



Information

Nr. 20-2

Grundlagen zur statischen Berechnung
von Druckschlauchlinern

Mai 2022

NO DIG – warum Gräben aufreißen, wenn es bessere Lösungen gibt

Inhalt

1. Vorwort.....	4
2. Normative Verweise	5
3. Abkürzungsverzeichnis.....	6
4. Geltungsbereich	8
4.1 Allgemein.....	8
4.2 Hinweise zur Planung/Ausführung.....	9
5. Sicherheitskonzept	10
5.1 Teilsicherheitsbeiwerte Einwirkungen.....	10
5.2 Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände	10
6. Einwirkungen.....	11
6.1 Äußere Einwirkungen	11
6.1.1 Ständige Einwirkungen	11
6.1.2 Veränderliche Einwirkungen	11
6.2 Innere Einwirkungen.....	11
6.2.1 Innendruck (+/-)	11
6.2.2 Dynamische Druckänderung.....	12
7. Widerstände	12
7.1 Allgemeines.....	12
7.2 Kurzzeitige Werkstoffeigenschaften	12
7.3 Langzeitige Werkstoffeigenschaften.....	13
7.3.1 Zyklische Werkstoffprüfung (Wöhlerversuch)	14
7.3.2 Zyklische Bauteilprüfung (Druckrohrlastwechseltest DLT).....	14
8. Nachweise.....	16
8.1 Allgemeines.....	16
8.2 Klasse A Druckschlauchliner (unabhängig)	17
8.2.1 Spannungsnachweise (Axiale Richtung).....	17
8.2.2 Spannungsnachweise (Ringrichtung)	18
8.2.3 Interaktionsnachweis (Zug, Biegung).....	22
8.2.4 Ermüdungsnachweis.....	23
8.2.5 Nachweis für auftretenden Unterdruck.....	23
8.2.6 Nachweise im drucklosen Zustand	24
8.3 Klasse B Druckschlauchliner (interaktiv)	24
8.3.1 Spannungs- / Dehnungsnachweis (Umfangs- u. Axialrichtung)	25
8.3.2 Interaktionsnachweis (Zug, Biegung).....	26

9.	Anhang.....	27
10.	Rechenbeispiel – Abwasserdruckleitung DN 300	28
10.1	Eingangsdaten, Werkstoffkennwerte.....	28
10.2	Einwirkungen.....	29
10.3	Stabilitätsnachweis gem. DWA-A 143-2 (ARZ III) für einen Druckleitungsschlauchliner Klasse A gem. DIN EN ISO 11295, Tabelle 17	29
10.4	Stabilitätsnachweis gem. DWA-A 143-2 (ARZ I) für einen Druckleitungsschlauchliner Klasse B gem. DIN EN ISO 11295, Tabelle 17	32
10.5	Nachweis Innendruck für einen Druckleitungs-Liner Klasse A (bzw. B) gem. DIN EN ISO 11295	33
10.6	Nachweis Muffenspalt für einen Druckleitungsschlauchliner Klasse A (bzw. B) gem. DIN EN ISO 11295.....	33
10.7	Nachweis Loch für einen Druckleitungsschlauchliner Klasse A (bzw. B) gem. DIN EN ISO 11295.....	34
10.8	Interaktionsnachweis Loch für einen Druckleitungsschlauchliner Klasse A (bzw. B) gem. DIN EN ISO 11295.....	34
10.9	Interaktionsnachweis Spalt für einen Druckleitungsschlauchliner Klasse A (bzw. B) gem. DIN EN ISO 11295.....	35

1. Vorwort

Seit über 50 Jahren werden Schlauchliner zur Renovierung von Abwasserkanälen erfolgreich eingesetzt. Nachdem die Entwicklungen der vergangenen Jahre im drucklosen Bereich zu standardisierten und qualitativ hochwertigen Produkten geführt haben, liegt bei der Ertüchtigung von Druckleitungen noch sehr viel Potential; sowohl für die Hersteller, aber auch seitens der Netzbetreiber.

In der internationalen Standardisierung werden zurzeit viele Normen erarbeitet, die sich intensiv mit dem Thema der Renovierung von Druckleitungen beschäftigen (z. B. DIN EN ISO 11297er- und DIN EN ISO 11298er-Reihe).

In keinem dieser Dokumente wird jedoch explizit auf das Design der Liner eingegangen, welches sich aber in einigen Punkten von dem der Freispiegelleitungen unterscheidet. Hier kam in der Vergangenheit eigentlich nur eine Methode zum Einsatz, die in der amerikanischen ASTM F-1216 (akt.: Rev 16) als „erweiterte Kesselformel“ niedergeschrieben steht und weltweit Anwendung findet.

Dies war Anlass für die Erstellung dieser GSTT-Info Nr. 20-2, in der nun die notwendigen Berechnungsschritte für die Ermittlung der erforderlichen Wanddicken eines Druckschlauchliners aus Sicht der Arbeitsgruppe 20-2 zusammengestellt sind.

Das Blatt soll eine erste Grundlage darstellen (siehe Geltungsbereich) und steht für jegliche Erweiterungen offen. Hierzu sollen in der Zeit nach Veröffentlichung Erfahrungen gesammelt werden, die dann in künftige Überarbeitungen einfließen werden.

2. Normative Verweise

DIN 50100, Schwingfestigkeitsversuch - Durchführung und Auswertung von zyklischen Versuchen mit konstanter Lastamplitude für metallische Werkstoffproben und Bauteile, 12/2016

DIN EN ISO 11295, Klassifizierung und Informationen zur Planung und Anwendung von Kunststoff-Rohrleitungssystemen für die Renovierung und Erneuerung, 06/2018

DIN EN ISO 11297-4, Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten Abwasserdruckleitungen - Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauch-Lining, 09/2018

DIN EN ISO 11298-4, Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten Wasserversorgungsnetzen - Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauch-Lining (ISO/DIS 11298-4:2019), Entwurf: 07/2019

DIN EN 14364, Kunststoff-Rohrleitungssysteme für Abwasserleitungen und -kanäle mit oder ohne Druck - Glasfaserverstärkte duroplastische Kunststoffe (GFK) auf der Basis von ungesättigtem Polyesterharz (UP) - Festlegungen für Rohre, Formstücke und Verbindungen, 05/2013

DIN EN 1991-2, Einwirkung auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken, 2010-12

DWA-A 143-2, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit Lining- und Montageverfahren, 07/2015

ATV-DVWK-A 127, Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen, 08/2000

ASTM F-1216, Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and Curing of a Resin-Impregnated Tube, 11/2016

RSV 1.2, Renovierung von Abwasserdruckleitungen mit Druckschlauchlinern, Rohrleitungssanierungsverband, Mai 2019

Weitere anerkannte Regeln der Technik, Regelwerke und Hinweise, die für die Rehabilitation von Druckrohrleitungen im Allgemeinen zur Anwendung kommen, finden sich in der GSTT Information 20-1, Kapitel 8.

3. Abkürzungsverzeichnis

Verwendete Symbole

Größe	Einheit	Bezeichnung
b	mm	Breite, Weite
n	---	bemessungsrelevante Anzahl der Schwingspiele über die Lebensdauer
d	mm	Durchmesser
f	Hz	Frequenz
G	kN	Ständige Einwirkung, Eigengewicht
g_{AR}	kN/m ²	Eigengewicht Altrohr ¹⁾
g_L	kN/m ²	Eigengewicht Liner(-wandung)
$h_{\ddot{u}}$	m	Überdeckungshöhe über Rohrscheitel
L	mm	Prüfkörperlänge nach DIN EN 14364
L	m	Länge des Rohres
M	Nmm	Biegemoment
n	---	Anzahl Zyklen
p_0	kN/m ²	Oberflächenlast
p_a	kN/m ²	Äußerer Wasserdruck (aus Grund- oder Hochwasser)
p_E	kN/m ²	Erddruck infolge Erd- und Flächenlast ²⁾
$p_{i,MDP}$	kN/m ²	Maximaler Bemessungsdruck ³⁾ (einschließlich Sicherheiten auf Einwirkungsseite)
$p_{i,MOP}$	kN/m ²	Maximaler Betriebsdruck (ohne Sicherheiten)
$p_{i,STP}$	kN/m ²	Prüfdruck
$p_{i,VAC}$	kN/m ²	Unterdruck ⁴⁾
PN	bar	Langzeitwiderstand des Druckschlauchliners für Innendruck inkl. Sicherheiten für Innendruck
p_T	kN/m ²	Verkehrslast
Q	kN	Veränderliche Einwirkung (Verkehrslast); Querkraft
R	mm	Radius
e_c	mm	Kompositwanddicke
ω_s	%	Ringspalt, auf den Linerradius bezogen
T	°C	Temperatur

1) nur bei Linern der Klasse A

2) Bauzustände sind zu berücksichtigen

3) Der Bemessungsdruck wird vom Netzbetreiber vorgegeben.

4) Gem. DIN EN 476 beträgt der charakteristische Unterdruck $p_{i,VAC} = -0,8$ bar.

