

# Schlauchlining im Grenzbereich – große Deformationen

Vortragender | Autor: DI Markus Maletz

Schlauchliner in Rohren, die nach dem DWA-Arbeitsblatt A143-2 in den Altrohrzustand III eingeteilt werden, gibt es zahlreich. Aber was tun, wenn der Kanal Deformationen  $\omega_{Gr,v} \geq 8-10\%$  aufweist und auch noch unter Bereichen liegt, die tunlichst nicht aufgedrungen werden sollen? Hier sind schon viele Planer „auf der Stelle getreten“ und die Lösung waren dann teure Vortriebe oder Neuverlegungen in alternativen Kanaltrassen. Manchmal lohnt es sich jedoch, einen Fachplaner (Statiker, Geotechniker) mit einzuschalten, der die Ist-Situation exakt beurteilt und dann eine Lösung mit ausarbeitet. Abseits von Normen und Arbeitsblättern kann hier ggf. ein Ergebnis gefunden werden, das den Netzbetreibern Zeit verschafft, um den bestehenden Kanal eine gewisse Zeit lang noch sicher in Betrieb zu halten.

## 1. Schlauchlining – eine Erfolgsstory

Als 1971 der englische Ingenieur Eric Wood († 1994) ein Schlauchverfahren zur Renovation von Rohren entwickelte, dachte er sicherlich nicht daran, dass diese sogenannten Schlauchliner einmal ein Standardverfahren zum Erhalt unserer Infrastruktur werden. Von dem ersten, mit Schlauchliner sanierten Kanal („Viktorianisches Eiprofil“) unter der Themse in London, Borough of Hackney wurden im Laufe der Jahre mehrmals Probestücke entnommen und geprüft. Selbst mit den damaligen Harzmischungen und Trägermaterialien wurde ein Rohr im Rohr hergestellt, welches heute noch den Anforderungen eines dichten, tragfähigen und betriebstauglichen Kanals genügt.



**Bild 1: Probestück – ältester Liner der Welt nach 25 a in Betrieb**

Die Schlauchliningverfahren, sind mittlerweile die erfolgreichsten, d. h. am häufigsten angewandten Renovierungsverfahren im drucklosen Bereich. Ursachen hierfür dürften – neben den Erfahrungen mit dieser Verfahrensfamilie – auch die Vielfältigkeit der Einsatzmöglichkeit derselben sein. Schlauchliningverfahren sind die einzigen tatsächlich „formschlüssigen“ Renovierungsverfahren, die – richtig eingebaut – eng, d. h. ohne erkennbaren Ringspalt, in den unterschiedlichen Profilen wie Kreis-, Ei-, Oval- und Rechteckprofilen, an der Wand des Altrohres anliegen und das ursprüngliche Profil, das häufig aus hydraulischen Gründen nicht aufgegeben werden soll, auch nach einer Sanierung weiter beibehalten. Auch die Einsatzmöglichkeit – in Abhängigkeit der Verfahren – in Dimensionen von DN 100 bis zum Teil > DN 2000 zeigt die Universalität dieser Verfahrenstechniken.

Bei den Schlauchliningverfahren handelt es sich um ein sogenanntes „örtlich hergestelltes und erhärtendes Rohr“ (englisch: **CIPP = Cured In Place Pipe**), zumindest bestehend aus einem Schlauch bzw. Schlauchträger und einem Reaktionsharz, wahlweise mit einer Innen- und/oder Außenfolie (oder Pre-Liner) versehen und – vor allem bei den größeren Dimensionen mit „inerten“ (d.h. die Harzqualität z.B. bezüglich chemischer oder thermischer Resistenz nicht beeinflussende) Zusatzstoffen im Harzsystem gefüllt. Es wird im überwiegenden Fall UP-Harz, in Einzelfällen auch EP- oder VE-Harz eingesetzt.

Annahmen bzw. Voraussetzungen für den Einsatz von Schlauchlining sind:

- hydraulisch ausreichender Querschnitt vor der Sanierung;
- Vorhandensein des Gewölbes (Kreis- oder sonstiges Profil);
- Verformung  $\leq 6-8\%$  (Ovalisierung);
- thermische und chemische Resistenz des ausgewählten Harzsystems;

## 2. Statische Berechnung nach DWA-A 143-2

Vor Erscheinen des Merkblattes M 127-2 der DWA (= Vorgänger des A 143-2) wurden die statischen Bemessungen der Liner mangels fehlender Vorschrift in Anlehnung an das ATV-DVWK Arbeitsblatt A 127 durchgeführt. Diese Vorgehensweise lag auf der sicheren Seite, obwohl dieses Papier eigentlich nur für die Neuverlegung von Kanälen und Leitungen gedacht war. Grundsätzlich unterschied man die Berechnungen nach Altrohr *nicht standsicher* und Altrohr *standsicher*.

Unter der Annahme eines konsolidierten Bodens ( $E_1 = E_2 = E_3 = E_4$ ) sowie Vereinfachungen, z. B. bei der Reibung an den Grabenwänden, wurde zum einen der Liner auf Wasserdruck (Beulnachweis) und zum anderen auch mit Erd-, Verkehrs- und sonstigen statischen Oberflächenlasten belastet (z. B. Behälter, Fundamente, Becken).

