngsten Vergangenheit wird zunehmend die Auslegung von Linern (Close-Fit-Verfahren wie auch verdämmte Verfahren) auf der Grundlage einzuhaltender Mindestringsteifigkeiten gefordert. Im Folgenden wird aufgezeigt, dass diese Vorgehensweise nur für einen begrenzten Bereich von Linergeometrien und Beanspruchungstypen zutreffend ist.

Bei Altrohrzustand I und II ergibt sich die kritische Beullast aus Gl. 4.

$$\begin{aligned}
 \text{krit.p} &= \alpha_D \cdot \kappa_{v,s} \cdot S_R \\
 &= 2,62 \cdot \left(\frac{r_L}{s_L}\right)^{0,8} \cdot \kappa_{v,s} \cdot \frac{E_L}{12} \cdot \left(\frac{s_L}{r_L}\right)^3 \quad (4)
 \end{aligned}$$

Es können somit relativ leicht Tabellen aufgestellt werden, die die erforderliche Ringsteifigkeit in Abhängigkeit vom Grundwasserstand darstellen. Da die Kennwerte α_D und $\kappa_{v,s}$ jedoch nichtlinear von r_L/s_L abhängen, handelt es sich hierbei um eine auf Vergleichsrechnungen basierende Näherung, die jedoch die exakte Lösung recht gut beschreibt. Die Anwendbarkeit beschränkt sich auf Kreisprofile, da für andere Querschnittsgeometrien keine Ringsteifigkeit definiert ist. Ferner ist eine derartige Vorgehensweise auf die Altrohrzustände I und II begrenzt, da in diesen Fällen allein die Wasseraußendruckbelastung betrachtet wird. Weitere Deformationen des Rohrquerschnitts, z. B. durch Zwang, sind ausgeschlossen. Unter den genannten Voraussetzungen wird der Stabilitätsnachweis (entweder elastisches Durchschlagen oder aber die Überschreitung der Materialfestigkeit bei γ -facher Last) bemessungsmaßgebend. Eine Vergrößerung der Linersteifigkeit bewirkt

somit auch eine Erhöhung der Tragfähigkeit. Die Vorstellung, dass dies grundsätzlich so ist, die sich in der Forderung nach einer Mindestringsteifigkeit, z. B. in DIBt-Zulassungen niederschlägt, ist jedoch nicht zutreffend, wie die Betrachtung des einfachen Beispiels eines Balkens auf zwei Stützen mit Einzellast in der Feldmitte zeigt. Es wird von einer Zwangsverformung, resultierend aus einer Einzellast in Feldmitte ausgegangen. Unter Voraussetzung eines Rechteckquerschnittes werden für gleiche Durchbiegungen und gleiche Materialeigenschaften die auftretenden Spannungen und Dehnungen berechnet:

Die Durchbiegung in Feldmitte (**Bild 1**) des Trägers ergibt sich für zwei unterschiedliche Trägersteifigkeiten zu

$$w_{1,Mitte} = \frac{F_1 \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_1^3} \quad \text{bzw.} \quad w_{2,Mitte} = \frac{F_2 \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_2^3}$$

mit

$$I_1 = \frac{b \cdot h_1^3}{12} \quad \text{bzw.} \quad I_2 = \frac{b \cdot h_2^3}{12}$$

und

$$w_{1,Mitte} = w_{2,Mitte}$$

daraus folgt

$$\frac{F_1}{h_1^3} = \frac{F_2}{h_2^3}$$

Die maximalen Momente in Feldmitte resultieren zu

$$M_1 = \frac{F_1 \cdot l}{4} \quad \text{bzw.} \quad M_2 = \frac{F_2 \cdot l}{4}$$

mit

$$M_1 = \sigma_1 \cdot W_1 \quad \text{bzw.} \quad M_2 = \sigma_2 \cdot W_2$$

und

$$W_1 = \frac{b \cdot h_1^2}{6} \quad \text{bzw.} \quad W_2 = \frac{b \cdot h_2^2}{6}$$

daraus folgt

$$\sigma_1 = \sigma_2 \cdot \frac{h_1}{h_2}$$

Durch Anwendung des Hooke'schen Gesetzes ergibt sich die analoge Beziehung für die Dehnungen:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 \cdot \frac{h_1}{h_2}$$