Größe	Einheit	Bezeichnung
ε	%	Dehnung
γ	---	Teilsicherheitsbeiwert
γ_L	kN/m ³	Wichte Druckschlauchliner
Ψ	---	Kombinationsbeiwert
σ_{fl}	N/mm ²	Biegespannung
σ_t	N/mm ²	Zugspannung
τ	N/mm ²	Schubspannung
α	K ⁻¹	Wärmeausdehnungskoeffizient

Indizes

Index	Erläuterung
AR	Altrohr (bestehende, zu sanierende Druckleitung)
ax	in axialer Richtung
c	aufgrund Biegedruckbelastung
d	Bemessungswert einer Einwirkung, eines Widerstands
fat	aufgrund dynamischer Einwirkung (fatigue)
F	Force, engl. für Kraft, auf Seite der Einwirkungen
fl	aufgrund Biegezugbelastung
gap	Öffnung, Spalt
hole	Öffnung, Loch
k	Charakteristischer Wert einer Einwirkung, eines Widerstands
L	Druckschlauchliner, einzuziehender und auszuhärtender Schlauchliner, der sich zumindest teilweise am Lastabtrag beteiligt; im Rechenbeispiel: Langzeit
M	Material
MDP	maximaler Betriebsdruck, inkl. Druckstoß und Teilsicherheitsbeiwert
t	aufgrund Zugbelastung
φ	in Umfangsrichtung

4. Geltungsbereich

4.1 Allgemein

Diese GSTT Information gilt für die Renovierung von kreisförmigen, geradlinig erdverlegten Trink- und Abwasserdruckleitungen im Durchmesserbereich von

DN 100 bis DN 1200

mittels Schlauchlinern nach DIN EN ISO 11297-4 und DIN EN ISO 11298-4 unter den Bedingungen der

Klasse A und Klasse B

nach DIN EN ISO 11295 als nicht mit dem Altrohr verklebte (kraftschlüssige) Systeme.

Der maximale Systembetriebsdruck ist als Bemessungswert auf

$p_{i,MDP} = 16 \text{ bar}$

begrenzt.

Dieses Dokument legt in Verbindung mit DIN EN ISO 11297-1 und DIN EN ISO 11297-4 sowie DIN EN 11298-1 und DIN EN ISO 11298-4 die Anforderungen und Prüfverfahren für vor Ort gehärtete Rohre und Formstücke fest, die für die Renovierung mit Druckbeaufschlagter, erdverlegter Trink- und Abwassernetzwerke mit Betriebstemperaturen bis **T = 35 °C** verwendet werden.

Anmerkung 1: Aus statischer Sicht können abweichende Durchmesser, Drücke und Medien sowie nicht erdverlegte Druckleitungen sinngemäß mit vorliegender GSTT-Information berechnet werden.

Anmerkung 2: Druckschlauchliner der Klassen C und D nach DIN EN ISO 11295 sind gesondert zu behandeln.

Anmerkung 3: Sollte ein Schlauchliner Axialbeanspruchungen infolge Richtungsänderungen (z. B. über Formteile) erfahren, sind diese im Rahmen einer Einzelbetrachtung zu untersuchen und zu berechnen (z. B. Widerlagerkräfte nach DVGW GW 310). Das Druckschlauchliner-System sowie die Verbindungslösungen zu Flanschen, Armaturen, Formteilen müssen in diesem Fall für Axialkraftbeanspruchung ausgelegt sein.

Anmerkung 4: Vereinzelt auftretende kurzzeitige Einleitungen von häuslichem Abwasser von bis zu T = 50° C können als unkritisch angesehen werden.

4.2 Hinweise zur Planung/Ausführung

Die vorliegende GSTT-Info behandelt die Renovierung geradlinig verlaufender Abschnitte von Druckleitungen mit Schlauchlinern. Darüber hinaus sollen im Folgenden einige Hinweise zur Betrachtung des gesamten Druckleitungssystems gegeben werden.

Bei Druckleitungssystemen entstehen an Bögen, Reduktionen, T-Stücken, Y-Stücken, Endstücken und weiteren Armaturen Kräfte in axialer Richtung. Diese Kräfte sind durch geeignete Lösungen oder durch zugfest ausgeführte Renovierungssysteme abzutragen, um den sicheren Betrieb der Druckleitung dauerhaft zu gewährleisten.

Bei der Planung einer Renovierungsmaßnahme ist zu prüfen, ob das Bestandssystem zugfest oder widerlagergesichert ausgeführt ist. Ebenso ist die Lagesicherung von Armaturen und Bauteilen im System zu prüfen. Die Dauerhaftigkeit von Sicherungen am Bestand (z.B. vorhandene Widerlager) muss gegeben sein. Es sind Prüf- und Betriebszustände zu beachten.

In der Regel sind Axialkräfte aus Innendruck durch geeignete Sicherung der Formteile durch Festpunkte oder Widerlager abzutragen. Betriebszustände, wie beispielsweise einseitig anstehender dauerhafter Druck an einem Streckenschieber, sind zu beachten. Die bestehenden Widerlager müssen gewährleisten, dass die zulässige axiale Spannung des Renovierungssystems kurzzeitig, z.B. während der Druckprüfung, und langfristig im Betrieb nicht überschritten wird. Gegebenenfalls sind die Widerlager zu erneuern.

Sicherungsmaßnahmen bei nicht zugfesten Systemen sind entsprechend der technischen Regeln z.B. DVGW GW 310 zu planen. Die Wirksamkeit bestehender Sicherungsmaßnahmen der Bestandsleitung im Hinblick auf den Druckschlauchliner ist zu prüfen und zu gewährleisten.

Der Druckschlauchliner kann über verschiedene Verbindungstechniken an das bestehende Druckleitungsnetz angebunden werden (siehe RSV 1.2 / 1.3, Kap. 4.3). Kommt eine zugfeste Lösung z.B. in Anlehnung an DVGW GW 368 zum Einsatz, muss das zur Renovierung gewählte System für die Längskraftübertragung dimensioniert werden und in der Lage sein, die Reaktionskräfte aus Innendruck durch Reibung oder durchgängig zugfeste Ausführung in Festpunkte wie z.B. Bauwerksanschlüsse abzuleiten.

Es ist darauf zu achten, dass die Lagesicherheit des Altrohres während des Einbaus gewahrt bleibt. Dies beinhaltet die Einhaltung eines kurzfristig zulässigen Aufstelldrucks während der Montage des Liners.

5. Sicherheitskonzept

Das semiprobabilistische Sicherheitskonzept der Eurocodes sieht eine Beaufschlagung der Einwirkungen mit ihrem jeweiligen Teilsicherheitsbeiwert (TSB) vor. Es erfolgt auch hier eine Unterscheidung in ständige und veränderliche TSB. Als Kürzel hat sich der griechische Kleinbuchstabe Gamma γ etabliert (häufig mit Index F = Force bzw. M = Material).

Im Folgenden werden ständige und veränderliche Einwirkungen gemeinsam behandelt. Es erfolgt eine Aufstellung der Teilsicherheitsbeiwerte für ungünstige Wirkung im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT).

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG, z.B. Verformungsnachweis) wird $\gamma_F = \gamma_M = 1,0$ gesetzt.

5.1 Teilsicherheitsbeiwerte Einwirkungen

Tabelle 1: Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen

Einwirkung	γ_F
Ständige Lasten (G) Erdlasten, Eigenlast, ggf. Oberflächenlast, konzentrierte Flächenlast	1,35
Veränderliche Lasten (Q) Äußerer Wasserdruck, Verkehrslasten außer Straßenverkehrslasten	1,50
Straßenverkehrslasten (LM1)	1,35
Prüfdruck	1,20
Innendruck einschl. Druckstoß*	1,50**

*) beinhaltet auch den Unterdruckbereich

**) bei Verwendung von $p_{i,MDP}$ ist der Teilsicherheitsbeiwert bereits enthalten, d.h. $\gamma_F = 1,0$

Wirken veränderliche Einwirkungen günstig, beispielsweise im Auftriebsnachweis, so wird einheitlich $\gamma_F = 0$ vorgeschlagen – d. h. in solchen Fällen wird die entsprechende Einwirkung nicht berücksichtigt.

5.2 Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände

Tabelle 2: Teilsicherheitsbeiwerte der Materialien

Werkstoff Druckschlauchliner	γ_M
Kunststoffliner, in der Druckleitung gehärtet	1,60

6. Einwirkungen

6.1 Äußere Einwirkungen

In Anlehnung an die Bezeichnungen und das Teilsicherheitskonzept der Eurocodes wird unterschieden in

- ständige und
- veränderliche Einwirkungen (Lasten)

6.1.1 Ständige Einwirkungen

Vereinfachend wird die Erdüberdeckung h ab Geländeoberfläche (GOF) bis Oberkante Liner angesetzt. Dies beinhaltet für gängige Fälle das Eigengewicht des Altrohrs. Ein genauer Nachweis kann die Einwirkungen aus Erdreich und Altrohr getrennt berücksichtigen.

6.1.2 Veränderliche Einwirkungen

Dazu zählen wechselnde Grundwasserstände über Rohrsohle sowie Verkehrslasten auf Geländeoberkante.

6.2 Innere Einwirkungen

6.2.1 Innendruck (+/-)

Die planmäßige Belastung eines Schlauchliners für Druckleitungsrenovierungen ist der Innendruck $p_i = \text{const.}$ Der statische Nachweis für den Liner wird für diesen Lastfall mittels der sog. „Kesselformel“ (engl.: Barlow's formula) durchgeführt. Der Wert für die auftretenden Umfangsspannungen ist hier doppelt so groß, wie der der Längsspannungen.

Der Nachweis wird durch Vergleich der auftretenden Zugspannungen (radial, axial) mit den jeweiligen Festigkeiten auf Design-Niveau erbracht (siehe Kapitel 8).