Erste Überlegungen der DWA gingen bereits 1993 dahin, dass das System eines beschädigten Rohres im umgebenden Boden sich grundsätzlich zum bisher verwendeten Modell unterscheidet. Im September 1999 hat die (ehem.) Arbeitsgruppe 1.2.3 der DWA ihre letzte Sitzung vor Erscheinen des neuen Merkblattes abgehalten und dort noch einige wenige Einsprüche von Firmen behandelt. Im Januar 2000 ist dann das neue Merkblatt M 127-2 erschienen, womit die damalige „Grauzone“ der A 127 Berechnung für Liner-Sanierungen beseitigt wurde.

Durch verschiedene Forschungsvorhaben sowie theoretische Annahmen, aber auch Praxisversuchen, wurde eine Berechnungsmethodik entwickelt, die u. a. durch die Überprüfung mittels numerischer Methoden (Finite Elemente Methode = FEM) bestätigt worden ist.

Nach über 13-jährigem Einsatz wurde das Merkblatt durch die Arbeitsgruppe ES 8.16 der DWA überarbeitet und mit Datum Juli 2015 nun als Arbeitsblatt A 143, Teil 2 veröffentlicht.

## 2.1. Altrohrzustände I bis III

Wie bereits in der Einleitung beschrieben, hat sich seit 1993 ein Modell entwickelt, welches das alte System *nicht standsicher* bzw. *standsicher* abgelöst hat. Man hat erkannt, dass Rohre, die bereits seit Jahren im Erdreich vergraben und deren Setzungen abgeklungen sind, weiterhin eine tragende Funktion haben – auch wenn bereits Rissbildungen eingetreten sind. Es haben sich drei *maßgebende* Altrohrzustände entwickelt, die die Einbausituation für nahezu alle Fälle beschreiben können:

- Altrohrzustand I
- Altrohrzustand II
- Altrohrzustand III.

Im **Altrohrzustand I** ist das Altrohr allein tragfähig und weist nur Undichtigkeiten in den Rohrverbindungen auf. Leichte Haarrisse (Querrisse) in der Wandung sind zulässig. Die Erd- und Verkehrslasten werden weiterhin vollständig vom Altrohr übernommen. Ein Liner wird ausschließlich auf Grundwasserdruck bemessen (Angabe über Sohle).

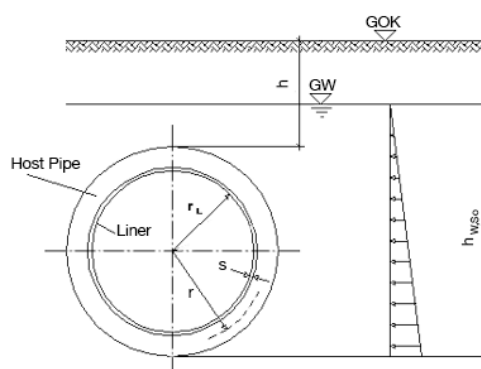
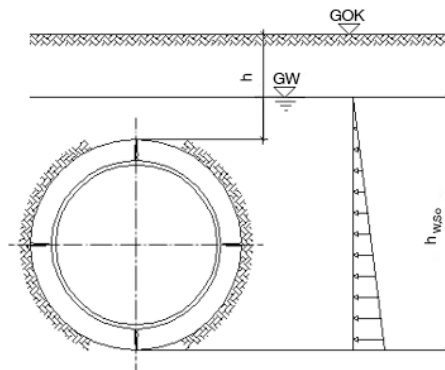


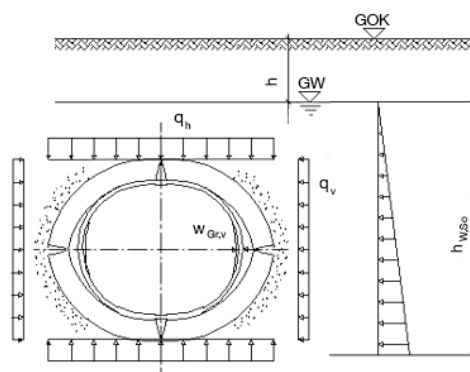
Bild 2: Altrohrzustand I

Im **Altrohrzustand II** wird davon ausgegangen, dass selbst bei einem gerissenen Rohr, welches auch leichte Deformationen aufweisen kann, sich die sog. „Gewölbewirkung“ des umgebenden Bodens eingestellt hat. Bei einer intakten Bettung aktiviert eine leichte Deformation (die auf eine Rissbildung folgt) den sog. Bettungsreaktionsdruck, so dass das sogenannte „Altrohr-Boden-System“ die Erd- und Verkehrslasten übernimmt. Wie im Zustand I ist hier der Liner lediglich auf Grundwasserdruck zu bemessen, da nur verhindert werden muss, dass die Bettung durch Ex- und/oder Infiltration in Mitleidenschaft gezogen wird.