D. h., dass bei dem hier betrachteten Beispiel die Spannungen und die Dehnungen unter Voraussetzung der Gültigkeit des Hooke'schen Gesetzes, geometrischer Linearität (kleine Deformationen) sowie des Ebenbleibens der Querschnitte am verformten Balken (Bernoulli-Hypothese) linear mit dem Verhältnis der Trägerhöhe zu- oder abnehmen. Eine Verdoppelung der Steifigkeit bewirkt also eine Halbierung der Sicherheit gegen Spannungsversagen. Derartige Zwangsbeanspruchungen, bei denen Steifigkeitserhöhungen zur Abminderung der Tragfähigkeit führen, liegen

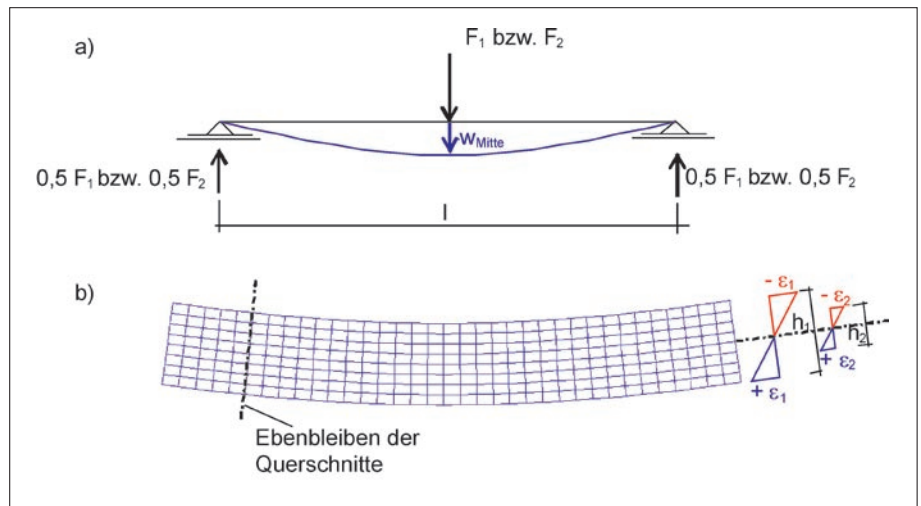


Bild 1: a) Belastung und Biegelinie eines Trägers auf zwei Stützen unter Einzellast; b) Verformungen in Trägermitte, Dehnungen in Trägermitte

Fig. 1: a) Loading and deflection curve for a beam on two supports under exposure to a single load; b) deformations at the beam mid-point, strains at this point

Bild 2: Momentenbeiwerte in Abhängigkeit von der Vertikalast (entnommen aus [1])
Fig. 2: Moment coefficients as a function of vertical load (taken from [1])

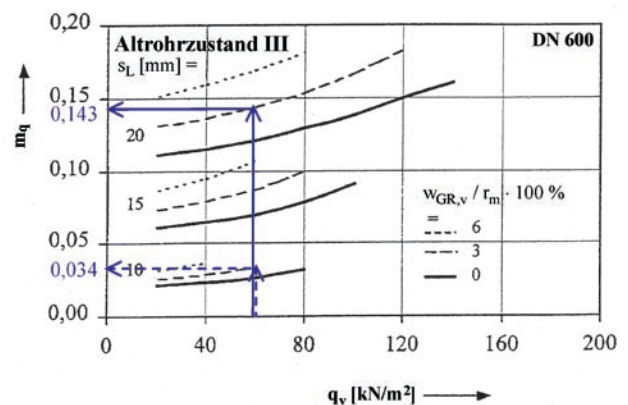


Diagramm A5.1/6: Biegemomentenbeiwerte m_q für Liner unter Erd- und Verkehrslasten q_v , Altrohr DN 600; Zustand III; Liner $E_L = 2000 \text{ N/mm}^2$; Boden $S_{Bh} = 2,5 \text{ N/mm}^2$

vor, wenn trotz Altrohrzustand II mit nachträglichen lokalen Deformationen zu rechnen ist, wenn die Bildung von Setzungsmulden z. B. durch nachträgliche Vergrößerung der Überdeckungshöhe oder höhere Verkehrslasten eintreten kann, wenn Temperaturbeanspruchungen auftreten und insbesondere wenn Altrohrzustand III vorliegt. Vor allem, dass es sich auch bei der Beanspruchung des Liners durch Erd- und Verkehrslasten (Altrohrzustand III) in erster Linie um eine solche Zwangsverformung handelt, ist weitgehend nicht bekannt.