Ein negativer Innendruck (Unterdruck) tritt auf, wenn eine flüssigkeitsgefüllte Druckleitung, die über einen Hochpunkt führt, plötzlich geschlossen („abgeschiebert“) wird und das Medium aufgrund der kinetischen Energie noch weiterfließt.

Nach DIN EN 476 ist hier von einem max. möglichen Unterdruck von $p_i = -0,8 \text{ bar}$ auszugehen. Dies entspricht einem absoluten Druck von $= 200 \text{ mbar}$.

6.2.2 Dynamische Druckänderung

Eine dauerhaft wechselnde Änderung des Betriebsdruckes innerhalb einer Druckleitung tritt auf, wenn sich beispielsweise Abwasser in einem Pumpenschacht sammelt und erst bei einem definierten Abwasserspiegel im Bauwerk abgepumpt wird. Es entsteht ein Druckstoß, dessen Druckwelle sich in die abgehende Leitung fortpflanzt und mit der Zeit abnimmt (Dämpfung).

In Abhängigkeit des Zulaufes zu solch einem Bauwerk können diese Druckstöße mehrmals stündlich auftreten, so dass diese dynamische Belastung der Druckleitung maßgebend werden kann.

Die durch dynamische Belastung auftretende Spannung nimmt aufgrund der Dämpfung ab. Die bemessungsrelevante, gewichtete Spannung errechnet sich zu:

$$\sigma_{fat} = \chi \cdot \frac{p_{i,MDP} \cdot R}{e_c} \quad (1)$$

mit:

χ = zu wählender Faktor $0,5 < \chi \leq 1$, der die Verringerung der Spannung durch den Effekt der Dämpfung in Abhängigkeit der Lastspiele n berücksichtigt

$p_{i,MDP}$ = max. Bemessungsdruck [N/mm²]

R = Radius [mm]

e_c = Kompositwanddicke [mm]

7. Widerstände

7.1 Allgemeines

Sämtliche Werkstoffkennwerte sind designabhängig nach DIN EN ISO 11297-4 zu ermitteln.

Zur Berücksichtigung dynamischer Einwirkungen aus dem Betrieb (Druckstoß) siehe Kapitel 0.

7.2 Kurzzeitige Werkstoffeigenschaften

Das Nachweiskonzept dieser GSTT-Info erfasst die Liner im Betriebszustand. Für diesen sind i.d.R. langzeitige Werkstoffkennwerte zugrunde zu legen, siehe folgender Abschnitt. Darüber hinaus können bemessungsrelevante Situationen auftreten, die den Ansatz der kurzzeitigen bzw. auf die Einwirkungsdauer angepassten Eigenschaften rechtfertigen.

Dies können z.B. sein:

- Prüfdruck
- Entleerung einer ansonsten dauergefüllten Leitung
- Druckstoß aufgrund einer Havarie (z.B. Stromausfall), bei einer ansonsten dauerhaft mit Druck beaufschlagten Leitung
- Benachbarte Baumaßnahmen, die den Liner bzw. das Altrohr (zumindest indirekt) betreffen

7.3 Langzeitige Werkstoffeigenschaften

Alle Druckliner sind mit langzeitigen Werkstoffeigenschaften auf der Widerstandsseite nachzuweisen.

In Abwasserdruckleitungen liegen neben der ruhenden Innendruckbelastung aus dem planmäßigen Betrieb zusätzlich aufgrund von Druckstößen zwei mögliche Lastarten vor: eine schwellende Innendruckbeanspruchung (siehe Bild 3, obere Kurve) als reine Zugbelastung oder aufgrund des auftretenden Unterdruckfalles zusätzlich eine wechselnde Zug-Druck-Belastung (siehe Bild 3, untere Kurven). Welche Lastart auftritt, ist leitungssystemabhängig und muss rechnerisch ermittelt werden (Druckstoßberechnung). Sofern keine Berechnungen vorliegen, ist von der Zug-Druck-Belastung auszugehen.

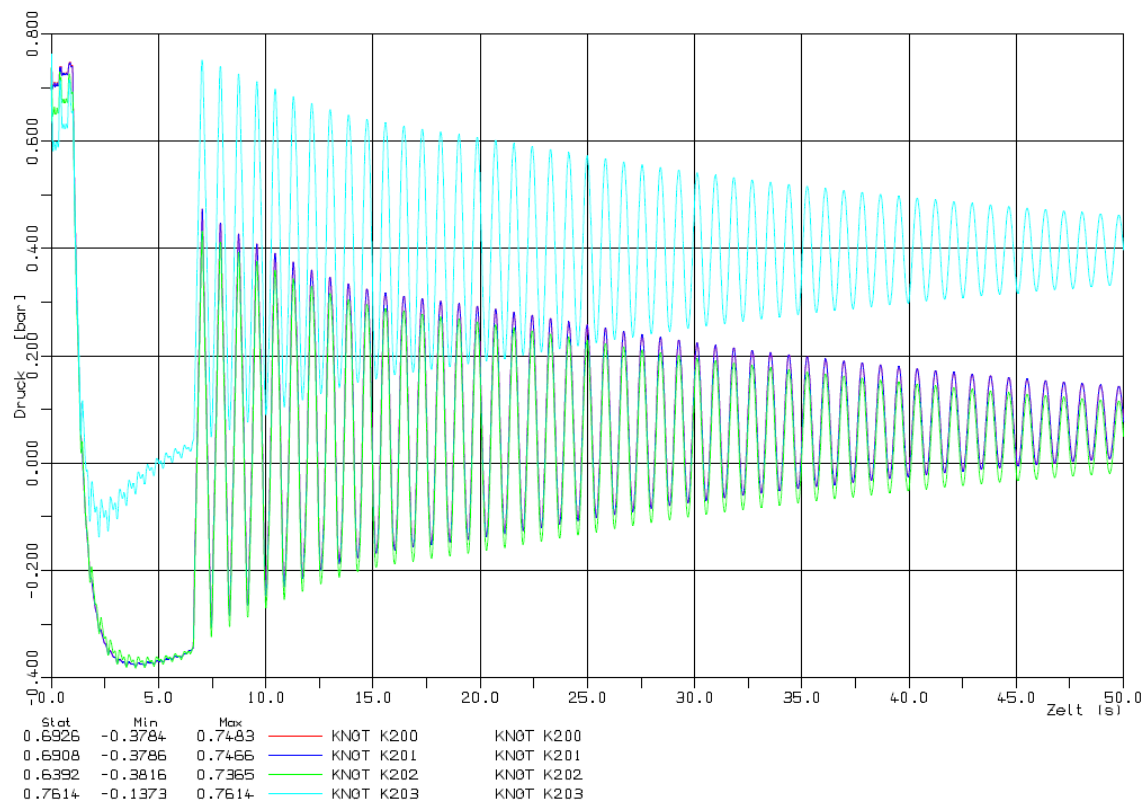


Bild 3: Beispiel für einen Schwingungsverlauf als Ergebnis der Druckstoßberechnung; jedes System verhält sich anders; Frequenz, Amplitude und das Ausschwingen / Dämpfen sind systembedingt.

Quelle: Hamburg Wasser

7.3.1 Zyklische Werkstoffprüfung (Wöhlerversuch)

Die zyklische Werkstoffprüfung gemäß ISO 13003 ist eine zerstörende Prüfung; im Ergebnis erhält man Wöhlerlinien.

Eine Wöhlerlinie stellt den Zusammenhang zwischen (Spannungs-) Amplitude und Lastspielzahl bis zum Versagen für eine bestimmte Ausfallwahrscheinlichkeit dar. Die Wöhlerkurve wird punktweise ermittelt, wobei Prüfkörper (Materialproben aus Plattenlaminat, kein Bauteil) unter stationärer sinusförmiger Belastung zu seinen kritischen Grenzdehnungen bis zum Defekt (Bruch oder Anriss) gefahren werden. Die Wöhlerlinie erlaubt ein Ablesen der Lebensdauererwartung in Abhängigkeit von der Belastung und der Schwingspielzahl.

Der Werkstoffversuch liefert gezielte Aussagen zum Ermüdungsverhalten des beim Druckschlauchliner eingesetzten Werkstoffverbundes.

Die Betrachtung des Über- und Unterdruckes ist durch den Wechsel von der reinen Zugbelastung in die Druckbelastung möglich. Die erhaltenen Wöhlerkurven beziehen sich auf den reinen Werkstoff, hergestellt als Plattenlaminat; Naht-, Überlappungs- und Anschlussbereiche finden keine Berücksichtigung.

7.3.2 Zyklische Bauteilprüfung (Druckrohrlastwechseltest DLT)

Zyklische Bauteilversuche können gemäß ISO 15306 – „GRP Pipes - Determination of the resistance to cyclic internal pressure“ im Überdruckbereich als schwellende Belastung durchgeführt werden. Das dynamische Auftreten von Unterdruck ist hier nicht berücksichtigt.

Ein Druckrohrlastwechseltest (DLT) zur Abbildung von Druckstoßwellen im Über- und Unterdruckbereich ist als Systemversuch mit einem Druckschlauchliner inkl. seiner Verbindungen, wie z. B. GFK-Flansche und ggf. vorhandener Anschlüsse durchführbar. Die Prüfung und Parameter werden in der DIN 3603 „Festlegung von Prüfparametern für zyklische Lastwechselinnendruckprüfungen für die Renovierung und Reparatur von Abwasserdruckleitungssystemen“ (in Erarbeitung) beschrieben.

Anders als schwellende Prüfverfahren simuliert der DLT die möglichen auftretenden Belastungen bei Druckstößen im Druckschlauchlinersystem im Über- und Unterdruckbereich und geht nicht planmäßig in die kritische Grenzdehnung des Druckliners.