**Bild 3: Altrohrzustand II**

Der **Altrohrzustand III** zeichnet sich dadurch aus, dass der vorhandene Kanal bzw. das Rohr-Boden-System auf längere Sicht nicht mehr allein tragfähig sind. Der Liner muss daher zusätzlich zu der ggf. vorhandenen Wasserbelastung noch die Erd- und Verkehrslasten mittragen; dies kann (muss aber nicht) zu dickeren Linern führen, als in den beiden vorgenannten Fällen. Im Zustand III muss die Übertragung der Druckkräfte im Altrohr gewährleistet sein. Evtl. können hier die Ergebnisse aus der mechanischen Prüfung von Bohrkernen herangezogen werden.



**Bild 4: Altrohrzustand III**



### 2.3. Grenzwerte

Das DWA Arbeitsblatt A 143-2 unterscheidet bei der Berechnung der Deformationen grundsätzlich in:

- Ö spannungslose Vorverformungen
- Ö elastische Verformungen (aus Belastung).

Die Vorverformungen ohne Spannung werden als Imperfektionen bezeichnet und sind u. a. in Abhängigkeit der Geometrie geregelt.

Die örtlich begrenzte Vorverformung bei *Kreisprofilen* im Zustand I und II besteht aus zwei Teilen, einer

- Ö strukturellen Imperfektion (0,5 % von  $r_L$ ) und einer
- Ö geometrischen Imperfektion (1,5 % von  $r_L$ ).

Der geometrische Anteil kann bei exakten Messungen (Kalibrierung) bei Kreisprofilen um 0,5 % reduziert werden – dies allerdings nur im begehbaren Bereich > DN 800. Ebenso ist bei kreisförmigen Rohren die Lage der örtl. Vorverformung in der Sohle mit einem Öffnungswinkel von  $2 \cdot \varphi_1 = 40^\circ$  anzunehmen. Als Sonderfall darf der Wert für die örtlich begrenzte Vorverformung bei Kreisprofilen im Zustand III auf  $\omega_v = 0$  % von  $r_L$  reduziert werden, da hier die Ovalisierung dominant ist. Ebenso wird auch der vorhandene Spalt zwischen Schlauchliner und Altrohr auf  $\omega_s = 0$  % von  $r_L$  gesetzt.

Die Gelenkringvorverformung bei *Kreisprofilen* im Zustand II und III entspricht der Deformation des Altrohrs und wird mit dem gemessenen Wert in der Berechnung angesetzt, jedoch mindestens mit  $\omega_{Gr,v} \geq 3$  % von  $r_L$ . Für Ei- und Sonderprofile sind in [2] ebenfalls Tabellenwerte vorhanden.

Der Verformungsnachweis ist ein Nachweis, der der Gebrauchstauglichkeit des Gegenstandes dient (hier: der Schlauchliner) und daher mit den Teilsicherheitsbeiwerten von  $\gamma_F = \gamma_M = 1,0$  geführt wird. Zu den aus den Berechnungen entstehenden elastischen Verformungen sind noch spannungslose Vorverformungen zu addieren:

- Ö örtlich begrenzte Vorverformung  $w_v$  im Zustand I und II zu 50%, da sie nur (einseitig) in der Rohrsohle auftritt
- Ö Gelenkringvorverformung  $w_{Gr,v}$  (Ovalisierung) zu 100% im Zustand II und III

Die **gesamte Verformung** ergibt sich dann zu:

$$\delta_v = \delta_{v,el} + \frac{\omega_v}{2} + \omega_{Gr,v}$$

mit

$\delta_{v,el}$  = elastische Durchmesseränderung (aus Berechnung).

Die vertikale Änderung des Durchmessers (*Kreisprofile*) ist mit dem zulässigen Wert zu vergleichen:

$$\delta_v \leq 10\% \text{ (= Anhaltswert, kein Grenzwert!)}$$

Die elastischen Verformungen aus der Berechnung (ohne Vorverformungen) sind jedoch zu begrenzen:

- Lastfall Wasserdruck:  $\delta_{v,el} \leq 3\%$
- Lastfall Erd- u. Verkehrslasten:  $\delta_{v,el} \leq 6\%$ .

Dies sind „echte“ Grenzwerte, die leicht übersehen werden, da sie ggf. maßgeblich sind.

Bei vom Kreis abweichenden Querschnitten muss die Gesamtverformung auf den Mittelwert von Höhe und Breite, also auf  $(B+H) / 2$  bezogen werden.

---

Wenn nun aber bereits eine Ovalisierung des Querschnittes von  $\omega_{Gr,v} \geq 8-9\%$  im spannungslosen Zustand vorliegt – darf ein Liner dann noch berechnet werden?

Wie fast immer lautet hier die Antwort: „...kommt darauf an...!“ Dies soll heißen, dass in solchen Fällen weitergehende Untersuchungen benötigt werden, deren Ergebnisse dann in einem exakten statischen Modell zur Berechnung kommen.