Bild 2, entnommen aus dem ATV M127 Teil 2 [1], zeigt den Zusammenhang zwischen Momentenbeiwert und Vertikalbelastung am Beispiel eines Liners DN 600. Es werden die beiden Linerwanddicken $s_L = 10 \text{ mm}$ und $s_L = 20 \text{ mm}$ unter Einwirkung einer Last $q_v = 60 \text{ kN/m}^2$ verglichen:

$$s_L = 10 \text{ mm: } m_q = 0,034$$

$$M_q = m_q \cdot q_v \cdot r_L^2$$

$$\sigma_q = \frac{M_q}{W} = \frac{m_q \cdot q_v \cdot r_L^2 \cdot 6}{s_L^2} = \frac{0,034 \cdot 0,06 \cdot 295^2 \cdot 6}{10^2} = 10,65 \text{ N/mm}^2$$

$$s_L = 20 \text{ mm: } m_q = 0,143$$

$$M_q = m_q \cdot q_v \cdot r_L^2$$

$$\sigma_q = \frac{M_q}{W} = \frac{m_q \cdot q_v \cdot r_L^2 \cdot 6}{s_L^2} = \frac{0,143 \cdot 0,06 \cdot 290^2 \cdot 6}{20^2} = 10,82 \text{ N/mm}^2$$

Trotz Verdopplung der Wanddicke ergibt die Berechnung nach [1] nahezu identische

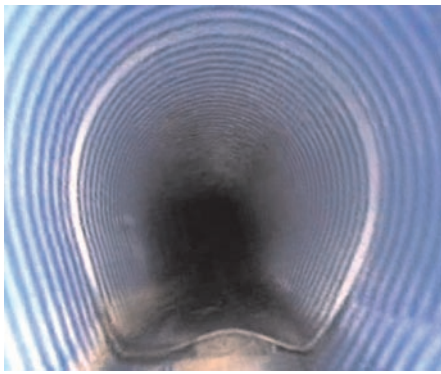


Bild 3: Querschnittsdeformationen der vorhandenen Rohrleitung vor der Sanierung, BV Waiblingen
Fig. 3: Cross-sectional deformations in the existing pipeline prior to refurbishing, BV Waiblingen

Spannungen (die Beanspruchungen aus Druckkräften wurden vernachlässigt, da sie unerheblich sind) und nicht, wie erwartet, eine Halbierung der Beanspruchungen. Schon diese ATV-Berechnung unter Voraussetzung eines materiell linearen Baugrundverhaltens zeigt somit bereits einen erheblichen Anteil an Zwangsbeanspruchungen. In den Unterlagen [9] und [10] wurde sowohl experimentell als auch analytisch nachgewiesen, dass bei Berücksichtigung der tatsächlichen materiellen Nichtlinearität des Bodens (Steifigkeit nimmt mit dem Erddruck zu) nahezu allein Zwangskräfte in dem Liner auftreten. Analog zu dem Beispiel des Biegebalkens ergibt hier eine Wanddickenverdopplung auch eine Verdopplung der Materialbeanspruchung.

An den folgenden zwei Beispielen soll schließlich aufgezeigt werden, inwiefern die Querschnittsgeometrie ein Ausschlusskriterium

für eine statisch Nachweisführung unter Verwendung eines Ersatzkreises und somit einer Ersatzringsteifigkeit darstellt.

Beispiel 1

In der Stadt Waiblingen, Ortsteil Beinstein erfolgte die Nutzungsänderung eines Regenwasserkanals DN 250, um mehrere Gebäude durch eine Mischwasserentsorgung zu erschließen. Hierzu wurde vom zuständigen Tiefbauamt der Plan entwickelt, vorhandene, geschlitzte Kunststoffrohre (mit Fuß) mit Hilfe eines Schlauchliners zu renovieren und somit abzudichten. Aufwändige Grabarbeiten in offener Bauweise konnten somit entfallen. Die vorhandene Rohrleitung wurde auf der Grundlage einer TV-Befahrung in Altrohrzustand I gem. ATV-Merkblatt M 127 Teil 2 [1] eingestuft. D. h., da kein Grundwasser ansteht, erfolgte die statische Dimensionierung des Schlauchliners allein für die langzeitige Einwirkung des Mindestaußenwasserdruckes von 1,5 m über Sohle. **Bild 3** zeigt an einigen Stellen die Deformation der Sohle nach oben, so dass vermutet wurde, dass an diesen Stellen auch ein Einbeulen des Liners auftreten könne. Da es sich hier wegen der horizontalen Sohlgestaltung um ein Sonderprofil handelt, ist keine Berechnung mit Hilfe der in [1] angegebenen Beziehungen möglich. Eine Berechnung mit Hilfe eines Ersatzkreises scheidet aus dem gleichen Grund aus. Wegen des scharfkantigen Überganges zwischen Sohle und Gewölbe liegt der Verdacht nahe, dass in erster Linie die Materialbeanspruchungen für die Bemessung maßgebend werden. Die statische Berechnung erfolgte mit Hilfe eines ebenen FE-Modells, das die tatsächliche Altrohrgeometrie, auch die Sohlaufwölbung, berücksichtigt. Auf eine Ausrundung im Eckbereich zwischen Sohle und Gewölbe wurde