Gemäß Wöhler kann bei unverändertem Bauteilverhalten nach $n = 10^7$ Zyklen eine Langzeitstabilität bei dieser Belastung abgebildet werden (vgl. DIN 50100).

Empfehlung

Die Festlegung der Grenzdehnung nach Empfehlung dieser GSTT Arbeitsgruppe liegt bei $\varepsilon_{\text{fat},k} = 0,30 \%$ und entspricht damit den üblichen Ansätzen gemäß DIN EN 13121-3 (siehe: 3R international, Statische Bemessung von vor Ort härtenden Druck-schlauchlinern – Einfluss der Druckwechselbelastung durch Druckstöße, 04.05.2018).

Wenn mit dem Bauteilversuch gemäß DIN 3603 (DLT) Dehnungen von

$$\varepsilon_{\text{fat},d} \leq 0,20 \%$$

ermittelt werden und keine Materialveränderungen auftreten, kann davon ausgegangen werden, dass das Material keine Ermüdung erfährt und ein statischer Nachweis ausreicht. Andernfalls ist ein Nachweis nach Kapitel 8.1.3 zu führen.

8. Nachweise

8.1 Allgemeines

Bei den Nachweisen der Druckschlauchliner ist die Designabhängigkeit der Werkstoffkennwerte zu beachten.

Schlauchliner für Druckleitungen werden nach DIN EN ISO 11295 klassifiziert. Neben dem hauptsächlichen Einsatzzweck (unter Innendruck stehend) ist es erforderlich, auch äußere Lasten zu betrachten. Es wird auf das Kapitel 7.7 des Merkblattes RSV 1.2 verwiesen.

Tabelle 4: Einwirkungen auf den Druckschlauchliner in Abhängigkeit von Druckschlauchliner-Klasse und Lastfall als Grundlage für die statische Berechnung

Klassifizierung nach DIN EN ISO 11295	Lastfall nach DWA A 143-2	Einwirkungen von innen	Einwirkungen von außen
Klasse A Vollständig statisch belastbar*	Lastfall II Altrohr trägt auf Dauer nicht mit	<ul style="list-style-type: none"> Innendruck (Kesselformel sowie Überbrückung von Muffenspalten und Löchern) Unterdruck 	<ul style="list-style-type: none"> Wasseraußendruck Erd- und Verkehrslasten**
Klasse B Semi-statisch belastbar	Lastfall I Altrohr trägt mit	<ul style="list-style-type: none"> Innendruck (Überbrückung von Muffenspalten und Löchern, Schließen des Ringspaltes) Unterdruck 	<ul style="list-style-type: none"> Wasseraußendruck
			Unter Berücksichtigung vorhandener Imperfektionen

* in geraden Leitungsabschnitten

** Je nach Zustand trägt das Altrohr nicht auf Dauer den Innendruck, kann aber als Altrohr-Boden-System die Erd- und Verkehrslasten übernehmen, so dass diese nicht in der Linerstatik berücksichtigt werden müssen

Vom Planer sind somit innere und äußere Einwirkungen für die Leitung und deren Einsatzzweck anzugeben. Diese sind dem Tragwerksplaner z. B. mit dem ausgefüllten Baustellenfragebogen aus dem Anhang zu übergeben.

Die Beurteilung, ob das Altrohr über die geplante Nutzungsdauer des Druckschlauchliners noch ausreichend tragfähig ist, obliegt dem Planer!

Bei Druckschlauchlinern die mit dem Altrohr eine dauerhafte, kraftschlüssige Verbindung eingehen können, entstehen auch bei kleinen Zwangsbewegungen (z. B. aus Temperaturschwankungen) ggf. hohe Spannungsspitzen im Werkstoff, die zum Versagen führen können. Ein wichtiger grundlegender Schutz gegen ein solches Risiko, ist die Sicherstellung einer aktiven Ablösung des Liners vom Altrohr, z. B. durch die Verwendung einer permanenten externen Folie oder eines sog. Preliners.

8.2 Klasse A Druckschlauchliner (unabhängig)

Die Klasse A Druckschlauchliner werden mit dem Ziel der vollständigen Tragfähigkeit (langzeitig) gegenüber äußeren und inneren Einwirkungen eingebaut. Sie weisen daher gegenüber den Klasse B Linern einen anderen Wandaufbau auf und können abweichende Harzsysteme verwenden. Bei der Härtung entsteht ein geringer Ringspalt, der aus thermischem und chemischem Schrumpf resultiert.

Diese Druckschlauchliner benötigen das Altrohr lediglich als „Schalung“ zur Formgebung. Ein statischer Nachweis des Altrohres ist daher nicht erforderlich. Weiterhin überbrückt der Klasse A Liner Muffenspalte und Löcher.

Unter Einbau- und/oder Betriebsdruck wird der Liner in vorhandene Muffen und Löcher gedrückt. Es entstehen Spannungsspitzen im Material, da die Lagerungssituation von der planmäßigen Bettung abweicht; diese fehlende Bettung ist zu berücksichtigen.

8.2.1 Spannungsnachweise (Axiale Richtung)

Spannungen in Längsrichtung:

Die Zugspannungen in Längsrichtung aufgrund Temperaturänderung ergeben sich zu:

$$\sigma_{t,ax1} = \alpha \cdot (HDT - \Delta T_1 - T_0) \cdot E_{0,t} \quad (2.1)$$

mit:

$\sigma_{t,ax1}$ = nicht abgeleitete thermische Spannung, die während der Härtung entsteht

$E_{0,t}$ = Zug-E-Modul in Längsrichtung, kurzzeitig

ΔT_1 = Temperaturabfall, bei dem thermische Spannungen unter aufrechterhaltenem Einbaudruck abklingen; typischer Wertebereich: $\Delta T_1 = 0..20^\circ\text{C}$

T_0 = Umgebungstemperatur im Rohr

HDT = Heat Deflection Temperature (Wärmeformbeständigkeitstemperatur)

α = Wärmeausdehnungskoeffizient

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{t,ax1} \cdot \gamma_F}{\sigma_{c,ax,d}} \leq 1 \quad (5)$$

mit:

$\sigma_{c,ax,d}$ = Bemessungswert der Druckfestigkeit in Längsrichtung des Liners [N/mm²]

Weiterhin unterliegen die Druckschlauchliner dem Poisson-Effekt, der bei einem vorhandenen Innendruck dafür sorgt, dass sich der Liner in Längsrichtung ausdehnen möchte. Durch Bögen, Flansche, etc. ist der Druckschlauchliner jedoch in seiner Längsdehnung behindert, so dass im Material eine Druckspannung in Längsrichtung entsteht.

Diese Druckspannungen in Längsrichtung aufgrund Innendruck und dem Poissoneffekt ergeben sich zu:

$$\sigma_{t,ax2} = \nu \cdot \left(\frac{p \cdot R_m}{e_c} \right) \quad (2.2)$$

mit:

$\sigma_{t,ax2}$ = Spannung aufgrund Poisson-Effekt

p = Innendruck

e_c = Kompositwanddicke

R_m = mittlerer Liner-Radius

ν = Poissonzahl Längsrichtung

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{t,ax2} \cdot \gamma_F}{\sigma_{t,ax,d}} \leq 1 \quad (5)$$

mit:

$\sigma_{t,ax,d}$ = Bemessungswert der Zugfestigkeit in Längsrichtung des Liners [N/mm²]

Die oben genannten Zug- und Druckspannungen in Längsrichtung werden nicht überlagert.

8.2.2 Spannungsnachweise (Ringrichtung)

Spannung in Ringrichtung:

$$\max. \sigma_t = \frac{p_{i,MDP} \cdot 2R}{2 \cdot e_c} \leq \sigma_{t,d} = \frac{\sigma_{t,k}}{\gamma_M} \quad (3)$$

mit:

σ_t = Spannung in Ringrichtung [N/mm²]

$\sigma_{t,k}$ = charakteristische Festigkeit in Ringrichtung [N/mm²]

$p_{i,MDP}$ = max. Bemessungsdruck [N/mm²]

R = Radius [mm]

e_c = Kompositwanddicke [mm]

γ_M = Teilsicherheitsbeiwert Material [-]

Löcher | Biegespannungen

Mit den folgenden Berechnungsansätzen werden Löcher bis zu einem Durchmesser von **d = 50 mm** erfasst.

Anmerkung 1: Bei der Auslegung des Druckliners ist die mögliche Entstehung bzw. Vergrößerung vorhandener Löcher, bezogen auf die Lebensdauer des Druckliners, zu berücksichtigen.

Anmerkung 2: Löcher bis zu einem Durchmesser von d = 50 mm können von Druckschlauchlinern sicher überbrückt werden. Eine Korrosion von außen nach innen wird durch den Einbau eines Liners nicht unterbunden. Folglich ist ggf. planerisch ein neu entstehendes bzw. sich vergrößerndes Loch zu berücksichtigen.

Anmerkung 3: Grundsätzlich können auch größere Löcher nach dem gleichen Schema nachgewiesen werden, jedoch ist hier zu überprüfen, ob der Einsatz eines Druckschlauchliners sinnvoll ist. Unter Umständen kann die erwartete Lebensdauer des Liners herabgesetzt werden, wenn sich der jeweilige Nachweis ansonsten nicht mehr wirtschaftlich darstellen lässt.