Als Planer bzw. Bauherr muss man jedoch beachten, dass der Verformungsnachweis dann **formal nicht geführt** werden kann. Der Anhaltswert wird – manchmal deutlich – überschritten, was jedoch nicht bedeutet, dass die Tragfähigkeit des Schlauchliners dadurch gefährdet ist. Die Sicherheiten im Spannungsnachweis und gegenüber Stabilitätsversagen müssen weiterhin eingehalten werden. Weiterhin ist das Altrohr genauer zu betrachten, da hier noch Druckkräfte über die Gelenke (Risse) übertragen werden müssen!

An einem Beispiel soll nun erläutert werden, wie solch ein außergewöhnlicher Nachweis geführt werden kann.

### 3. Baustelle Straubing – Sanierung Petersgasse

#### 3.1. Allgemeines

In der Petersgasse in Straubing liegt ein Ablaufkanal DN 800 aus Beton, der unter einer Hochwasser-Schutzmauer hindurch in Richtung Donau verläuft. Dieser fast 70 Jahre alte Kanal entlastet das Mischwassernetz bei Starkregenereignissen und schlägt bei Bedarf in den Vorfluter ab. Im Hochwasserfall der Donau wiederum wird über ein Schachtbauwerk ein Schieber geschlossen, so dass der Rücklauf durch die Donau verhindert wird. Dadurch kann kurzzeitig Innendruck entstehen.