verzichtet, da der Schlauch bei den geplanten SDR-Werten erfahrungsgemäß auch in diesen Bereichen anliegt. Der Liner wurde mit Hilfe von Scheibenelementen diskretisiert, ferner wurde die Lineroberfläche druckstarr gebettet. Da es sich um ein Stabilitätsproblem handelt, erfolgte eine geometrisch nichtlineare Berechnung, in deren Rahmen die Belastung iterativ bis zur doppelten Gebrauchslast gesteigert wurde. **Bild 4** bestätigt die Vermutung, dass die lokalen Spannungsspitzen im Eckbereich für die Bemessung maßgebend werden und dass somit die hier durchgeführte, exakte Berechnung angebracht ist.

Beispiel 2

Eine ähnliche Problemstellung trat in der Stadt Bamberg auf, als ein Eiprofil 1100/1650 wegen einer geplanten Baumaßnahme in der Höhe auf 1350 mm reduziert werden musste. Diese Profilverkleinerung wurde durch Abtrag des entsprechenden Scheitelbereiches und Anordnung einer Stahlbetonplatte realisiert. Nach Fertigstellung der Baumaßnahme wurden leichte Rissbildungen sowie Undichtigkeiten und Inkrustationen festgestellt, worauf der Einbau eines Schlauchliners, bemessen für Altrohrzustand II durchgeführt wurde. Die Abbildung des statischen Systems erfolgte analog zum ersten Beispiel mit Hilfe eines FE-Modells. **Bild 5** zeigt die 1. Hauptspannung unter Einwirkung der doppelten Gebrauchslast. Die maximalen Spannungen in der Mitte und an den Rändern des Scheitelbereiches zeigen, dass es sich hier nicht um ein Stabilitäts-, sondern um ein Biegeproblem handelt. Der ebene Scheitelbereich verhält sich ähnlich wie eine beidseits eingespannte Platte. Auch hier ist somit die möglichst zutreffende Abbildung der tatsächlichen Geometrie erforderlich.

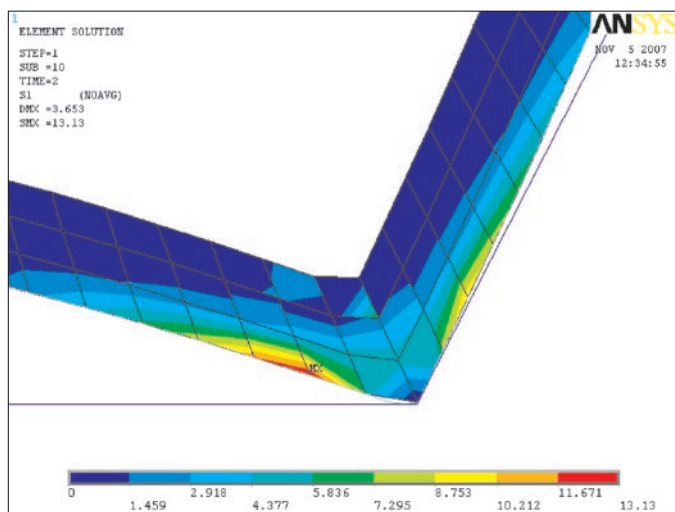


Bild 4: 1. Hauptspannung [N/mm²] im Eckbereich unter Einwirkung der doppelten Gebrauchslast, BV Waiblingen
Fig. 4: 1st principal stress [N/mm²] in the corner zone under exposure to twice the service load, BV Waiblingen