Die Spannung am Rand des Loches beträgt:

$$\sigma_{fl,d} = \frac{0,75 \cdot p_{i,MDP} \cdot R_{hole}^2}{e_c^2} \quad (4)$$

mit:

$\sigma_{fl,d}$ = Bemessungswert der Spannung am Lochrand [N/mm²]

$p_{i,MDP}$ = Bemessungswert des Innendrucks [N/mm²]

R_{hole} = Radius der Öffnung / des Lochs [mm]

e_c = Kompositwanddicke [mm]

Die Spannung $\sigma_{fl,d}$ ist im Nachweis dem Bemessungswert der Biegefestigkeit in der schwächeren Richtung des Liners $\sigma_{r,d}$ gegenüberzustellen.

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{fl,d}}{\sigma_{r,d}} \leq 1 \quad (5)$$

mit:

$\sigma_{fl,d}$ = Bemessungswert der Biegespannung am Lochrand [N/mm²]

$\sigma_{r,d}$ = Bemessungswert der Biegefestigkeit in der schwächeren Richtung des Liners [N/mm²]

Löcher | Schubspannungen

Die Schubspannung am Rand des Lochs beträgt:

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{p_{i,MDP} \cdot R_{hole}}{2 \cdot e_c} \quad (6)$$

mit:

τ_{d} = Bemessungswert der Schubspannung am Lochrand [N/mm²]
 $p_{i,MDP}$ = Bemessungswert des Innendrucks [N/mm²]
 R_{hole} = Radius der Öffnung / des Lochs [mm]
 e_c = Kompositwanddicke [mm]

Nachweis:

$$\frac{\tau_d}{\tau_{r,d}} \leq 1 \quad (7)$$

mit:

τ_d = Bemessungswert der Schubspannung am Lochrand [N/mm²]
 $\tau_{r,d}$ = Schubfestigkeit [N/mm²]

Spalte | Biegespannungen

Mit den folgenden Berechnungsansätzen werden Spalte bis zu einer Breite von **b = 50 mm** erfasst.

Planerisch ist sicherzustellen, dass vorhandene Muffenspalte im Altrohr nicht größer sind, als im Nachweis zugrunde gelegt. Da der Nachweis für den Spalt maßgeblich für die Bemessung werden kann, ist ggf. bereits im Vorfeld der Renovierung festzulegen, dass Spalte anderweitig überbrückt werden (z. B. durch Verspachteln oder durch einen geeigneten, dehnungsbegrenzenden Stützschlauch).

Wird nachgewiesen, dass keine Muffenspalte vorliegen (z.B. im geschweißten Rohrstrang), kann der Nachweis für den Spalt entfallen.

Die Spannung am Spaltrand beträgt:

$$\sigma_{fl,d} = \frac{0,5 \cdot p_{i,MDP} \cdot b_{gap}^2}{e_c^2} \quad (8)$$

mit:

$\sigma_{fl,d}$ = Bemessungswert der Spannung am Spaltrand [N/mm²]
 $p_{i,MDP}$ = Bemessungswert des Innendrucks [N/mm²]
 b_{gap} = Breite des Spalts [mm]
 e_c = Kompositwanddicke [mm]

Die Spannung $\sigma_{fl,d}$ ist im Nachweis dem Bemessungswert der Biegefestigkeit in der Axialrichtung des Liners $\sigma_{r,d}$ gegenüberzustellen.

Nachweis:

$$\frac{\sigma_{fl,d}}{\sigma_{r,d}} \leq 1 \quad (9)$$

mit:

$\sigma_{fl,d}$ = Bemessungswert der Biegespannung am Spaltrand [N/mm²]

$\sigma_{r,d}$ = Bemessungswert der Biegefestigkeit in Längsrichtung des Liners [N/mm²]

Schubspannungen

Die Schubspannung am Spaltrand beträgt:

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{p_{i,MDP} \cdot b_{gap}}{2 \cdot e_c} \quad (10)$$

mit:

τ_d = Bemessungswert der Schubspannung am Spaltrand [N/mm²]

$p_{i,MDP}$ = Bemessungswert des Innendrucks [N/mm²]

b_{gap} = Breite des Spalts [mm]

e_c = Kompositwanddicke [mm]

Nachweis:

$$\frac{\tau_d}{\tau_{r,d}} \leq 1 \quad (11)$$

mit:

τ_d = Bemessungswert der Schubspannung am Spaltrand [N/mm²]

$\tau_{r,d}$ = Schubfestigkeit [N/mm²]

8.2.3 Interaktionsnachweis (Zug, Biegung)

Über die Wanddicke konstante Zugspannungen in Axial- (Gl. 2.1, 2.2) wie auch in Umfangsrichtung (Gl. 3) des Liners resultieren durch Innendruck und Temperatur. Biegespannungen, die sich den Zugspannungen überlagern, sind insbesondere eine Folge von Loch- (Gl. 4) und Spaltüberbrückungen (Gl. 8) sowie im Fall des hier betrachteten Klasse A Liners der Einwirkung von Erd- und Verkehrslasten. Weitere Einflüsse sind denkbar. Der Nachweis ist mit Hilfe der Gleichungen 12 bzw. 12.1 und 12.2 zu führen.

$$\frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,d}} + \frac{\sigma_{fl,d}}{f_{fl,d}} \leq 1,0 \quad (12)$$

Axialrichtung:
$$\frac{\sigma_{t,ax,d}}{f_{t,ax,d}} + \frac{\sigma_{fl,ax,d}}{f_{fl,ax,d}} \leq 1,0 \quad (12.1)$$

Umfangsrichtung:
$$\frac{\sigma_{t,\varphi,d}}{f_{t,\varphi,d}} + \frac{\sigma_{fl,\varphi,d}}{f_{fl,\varphi,d}} \leq 1,0 \quad (12.2)$$

Die jeweiligen Summanden ergeben sich wiederum aus einer Summe der aus den zu berücksichtigenden Lasteinwirkungen bzw. statischen Systeme resultierenden Auslastungen (Beanspruchung/Festigkeit). Der Biegespannungsanteil in Umfangsrichtung ergibt sich beim Klasse A-Liner aus dem Innendruck im Bereich der Loch- oder Spaltüberbrückung ($\sigma_{fl1,\varphi,d}$ in GL. 12.3) und der Einwirkung von Erd- und Verkehrslasten ($\sigma_{fl2,\varphi,d}$ in GL. 12.3):

$$\frac{\sigma_{fl,\varphi,d}}{f_{fl,\varphi,d}} = \frac{\sigma_{fl1,\varphi,d}}{f_{fl1,\varphi,d}} + \beta \cdot \frac{\sigma_{fl2,\varphi,d}}{f_{fl2,\varphi,d}} \quad (12.3)$$

Der Anteil aus Erd- und Verkehrslasten kann unter Berücksichtigung des Rückbiegeeffektes (re-rounding effect) bei gleichzeitiger Berücksichtigung des Innenruckes mit dem Faktor $\beta \leq 1,0$ abgemindert werden. Es wird empfohlen, diesen Faktor ohne weiteren Nachweis nicht kleiner als $\beta = 0,75$ anzusetzen.

8.2.4 Ermüdungsnachweis

Der Nachweis der Schwingfestigkeit erfolgt durch den Vergleich der Spannung aus zyklischer Einwirkung nach Gleichung (1) mit der Schwingfestigkeit des Liners. Dabei sind die Anzahl der Schwingspiele und die Design-Abhängigkeit der Schwingfestigkeit zu beachten.

$$\frac{\sigma_{fat,d}}{\Delta\sigma_{fat,d}} \leq 1 \quad (13)$$

mit:

$\sigma_{fat,d}$ = Bemessungswert der Spannung aus dynamischer Einwirkung [N/mm²]

$\Delta\sigma_{fat,d}$ = Bemessungswert der Schwingfestigkeit des Druckschlauchliners [N/mm²]

8.2.5 Nachweis für auftretenden Unterdruck

Aufgrund von schließenden Schiebern, abschaltenden Pumpen o. ä. kann in Druckleitungen ein kurzzeitiges Vakuum entstehen.

Die Ermittlung der Schnittgrößen erfolgt mit einem radial konstanten charakteristischen Unterdruck $p_{i,VAC}$ unter Berücksichtigung einer lokalen, örtlich begrenzten Vorverformung von $\omega_v = 2,0 \%$ von r_L an einer definierten Stelle (z. B. Sohle) und einem Öffnungswinkel von $2\varphi' = 40^\circ$. Eine ggf. vorhandene, ungünstige Ovalisierung der Leitung muss durch einen geeigneten Ansatz einer Imperfektion berücksichtigt werden.

Die Berechnung des Druckschlauchliners kann näherungsweise nach dem Arbeitsblatt DWA-A 143-2 für den Altrohrzustand I mit den vorgenannten Standard-Imperfektionen und einer Ersatzwassersäule erfolgen. Diese muss mit dem anstehenden äußeren Wasserdruck überlagert werden. Die Lage der örtlich begrenzten Vorverformung ω_v muss hierbei in der Sohle an der Stelle des max. Wasserdrucks liegen.

Der Nachweis erfolgt mit den kurzzeitigen Werkstoffkennwerten.

8.2.6 Nachweise im drucklosen Zustand

Bei Außerbetriebnahme (kurz- und/oder langfristig) werden die äußeren Einwirkungen für die entleerte Druckleitung maßgebend. Diese können sein:

- Grundwasseraußendruck
- Erdlasten
- Verkehrslasten
- Hochwasser

Für die erforderlichen Spannungs-, Verformungs- und Stabilitätsnachweise können die Arbeitsblätter:

DWA-A 143-2
ATV-DVWK A 127

herangezogen werden.