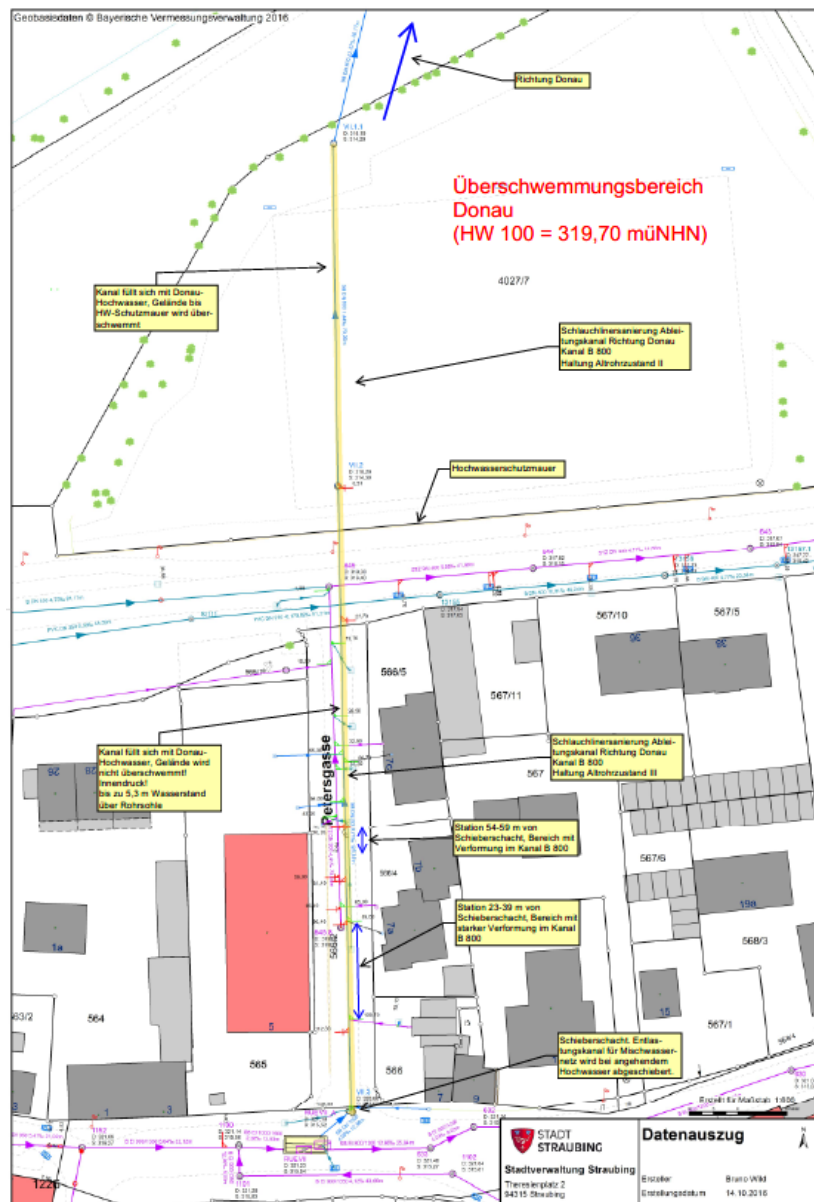


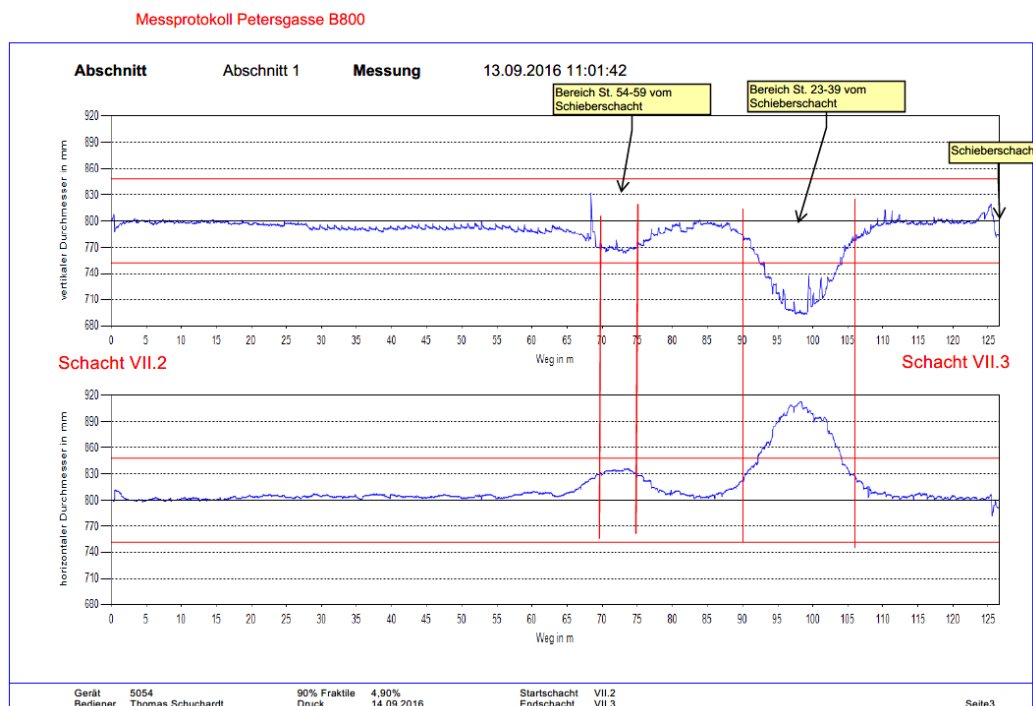
Bild 6: Lageplanauszug Straubing, Petersgasse



Da die Leitung in einer Tiefe bis zu fünf Meter neben einem erst kürzlich renovierten ehem. Jugendzentrum liegt, wollte man auf eine erschütterungsfreie Sanierungsmethode zurückgreifen. Weiterhin wäre z. B. in offener Bauweise die Wiederherstellung der Unterquerung der Hochwasserschutzwand schwierig geworden.

### 3.2. Vorhandene Verformungen

Aufgrund einer durchgeführten TV-Voruntersuchung wurde die Leitung prinzipiell in den Altrohrzustand II eingeteilt – jedoch sind im Bereich der Wohngebäude größere Deformationen festgestellt worden, die zu einer Festlegung des **Altrohrzustandes III** führten. Um diese Verformungen zu quantifizieren, wurde eine (mechanische) Deformationsmessung in Auftrag gegeben.



**Bild 7: Ergebnis der Deformationsmessung**

Das Ergebnis zeigte, dass im Bereich der Zufahrt zum Vorland zwischen den Gebäuden an zwei markanten Stellen eine höhere Deformation mit Werten von bis zu  $w_v \approx 100 \text{ mm}$  (!) vorhanden waren, was einer Gelenkringvorverformung nach DWA-A 143-2 von  $w_{Gr,v} \approx 13 \%$  entspricht!

Sollte keine exakte Messung vorliegen, kann die *überschlägige* Ermittlung der Deformation bei **biegesteifen Rohren** mit „klassischer“ Scherbenbildung nach [2] *Method B* durchgeführt werden.



Bild 8: Ermittlung der Gelenkringvorverformung nach Methode B

Man erstellt sich von der betreffenden Stelle im Kanal ein Bildschirm-Foto (Screenshot) und lädt dies z. B. als Bild in ein Textverarbeitungsprogramm. Danach fügt man über die Zeichenfunktion der Software einen Kreis **1** mit dem Radius einer Rohrscherbe in eine dieser (z. B. rechts oben) ein. Den zweiten (gleichen) Kreis **2** legt man danach in die benachbarte Ecke (z. B. links oben).

Nun kann man sich eine Linie (mit zwei Pfeilenden) zwischen die beiden äußersten Kreislinien legen und deren Länge **a'** ermitteln. Weiterhin ist der Durchmesser der Kreises **a** erforderlich. Die Maßeinheit für die Längen ist unabhängig: es können sowohl Pixel, Millimeter, Zentimeter, o. ä. verwendet werden.

Mit folgender Beziehung wird nun die überschlägige Gelenkringvorverformung ermittelt:

$$\omega_{\text{Gr,v}} \cong \frac{a' - a}{a} \cdot 100 \%$$

Aus der Beispielskizze in Bild 8 wurden folgende Werte ermittelt:

$a = 273$  Pixel

$a' = 307$  Pixel

$$\omega_{Gr,v} \cong \frac{307 - 273}{273} \cdot 100 \%$$

$\omega_{Gr,v} \approx 12,5 \%$

Es ist anzumerken, dass die *Methode B* einen erfahrenen Betrachter und eine **sehr genaue Wahl** des Kreisradius sowie der Verschiebung erfordert – andernfalls liegen die Ergebnisse gänzlich neben den tatsächlichen Messungen. Die Methode ist daher wirklich rein überschlägig zu verwenden; Ergebnisse aus mechanischen Messungen oder Laserscans sind vorzuziehen.