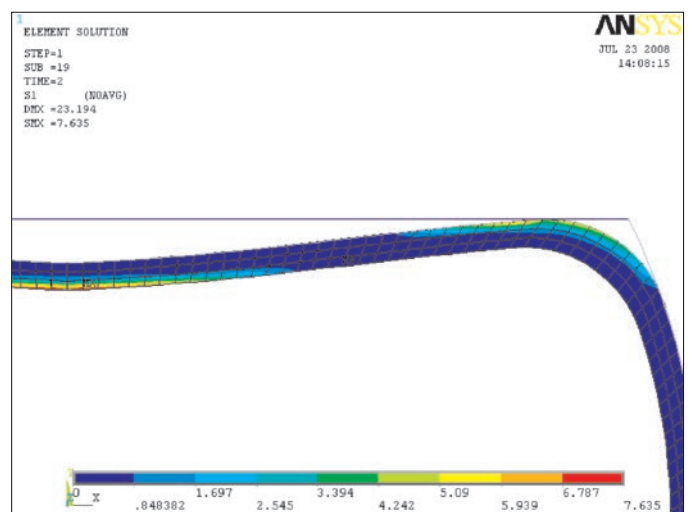


Bild 5: 1. Hauptspannung [N/mm²] im Scheitel und im Eckbereich unter Einwirkung der doppelten Gebrauchslast, BV Bamberg
Fig. 5: 1st principal stress [N/mm²] in the crown and corner zone under exposure to twice the service load, BV Bamberg

Eine Bemessung mittels Ringsteifigkeit oder Ersatzkreis scheidet aus.

Zusammenfassung

Die wesentlichen Differenzen zwischen den beiden von der ATV und dem DIBt erarbeiteten Bemessungsmodellen die Standsicherheitsnachweise von Liningmaßnahmen betreffend wurden aufgezeigt: So werden bei Altrohrzustand III unterschiedliche Sicherheitsbeiwerte gefordert (ATV: 1,5; DIBt: i.d.R. 2,0). Die beiden Bemessungskonzepte arbeiten mit verschiedenen Abminderungsfaktoren für die Berücksichtigung des Langzeitverhaltens. Schließlich führt ein Nachweis gegen Erreichen der Grenzdehnung gem. ATV zu erheblich niedrigeren Bruchspannungen als in den DIBt-Zulassungen dokumentiert. Die aufgeführten Unterschiede können zu unwirtschaftlichen Lösungen führen. Die Vorgabe von Mindestringsteifigkeiten kann insbesondere bei Altrohrzustand III Lösungen auf der unsicheren Seite zur Folge haben, da hier eine Zwangsproblematik vorliegt. Schwierigkeiten können insbesondere dann auftreten, wenn in der Ausschreibung beide Nachweismodelle gefordert werden, da ihre Anwendung auf das gleiche Problem zu widersprüchlichen Ergebnissen führen kann.

Literatur

- [1] ATV-Merkblatt M 127, Teil 2 „Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen mit Lining- und Montageverfahren“ (2000-01)
- [2] ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 127 „Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen“ (2000-08)
- [3] Falter, B.; Hoch, A.; Wagner, V.: Hinweise und Kommentare Anwendung des Merkblattes ATV-DVWK-M 127-2 für die statische Berechnung von Linern; KA-Abwasser, Abfall 50 (2003) Nr. 4, S. 451-463
- [4] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-42.3-350 vom 11. September 2007
- [5] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-42.3-365 vom 07. Mai 2007
- [6] DIN 19565, Teil 1 „Rohre und Formstücke aus glasfaserverstärktem Polyesterharz (UP-GF) für erdverlegte Abwasserkanäle und Leitungen; geschleudert, gefüllt“ (1989-03)
- [7] DIN 16869, Teil 2 „Rohre aus glasfaserverstärktem Polyesterharz (UP-GF), geschleudert, gefüllt, Teil 2: Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung“ (1995-12)
- [8] DIN 16868, Teil 2 „Rohre aus glasfaserverstärktem Polyesterharz (UP-GF), Teil 2, gewickelt, gefüllt, Allgemeine Güteanforderungen“ (1994-11)
- [9] Doll, H.: Dimensionierung von Kunststofflinern, Close-Fit-Verfahren. Mitteilungen des Instituts für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau, Universität Hannover, Heft 59, 2001
- [10] Achmus, M.; Doll, H.: Zur Berücksichtigung der Bodensteifigkeit bei der Bemessung von Linern und biegeweichen Rohren; Bautechnik 80 (2003) Nr. 12

Autoren:

Dr.-Ing. Heinz Doll
LGA Bautechnik GmbH, Nürnberg



Tel. +49(0)911/6554846
E-Mail: heinz.doll@lga.de

Dipl.-Ing. Markus Maletz
Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH, Röthenbach