Anstatt der langzeitigen Werkstoffkennwerte, können für die Berechnung die Werkstoffkennwerte aus den Zeitstandskurven herangezogen werden, die für die Dauer des drucklosen Zustandes ermittelt wurden.

Bezüglich der Imperfektionen dürfen ermittelte Ist-Werte in Ansatz gebracht werden, die die Mindestwerte der o. g. Arbeitsblätter unterschreiten können.

8.3 Klasse B Druckschlauchliner (interaktiv)

Die Klasse B Druckschlauchliner weisen einen geringen Ringspalt auf, der aus thermischem und chemischem Schrumpfung während der Härtung resultiert.

Unter beginnendem Innendruck wird dieser Ringspalt zunächst geschlossen und dabei eine Dehnung des Materials in Ringrichtung erzeugt. Nach dem vollständigen Anliegen des Liners an der Altrohrwandung wird der weitere Innendruck auf das Altrohr übertragen und von diesem aufgenommen.

Im Gegensatz zum Klasse A Druckschlauchliner benötigen die Klasse B Liner deshalb ein statisch tragfähiges Altrohr.

Im Weiteren überbrückt der Klasse B Liner Muffenspalte und Löcher. Daher werden auch die Nachweise des Klasse A Liners erforderlich.

Der Nachweis der Altrohre (= bestehende Druckleitung) ist nicht Gegenstand dieses Kapitels und wird für die Klasse B Liner als gegeben vorausgesetzt.

8.3.1 Spannungs- / Dehnungsnachweis (Umfangs- u. Axialrichtung)

Für den Klasse B Liner ist zunächst der Nachweis der Dehnung des Materials zu führen. Es reicht jedoch nicht aus, dass der Ringspalt geschlossen werden kann, ohne dass die berücksichtigte Umfangsbruchdehnung des Liner-Materials überschritten wird: der Liner muss auch eine ausreichend niedrige Umfangssteifigkeit aufweisen, damit sich der Spalt entweder sofort oder innerhalb kurzer Zeit nach Aufbringen des Betriebsdrucks schließt, d. h.:

$$w_s \leq \frac{p_i \cdot R_i}{E \cdot e_c} \quad (14)$$

mit:

w_s = Spaltweite [mm]

p_i = Innendruck [N/mm²]

R_i = Innenradius Druckrohr [mm]

e_c = Kompositwanddicke Druckschlauchliner [mm/mm]

E = Zug-E-Modul (kurzzeitig) Druckschlauchliner [N/mm²]

Dehnung in Ringrichtung:

Die Dehnung bei einer Ringspaltweite von $w_s = 0,5 \%$ von r_L (Standardwert nach DWA-A 143-2) errechnet sich zu:

$$\varepsilon = 0,5 \% \quad (15)$$

Nachweis:

$$\varepsilon \leq \frac{\varepsilon_{Bruch}}{\gamma_M} \quad (16)$$

mit:

ε = Dehnung [mm]

ε_{Bruch} = Dehnung beim Bruch [mm] (kurzzeitig)

γ_M = Teilsicherheitsbeiwert Material [-]

Im Weiteren werden die Berechnungen und Nachweise aus dem Kapitel 8.1ff (Klasse A Druckschlauchliner) auf den Klasse B Druckschlauchliner angewendet.

8.3.2 Interaktionsnachweis (Zug, Biegung)

Über die Wanddicke konstante Zugspannungen in Axial- (Gl. 2.1, 2.2) wie auch in Umfangsrichtung (Gl. 3, 15) des Liners resultieren durch Innendruck und Temperatur. Biegespannungen, die sich den Zugspannungen überlagern, sind insbesondere eine Folge von Loch- (Gl. 4) und Spaltüberbrückungen (Gl. 8). Weitere Einflüsse sind denkbar. Der Nachweis ist mit Hilfe der Gleichungen 17 bzw. 17.1 und 17.2 zu führen.

$$\frac{\sigma_{t,d}}{f_{t,d}} + \frac{\sigma_{fl,d}}{f_{fl,d}} \leq 1,0 \quad (17)$$

Axialrichtung:
$$\frac{\sigma_{t,ax,d}}{f_{tax,d}} + \frac{\sigma_{fl,ax,d}}{f_{fl,ax,d}} \leq 1,0 \quad (17.1)$$

Umfangsrichtung:
$$\frac{\sigma_{t,\varphi,d}}{f_{t\varphi,d}} + \frac{\sigma_{fl,\varphi,d}}{f_{fl,\varphi,d}} \leq 1,0 \quad (17.2)$$

Die jeweiligen Summanden ergeben sich wiederum aus einer Summe der aus den zu berücksichtigenden Lasteinwirkungen bzw. statischen Systeme resultierenden Auslastungen (Beanspruchung/Festigkeit).

9. Anhang

Mindestangaben zur Statik nach GSTT-Info 20-2 bei der Renovierung von Druckleitungen

Allg. Daten

Projektbezeichnung: _____ Datum: _____

Altrohr (Ist-Maße)

Innendurchmesser: D_i _____ mm Material: _____
 Außendurchmesser: D_a _____ mm Spaltbreite Muffe _____ mm
 sofern bekannt, Restwanddicke: t = _____ mm Lochgröße* \varnothing _____ mm

Druckschlauchliner

Material: ☐ glasfaserverstärkt ☐ glasfaserverstärkte Synthesefaser
☐ Synthesefaser ☐ Gewebeschlauch m. Verstärkung

Klassifizierung nach DIN EN ISO 11295

☐ Klasse A – voll statisch belastbar
☐ Klasse B – semi-statisch belastbar

Innere Einwirkungen

Innendruck max. Betriebsdruck (char.): $p_{i,MOP}$ _____ bar
 max. Bemessungsdruck / Druckklasse [PN]: $p_{i,MDP}$ _____ bar
 Unterdruck: $p_{i,VAC}$ _____ bar
 Prüfdruck: $p_{i,STP}$ _____ bar

Druckänderungen Druckstoß: Δp_i _____ bar
 Anzahl Lastwechsel*: n _____ [-]

Temperatur Erwärmung: $\Delta \vartheta_1$ _____ K
 Abkühlung: $\Delta \vartheta_2$ _____ K

Äußere Einwirkungen

Überdeckungshöhe (min./max.): _____ m bis _____ m
 Grundwasserstand ü. Rohrsohle (min./max.): _____ m bis _____ m ☐ nicht vorhanden

Verkehrslast ☐ LM1 ☐ $\frac{1}{2} \cdot LM1$ ☐ LM71 andere ☐ _____

Imperfektionen: örtl. begrenzte Vorverformung ω_v = _____ % von r_L
 Spaltweite ω_s = _____ % von r_L
 Gelenkringvorverformung $\omega_{Gr,v}$ = _____ % von r_L

Bettung Altrohr/Liner nach ATV-DVWK-A 127:

☐ G1 nicht bindiger Boden ☐ G3 bindiger Mischboden
☐ G2 schwach bindiger Boden ☐ G4 bindiger Boden
☐ gem. Gutachten bzw. geotechnischem Bericht (Anlage)
 Verdichtungsgrad D_{Pr} : ☐ 90 % ☐ 92 % ☐ 95 % ☐ 97 % ☐ _____ %

Für die Bemessung relevante Betriebszustände sind dem aufstellenden Tragwerksplaner zu benennen.

*) Angabe der bemessungsrelevanten Größe über die geplante Nutzungsdauer des Druckschlauchliners

10. Rechenbeispiel – Abwasserdruckleitung DN 300

10.1 Eingangsdaten, Werkstoffkennwerte

GFK-Schlauchliner für Abwasserdruckleitung:

Eigengewicht:	$\gamma_L = 15,0 \text{ kN/m}^3$
Werkstoff orthogonal anisotrop:	$\mu_{ax} = 0,10 [-]$ (axial) $\mu_{\varphi} = 0,30 [-]$ (radial)
Abminderungsfaktor f. dauernde Lasten:	$A_1 = 1,30 [-]$
E-Modul kurzzeitig, Umfangsrichtung:	$E_{k,\varphi} = 19.000 \text{ N/mm}^2$
E-Modul langfristig, Umfangsrichtung:	$E_{l,\varphi} = 14.615 \text{ N/mm}^2$
E-Modul kurzzeitig, axial:	$E_{k,ax} = 14.000 \text{ N/mm}^2$
E-Modul langfristig, axial:	$E_{l,ax} = 10.769 \text{ N/mm}^2$
Biegezugfestigkeit, kurzzeitig, Umfangsrichtung:	$\sigma_{fl,k,\varphi} = 280,0 \text{ N/mm}^2$
Biegezugfestigkeit, langfristig, Umfangsrichtung:	$\sigma_{fl,l,\varphi} = 215,4 \text{ N/mm}^2$
Biegezugfestigkeit, kurzzeitig, axial:	$\sigma_{fl,k,ax} = 70,0 \text{ N/mm}^2$
Biegezugfestigkeit, langfristig, axial:	$\sigma_{fl,l,ax} = 57,7 \text{ N/mm}^2$

Die Werte der Biegedruckfestigkeit werden vereinfacht auf den Wert der Biegezugfestigkeit gesetzt.