### 3.3. Bodenkennwerte

Um exakte Rechenwerte für das Bodenmodell zu bekommen, wurde seitens des Bauherrn ein geotechnischer Bericht bei einem Ing.-Büro für Baugrundberatung in Auftrag gegeben [5]. Es wurden für die Petersgasse zwei Rammkernsondierungen (RKS 4 und RKS 5) im Bettungsbereich links und rechts der Leitung im Bereich der stark geschädigten Stelle vorgenommen.

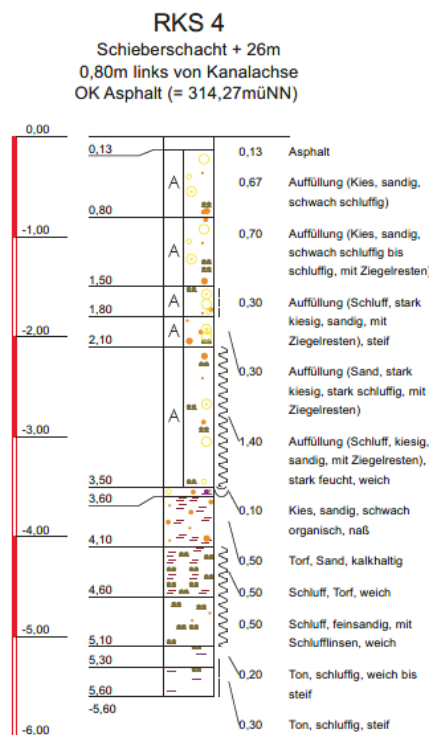


Bild 9: Beispiel - Rammkernsondierung RKS 4

Mit den beiden Sondierungen wurden überwiegend und auch bis in größere Tiefen aufgefüllte Mischböden angetroffen. Unter dem Asphalt folgten bis in 1,5 m Tiefe noch relativ einheitlich gering schluffige, sandige Kiese (Auffüllungen) die anhand des Sondierfortschrittes als mitteldicht bis dicht gelagert zu beschreiben waren. Darunter schließen dann Wechsellagerungen aus meist bindigen Böden (kiesige Schluffe/Tone mit Torfeinlagerungen und Ziegelbeimengungen in meist weicher Konsistenz) mit zwischengeschalteten rolligen (Kiese/Sande teils auch mit Torfeinlagerungen) Lagen in unterschiedlichen Mächtigkeiten und Tiefen bis zum Erkundungsende bei max. 5,6 m an. Ein „Grundwasserstand“ konnte bei RKS 5 auf 3,4 m Tiefe eingemessen werden, bei RKS 4 war eine Messung technologisch bedingt nicht möglich, jedoch waren die erkundeten Böden in analoger Tiefe als stark feucht bis nass zu beschreiben. Ob es sich hierbei um einen „echten“ Wasserstand handelte oder es einen Wasseraustritt aus dem Kanal widerspiegelt, konnte jedoch nicht beurteilt werden.

Die Böden wurden in der Petersgasse in zwei Homogenbereiche (A und B) eingeteilt, die relevante Eigenschaften für das Sanierungsverfahren betreffend zusammenfassen. Die *wichtigsten* Eigenschaften der Böden inkl. der bodenmechanischen Kennwerte sind nachstehend tabellarisch zusammengefasst:

Schicht-Nr.:	1	2A	2B
Homogenbereich DIN 18300 (Erdarbeiten)	A	B	
Schichtart	Kies, sandig (gering) schluffig	Schluff/Ton-Kies-Gemische mit Torfeinlagerungen	
Kurzzeichen nach DIN 18196	GW, GU	GU-GU*, UL-TM, HN	UL-TM, GU*, HN
Lagerungsdichte „D“	0,45 – 0,70	0,20 – 0,45	(0,20 – 0,45)
Konsistenz	---	weich	weich (-steif)
undrain. Scherfestigkeit $c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]	---	(20 – 50)	25 – 50
Wichte feucht [kN/m <sup>3</sup> ]	19,0 – 21,0	15,0 – 20,0	
Wichte unter Auftr. [kN/m <sup>3</sup> ]	10,0 – 11,0	5,0 – 10,0	
organ. Anteil [Gew.-%]	< 1	0 – 30	0 – 50
Reibungswinkel $\text{cal } \varphi'$ [°]	30,0 – 32,5	20,0 – 25,0	
Kohäsion $\text{cal } c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0	0 – 2	
Bodengruppe (ATV-DVWK A 127)	G 2	G 3	G 4
Verformungsmodul $E_B$ [MN/m <sup>2</sup> ]	14	2,0 – 3,0	0,8 – 1,0

Anhand der Verformungsmoduln im Homogenbereich B war bereits erkennbar, woher ggf. die hohen Deformationen der Rohrleitung im betreffenden Bereich stammen könnten. Das neu gerissene Altrrohr konnte sich aufgrund der rel. schlechten Bettung im Laufe der Jahre bis zu der angetroffenen Deformation verformen und hat über eine „Gewölbewirkung“ die Tragfähigkeit (noch) erhalten.

Durch einen Schlauchliner sollte nun verhindert werden, dass die Bettung weiter geschädigt werden kann (z. B. durch Ex- und Infiltration) und der vorhandene Zustand somit „eingefroren“ wird.

### 3.4. Berechnungen

Die Nachweisführung erfolgte mit Hilfe der Finiten Elemente (FE) Methode, durch deren Anwendung es möglich ist, die tatsächlichen Geometrien abzubilden.

Bezüglich der Druckfestigkeit der alten Betonrohre DN 800 wurde von einem Wert von 50 % der ursprünglichen Festigkeit ausgegangen. Folgende Materialkennndaten wurden für das Rohr angesetzt:

Wanddicke:	$s = 100 \text{ mm}$
E- Modul:	$E_{c,k} = 30.000 \text{ MPa}$
Biegefestigkeit (Druck):	$f_{c,k} = 17,5 \text{ MPa}$
Wichte:	$\gamma_c = 24,0 \text{ kN/m}^3$
Querdehnzahl:	$\mu = 0,20$
Teilsicherheitsbeiwert:	$\gamma_M = 1,50$

Die Druckzonenbreite des Altrohres zur Übertragung der Druckkräfte (parabelförmig) ergibt sich nach [2] zu:

$$b_D = 8 \cdot \frac{s}{3} \cdot \left(0,5 - \frac{e_G}{s}\right)$$

Die Gelenkexzentrizität wurde hierbei zu  $e_G/s = 0,25$  gewählt (bei fortschreitender Schädigung des Altrohres). Somit ergibt sich die mitwirkende Druckzonenbreite zu  $b_D = 66,7 \text{ mm}$ .

Die Diskretisierung des umgebenden Baugrundes (Überdeckung = 3,3 m) im Altrohrzustand III erfolgte mit Hilfe von Volumenelementen unter Voraussetzung eines ebenen Verzerrungszustandes. Unterschiedliche Bodenschichten wurden durch Zuweisung der spezifischen Materialparameter zu den entsprechenden Elementen berücksichtigt. In der Fläche zwischen Altrohraußenwandung und Baugrund wurden spezielle Kontaktelemente angeordnet. Sie übertragen allein Druck-, jedoch keine Zug- und keine Schubspannungen. Ebenso wurden die Gelenke der Altrohre (= Risse) ausgebildet – dies erfolgte mittels sog. GAP-Elemente im Kämpfer sowie „Fixierungen“ in Scheitel u. Sohle.

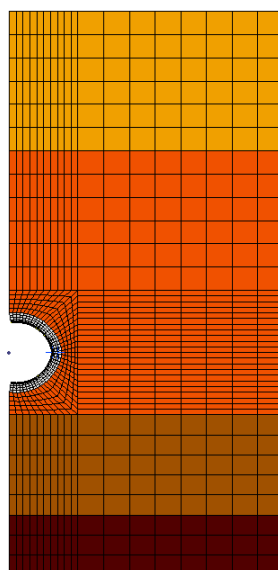


Bild 10: Diskretisiertes numerisches Rechenmodell Zustand III

Das Altrohr wurde ebenfalls mit Hilfe von Volumenelementen diskretisiert – für die Modellierung des Schlauchliners dagegen, wurde die Diskretisierung mittels Schalenelementen durchgeführt. Auch hier wurden Kontaktelemente zur Druckkraftübertragung zum Altrohr modelliert.

Es wurde – auf der sicheren Seite liegend – lineares Materialverhalten (Rohr, Liner und Baugrund) vorausgesetzt. Bei der Modellierung wurde die Symmetrie der Problemstellung ausgenutzt. Eigengewichtslasten wurden durch Zuweisung der materialspezifischen Wichte zu den entsprechenden Elementen berücksichtigt; die Verkehrslast LM1 wird durch eine konstante Oberflächenlast aufgebracht.

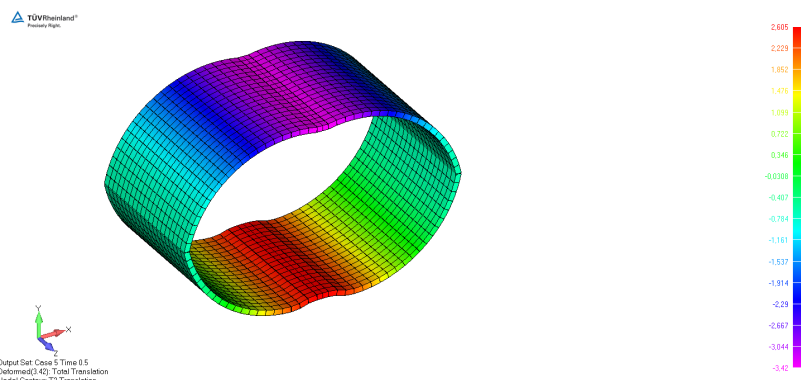
Da es sich bei einem Liner immer um ein flexibles, dünnwandiges Kunststoffrohr handelt, lag ein Stabilitätsproblem vor. Die Belastung des Systems wurde daher im Rahmen einer geometrisch nichtlinearen Berechnung bis zur  $\gamma_F$ -fachen Gebrauchslast gesteigert.