Zugfestigkeit, kurzzeitig, radial:	$\sigma_{t,k,\varphi} = 280,0 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit, langfristig, radial:	$\sigma_{t,l,\varphi} = 215,4 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit, kurzzeitig, axial:	$\sigma_{t,k,ax} = 70,0 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit, langfristig, axial:	$\sigma_{t,l,ax} = 57,7 \text{ N/mm}^2$
Schubfestigkeit kurzzeitig, radial:	$\tau_{k,\varphi} = 17,0 \text{ N/mm}^2$
Schubfestigkeit langfristig, radial:	$\tau_{l,\varphi} = 13,1 \text{ N/mm}^2$
Schubfestigkeit kurzzeitig, axial:	$\tau_{k,ax} = 13,0 \text{ N/mm}^2$
Schubfestigkeit langfristig, axial:	$\tau_{l,ax} = 10,0 \text{ N/mm}^2$

Altrohr:

Material:	Gusseisen, duktil
Wanddicke:	$s = 5,6 \text{ mm}$
Eigengewicht:	$\gamma_{AR} = 70,5 \text{ kN/m}^3$
E-Modul:	$E_{AR} = 170.000 \text{ N/mm}^2$
Biegezugfestigkeit:	$\sigma_{fl,AR} = 210,0 \text{ N/mm}^2$
Druckfestigkeit:	$\sigma_{D,AR} = 275,0 \text{ N/mm}^2$
Teilsicherheitsbeiwert Material:	$\gamma_M = 1,11 [-]$
Rohrlänge:	$L_{AR} = 3,0 \text{ m}$

10.2 Einwirkungen

Lasten:

Grundwasserstand über Rohrsohle	$h_{W,So} = 1,50 \text{ m}$
Innendruck (char.):	$p_{i,k} = 3,0 \text{ bar}$
Innendruck:	$p_{i,MDP} = 4,5 \text{ bar}$
Spaltweite:	$b_{gap} = 30 \text{ mm}$
Lochdurchmesser:	$d_{hole} = 50 \text{ mm}$
Teilsicherheitsbeiwert Innendruck:	$\gamma_F = 1,5 [-]$
Erdüberdeckung über Rohrscheitel:	$h_{\ddot{u}} = 1,78 \text{ m}$
Bodenart gem. DWA-A 127, Tabelle 1:	G3
Innerer Reibungswinkel:	$\phi' = 25^\circ$
Verformungsmodul des Bodens:	$E_2 = 5,0 \text{ N/mm}^2$
Erddruckbeiwert:	$K_2 = 0,2 [-]$
Verkehrslast gem. DIN EN 1991-2:	LM1 (3 m Fahrstreifen)
Dickes des Fahrbahnbelags:	$d = 0,50 \text{ m}$

10.3 Stabilitätsnachweis gem. DWA-A 143-2 (ARZ III) für einen Druckleitungsschlauchliner Klasse A gem. DIN EN ISO 11295, Tabelle 17

Die nachfolgenden Berechnungen wurden mit dem Programm *EasyPipe*, Version 2.7.5.0, ausgeführt.

Für den Stabilitätsnachweis werden die in Längsrichtung schwächeren Werkstoffkennwerte verwendet.

Stabilitätsnachweis mit Innendruck; es werden folgende Lastfallkombinationen (LK) betrachtet:

LK	Ringspalt	örtl. begrenzte Vorverformung	Gelenkringvorverformung	GW über Rohrsohle	Verkehrslast	Erdlast
LK1	0,0 %	0,0 %	-	0,00 m	x	x
LK2	0,5 %	2,0 %	-	1,50 m	x	x
LK3	0,0 %	0,0 %	-	1,50 m	x	x
LK4	0,5 %	2,0 %	3,0 %	1,50 m	-	-

Der maßgebende Nachweis der Stabilität erfolgt über die im Abschnitt 7.6.4.2 (DWA-A 143-2) zugelassene (genauere) Variante einer Berechnung nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Vorverformungen und der Spaltbildung. Hierbei wird numerisch überprüft, ob ein elastisches Stabilitätsversagen (Beulen) unter γ -facher Last eintritt.

Darüber hinaus wird geprüft, ob die bei dieser Berechnung ermittelten Spannungen die vorgegeben maximalen Grenzspannungen für Zug und Druck mit einfacher Sicherheit nicht überschreiten.

Spannungsnachweis, außen:

Fläche (Wanddicke):

 $A = 7,70 \text{ mm}^2/\text{mm}$ Widerstandsmoment, außen $W_e = t_L^2/6$: $W_e = 9,88 \text{ mm}^3/\text{mm}$

Korrekturfaktor (verformtes System)

$$\alpha_{ka} = 1 - [(t_L / (3 \cdot r_L))]$$

Element i:

Korrekturfaktor (Verformtes System) α_k :Normalkraft in Element N_d :Moment in Element M_d :

Druck	Zug	
71	53	[-]
0,98	0,98	[-]
38,18	33,16	N/mm ²
352,83	-231,62	Nmm/mm

Spannung in Element

$$\max \sigma_d = [(N_d / A) - \alpha_{ka}] \cdot (M_d / W_e)$$

max σ_d :-30,12 27,33 N/mm²

Zul. Spannung, Langzeit, Design

$$\sigma_{D,L,d} = \sigma_{D,L} / \gamma_M$$

 $\sigma_{L,d}$:-42,74 42,74 N/mm²Ausnutzung Spannungen U_σ

70,5 64,0 %

Spannungsnachweis, innen:

Fläche (Wanddicke):

 $A = 7,70 \text{ mm}^2/\text{mm}$ Widerstandsmoment, außen $W_e = t_L^2/6$: $W_e = 9,88 \text{ mm}^3/\text{mm}$

Korrekturfaktor (verformtes System)

$$\alpha_{ka} = 1 - [(t_L / (3 \cdot r_L))]$$

Element i:

Korrekturfaktor (Verformtes System) α_k :Normalkraft in Element N_d :Moment in Element M_d :

Druck	Zug	
54	0	[-]
1,02	1,02	[-]
33,15	38,18	N/mm ²
-231,62	352,83	Nmm/mm

Spannung in Element

$$\max \sigma_d = [(N_d / A) - \alpha_{ka}] \cdot (M_d / W_e)$$

max σ_d :-19,55 41,29 N/mm²

Zul. Spannung, Langzeit, Design

$$\sigma_{D,L,d} = \sigma_{D,L} / \gamma_M$$

 $\sigma_{L,d}$:-42,74 42,74 N/mm²Ausnutzung Spannungen U_σ

45,7 96,6 %

Spannungsnachweis Liner-Material unter Zwang:

Bei dieser Berechnung wurde mit allen vorgegebenen Teilsicherheiten gerechnet, außer dem für das E-Modul. Dieser wurde nach DWA A 143-2, Tabelle 19 mit 1,0 multipliziert, also nicht abgemindert. Die zul. Spannungen wurden abgemindert.

Spannungsnachweis, außen:

Fläche (Wanddicke):

A = 7,70 mm²/mmWiderstandsmoment, außen $W_e = t_L^2/6$: $W_e = 9,88 \text{ mm}^3/\text{mm}$

Korrekturfaktor (verformtes System)

$$\alpha_{ka} = 1 - [(t_L / (3 \cdot r_L))]$$

Element i:

Druck	Zug	
71	53	[-]
0,98	0,98	[-]
41,29	36,22	N/mm ²
362,51	-243,00	Nmm/mm

Korrekturfaktor (Verformtes System) α_k :Normalkraft in Element N_d :Moment in Element M_d :

Spannung in Element

$$\max \sigma_d = [(N_d / A) - \alpha_{ka}] \cdot (M_d / W_e)$$

max σ_d :-30,68 28,86 N/mm²

Zul. Spannung, Langzeit, Design

$$\sigma_{D,L,d} = \sigma_{D,L} / \gamma_M$$

 $\sigma_{L,d}$:-42,74 42,74 N/mm²Ausnutzung Spannungen U_σ

71,8 67,5 %

Spannungsnachweis, innen:

Fläche (Wanddicke):

A = 7,70 mm²/mmWiderstandsmoment, außen $W_e = t_L^2/6$: $W_e = 9,88 \text{ mm}^3/\text{mm}$

Korrekturfaktor (verformtes System)

$$\alpha_{ka} = 1 - [(t_L / (3 \cdot r_L))]$$

Element i:

Druck	Zug	
54	0	[-]
1,02	1,02	[-]
36,21	41,29	N/mm ²
-243,00	362,51	Nmm/mm

Korrekturfaktor (Verformtes System) α_k :Normalkraft in Element N_d :Moment in Element M_d :

Spannung in Element

$$\max \sigma_d = [(N_d / A) - \alpha_{ka}] \cdot (M_d / W_e)$$

max σ_d :-20,32 42,69 N/mm²

Zul. Spannung, Langzeit, Design

$$\sigma_{D,L,d} = \sigma_{D,L} / \gamma_M$$

 $\sigma_{L,d}$:-42,74 42,74 N/mm²Ausnutzung Spannungen U_σ

47,5 99,9 %

10.4 Stabilitätsnachweis gem. DWA-A 143-2 (ARZ I) für einen Druckleitungsschlauchliner Klasse B gem. DIN EN ISO 11295, Tabelle 17

Die nachfolgenden Berechnungen wurden mit dem Programm LinerB, Version 8.2 ausgeführt.

Für den Stabilitätsnachweis werden die in Längsrichtung schwächeren Werkstoffkennwerte verwendet.

Stabilitätsnachweis mit Innendruck. Innendruck = $p_{i,VAC} = -0,8$ bar gem. DIN EN 476; Berechnung als konstanter Wasseraußendruck.