Bei der Berechnung des Liners wurde zunächst der Einfluss von Erd- und Verkehrslasten untersucht. Die daraus resultierenden elastischen Verformungen wurden dann für den Lastfall „Grundwasserdruck“ zusätzlich zu den vorhandenen Vorverformungen addiert. Die weitere Bemessung erfolgte somit für den Altrohrzustand II mit Interaktionsnachweis. Auch hier wurde die Belastung des Systems im Rahmen einer geometrisch nichtlinearen Berechnung bis zur  $\gamma_F$ -fachen Gebrauchslast gesteigert.

Die Grundwasserbelastung wurde seitens des Bauherrn wie folgt festgelegt:

Lastfall	GW über Rohrsohle
Kurzzeit	$h_{W,So} = 3,0$ mWS
Langzeit	$h_{W,So} = 1,5$ mWS (maßgebend)

Für eine ermittelte Wanddicke des Liners der **Materialkenngruppe 23** [4] von  $t_L = 19,1$  mm (ausgehärtet) wurden die erforderlichen Spannungs- und Stabilitätsnachweise der Liner eingehalten – die Verformungs-nachweise waren jedoch aufgrund der hohen Ovalisierung der Altrohre vor Renovation bereits überschritten! Die rechnerische *gesamte Deformation* unter Gebrauchslast bezogen auf den ursprünglichen Durchmesser beträgt beim langfristig anstehenden Wasserdruck von  $h_{W,So} = 1,5$  mWS insgesamt  $\delta_{ges} \approx 17,69$  %.



**Bild 11:** el. Verformung unt. Gebrauchslast – Grundwasser langfristig, Zustand II

### 3.5. Bauausführung

Nach der darauffolgenden durchgeführten Ausschreibung sind zwei Firmen in die engere Auswahl gekommen, die beide einen glasfaserverstärkten Schlauchliner angeboten hatten. Durchgesetzt hatte sich letztendlich ein Unternehmen, das für die Bauausführung einen „gewickelten“ Liner anbot – hier wurde *nur der stark deformierte Teil* in der „dicken Ausführung“ gewickelt – der restliche Teil der Haltung wurde mit einer dünneren Wanddicke, die nach [4] ermittelt wurde, bemessen. Dies war die wirtschaftlichste Variante für den Bauherrn und wurde so beauftragt.

Der Einzug und die Aushärtung des Liners lief wie geplant – lediglich im „dickeren“ Teil des Schlauches war es nicht möglich, eine Probe des gehärteten Produktes zu entnehmen; dies erfolgte im Endschacht des Sanierungsabschnittes.



**Bild 12: Einzug des glasfaserverstärkten Liners DN 800**

## 4. Zusammenfassung

Mit etwas vertretbarem Aufwand ist es oft möglich, voll tragfähige Schlauchliner in gewissen Grenzbereichen einzubauen, ohne dabei den Querschnitt der Leitung stark zu verengen. Durch geeignete Voruntersuchungen und numerische Modelle kann auch bei hohen Deformationen der statische Nachweis für eine Sanierung in geschlossener Bauweise erbracht werden. Der Bauherr muss sich jedoch bewusst sein, dass die zulässigen Verformungen nach den geltenden Normen und Standards überschritten und daher formal nicht geführt werden können. Wenn jedoch der Aufwand einer Neuverlegung oder beispielsweise eines Vortriebs aus „sozialen Aspekten“ nicht gewünscht oder machbar ist, wird man diesen fehlenden Gebrauchstauglichkeitsnachweis wohl eher vernachlässigen.

## 5. Literatur

- [1] DIN EN ISO 11296 Teil 4, Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauch-Lining, September 2018
- [2] DWA-A 143 Teil 2, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden -Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit Lining- und Montageverfahren, Juli 2015
- [3] ATV-DVWK-A 127, Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen, August 2000, korrigierter Nachdruck April 2008
- [4] DWA-M 144, Teil 3, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV) für die Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 3: Renovierung mit Schlauchliningverfahren (vor Ort härtendes Schlauchlining) für Abwasserkanäle, aktualisierte Fassung Dezember 2018
- [5] Geotechnischer Untersuchungsbericht Nr. BG-782/12-0916-2-SR für die Sanierung des Abwasserkanals Oppelnerstraße und Petersgasse in Straubing, Ing.-Büro B. Matz / Beratender Ingenieur für Baugrund, Betontechnologie und Altlasten aus Mitterteich, 28.09.2016

## 6. Bildnachweis

- [Bild 1] Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH
- [Bild 6-8, 12] Eigenbetrieb Straubinger Stadtentwässerung und Straßenreinigung
- [Bild 9] Ing.-Büro B. Matz / Beratender Ingenieur für Baugrund, Betontechnologie und Altlasten