Wanddicke	$t_L = 3,0$ mm
Konstanter Außendruck	$p_{0,d} = 120,00$ kN/m ²
Durchschlagbeiwert für starr gebettete Liner ohne Vorverformung und ohne Spalt $\alpha_D = 2,62 \cdot (r_L/t_L)^{0,8}$	$\alpha_D = 59,43$ [-]
Rohrsteifigkeit des Liners	$S_{L,d} = 6,19$ kN/m ²
Durchschlaglast $w_v = w_s = 0$ krit $p_{a,d} = \alpha_D \cdot S_{L,d}$	krit $p_{a,d} = 368,08$ kN/m ²
Abminderungsfaktor	$\kappa_{v,s} = 0,470$ [-]
Abgeminderte Durchschlaglast krit $p_{a,d}$	
krit $p_{a,d} = \kappa_{v,s} \cdot \alpha_D \cdot S_{L,d}$	krit $p_{a,d} = 173,10$ kN/m ²
Nachweis gegen Durchschlagen	
$p_{0,d} / \text{krit } p_{a,d} \leq 1$	$0,693$ [-]

10.5 Nachweis Innendruck für einen Druckleitungs-Liner Klasse A (bzw. B) gem. DIN EN ISO 11295

Der Lastfall Innendruck ($p_{i,MDP} = 4.5 \text{ bar}$) wird mit der „Kesselformel“ berechnet – die Zugfestigkeit des Materials auf Design-Niveau ist:

$$\sigma_{t,\varphi,d} = 215,4 / 1,60 = 134,6 \text{ N/mm}^2$$

Ermittlung der min. erforderlichen Kompositwanddicke: A

$$\begin{aligned} e_c &= p_{i,MDP} \cdot 2R / 2\sigma_{t,\varphi,d} \\ &= 0,45 \cdot 2 \cdot 150 / 2 \cdot 134,6 \end{aligned} \quad (3)$$

$$e_c = 0,5 \text{ mm}$$

10.6 Nachweis Muffenspalt für einen Druckleitungsschlauchliner Klasse A (bzw. B) gem. DIN EN ISO 11295

Die Biegezugfestigkeit des Materials (in der schwächeren Richtung) auf Design-Niveau ist $f_{fl,ax,d} = 57,7 / 1,60 = 36,1 \text{ N/mm}^2$

Die Biegezugspannung am Spaltrand beträgt:

$$\begin{aligned} \sigma_{fl,d} &= 0,5 \cdot p_{i,MDP} \cdot b_{gap}^2 / e_c^2 \\ &= 0,5 \cdot 0,45 \cdot 30^2 / e_c^2 \end{aligned} \quad (7)$$

Somit ergibt sich die min. erforderliche Wanddicke zu:

$$e_c = 2,4 \text{ mm}$$

Die Scher- bzw. Schubfestigkeit des Materials (in der schwächeren Richtung) auf Design-Niveau ist $\tau_{ax,d} = 10,0 / 1,60 = 6,3 \text{ N/mm}^2$.

Die Schubspannung am Spaltrand beträgt:

$$\begin{aligned} \tau_d &= 1,5 \cdot p_{i,MDP} \cdot b_{gap} / 2 \cdot e_c \\ &= 1,5 \cdot 0,45 \cdot 30 / 2 \cdot e_c \end{aligned} \quad (9)$$

Somit ergibt sich die min. erforderliche Wanddicke zu:

$$e_c = 1,7 \text{ mm}$$

10.7 Nachweis Loch für einen Druckleitungsschlauchliner Klasse A (bzw. B) gem. DIN EN ISO 11295

Die Biegezugfestigkeit des Materials (in der schwächeren Richtung) auf Design-Niveau ist $\sigma_{fl,ax,d} = 57,7 / 1,60 = 36,1 \text{ N/mm}^2$

Die Biegezugspannung am Lochrand beträgt:

$$\begin{aligned}\sigma_{fl,d} &= 0,75 \cdot p_{l,MDP} \cdot R_{hole}^2 / e_c^2 \\ &= 0,75 \cdot 0,45 \cdot 25^2 / e_c^2\end{aligned}\quad (3)$$

Somit ergibt sich die min. erforderliche Wanddicke zu:

$$e_c = 2,4 \text{ mm}$$

Die Scher- bzw. Schubfestigkeit des Materials (in der schwächeren Richtung) auf Design-Niveau ist $\tau_{ax,d} = 10,0 / 1,60 = 6,3 \text{ N/mm}^2$.

Die Schubspannung am Lochrand beträgt:

$$\begin{aligned}\tau_d &= 1,5 \cdot p_{l,MDP} \cdot R_{hole} / 2 \cdot e_c \\ &= 1,5 \cdot 0,45 \cdot 25 / 2 \cdot e_c\end{aligned}\quad (5)$$

Somit ergibt sich die min. erforderliche Wanddicke zu:

$$e_c = 1,4 \text{ mm}$$

10.8 Interaktionsnachweis Loch für einen Druckleitungsschlauchliner Klasse A (bzw. B) gem. DIN EN ISO 11295

Die Zugfestigkeit des Materials auf Design-Niveau ist $f_{t,\varphi,d} = 215,4 / 1,60 = 134,6 \text{ N/mm}^2$ in Umfangsrichtung und $f_{t,ax,d} = 57,7 / 1,60 = 36,1 \text{ N/mm}^2$ in Längsrichtung.

Die Biegezugfestigkeit des Materials auf Design-Niveau ist $f_{fl,\varphi,d} = 215,4 / 1,60 = 134,6 \text{ N/mm}^2$ in Umfangsrichtung und $f_{fl,ax,d} = 57,7 / 1,60 = 36,1 \text{ N/mm}^2$ in Längsrichtung.

Nachweise

Axialrichtung:
$$\frac{\sigma_{t,ax,d}}{f_{t,ax,d}} + \frac{\sigma_{fl,ax,d}}{f_{fl,ax,d}} \leq 1,0 \quad (12.1)$$

$$(6,25 / 134,6) + (28,94 / 36,1) = 0,98 \leq 1,00$$

Ufangsrichtung:
$$\frac{\sigma_{t,\varphi,d}}{f_{t,\varphi,d}} + \frac{\sigma_{fl,\varphi,d}}{f_{fl,\varphi,d}} \leq 1,0 \quad (12.2)$$

$$(25,00 / 134,6) + (28,94 / 36,1) = 0,40 \leq 1,00$$

Die dafür min. erforderliche Wanddicke ergibt sich zu:

$$e_c = 2,7 \text{ mm}$$

10-9 Interaktionsnachweis Spalt für einen Druckleitungsschlauchliner Klasse A (bzw. B) gem. DIN EN ISO 11295

Die Zugfestigkeit des Materials auf Design-Niveau ist $f_{t,\varphi,d} = 215,4 / 1,60 = 134,6 \text{ N/mm}^2$ in Umfangsrichtung und $f_{t,ax,d} = 57,7 / 1,60 = 36,1 \text{ N/mm}^2$ in Längsrichtung.

Die Biegefestigkeit des Materials auf Design-Niveau ist $f_{fl,\varphi,d} = 215,4 / 1,60 = 134,6 \text{ N/mm}^2$ in Umfangsrichtung und $f_{fl,ax,d} = 57,7 / 1,60 = 36,1 \text{ N/mm}^2$ in Längsrichtung.

Nachweise

Axialrichtung:
$$\frac{\sigma_{t,ax,d}}{f_{t,ax,d}} + \frac{\sigma_{fl,ax,d}}{f_{fl,ax,d}} \leq 1,0 \quad (12.1)$$

$$(3,44 / 134,6) + (32,40 / 36,1) = 0,99 \leq 1,00$$

Ufangsrichtung:
$$\frac{\sigma_{t,\varphi,d}}{f_{t,\varphi,d}} + \frac{\sigma_{fl,\varphi,d}}{f_{fl,\varphi,d}} \leq 1,0 \quad (12.2)$$

$$(13,78 / 134,6) + (32,40 / 36,1) = 0,34 \leq 1,00$$

Die dafür min. erforderliche Wanddicke ergibt sich zu:

$$e_c = 4,9 \text{ mm}$$

Mitgewirkt haben (alphabetisch):

Dipl.-Ing. Heiko Below, Dresden
Dr.-Ing. Heinz Doll, Marktbergel (stv. Sprecher)
Dipl.-Ing. Delia Ewert, Hamburg
Dipl.-Ing., M. Eng. Jens Goll, Rohrbach
Dipl.-Ing. Stefan Hildebrandt, Berlin
Prof. Dr.-Ing. Albert Hoch, Mimberg
Robert Hochstaffl, Rohrbach
Dipl.-Ing. Thomas Hoffmann, Döbeln
Dipl.-Ing. Albert Kappauf, Röthenbach
Dr.-Ing. Susanne Leddig-Bahls, Rustow
Dipl.-Ing. Theodoros Maimanakos, Velten
Dipl.-Ing.(FH) Markus Maletz, Nürnberg (Sprecher)
Dipl.-Ing.(FH), M. Eng. Frederik Müller, Nürnberg
Dipl.-Ing. Lars Quernheim, Velten

Besonderer Dank gilt Dr. John Gumbel (UK) für seine Unterstützung und Mithilfe während des Einspruchsverfahrens.



GERMAN SOCIETY FOR TRENCHLESS TECHNOLOGY E.V.

Deutsche Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen e.V.

Kurfürstenstr. 129, D – 10785 Berlin
Tel.: +49 30 81 45 59 84, Fax: +49 30 22 18 77 65
E-Mail: info@gstt.de, Internet: www.gstt.de