

STATISCHE BERECHNUNG nach ATV-DVWK-A 127

**für POLYCRETE® Kanalrohre mit Drachenquerschnitt  
und Falzmuffe**

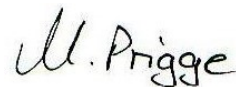
**Statik-Nr.:** PRC – OK – 23 – 08 – 02

**Bauvorhaben:** Magdeburg – 2.Nord-Süd-Verbindung Straßenbahn – BA4 – Los 5

**Nennweite:** DN 2000 (Drachen)

Aufgestellt:

Neetze, den 25. August 2023



.....  
(gez. M. Prigge)

meyer-POLYCRETE GmbH  
Werk Stendal  
Hoher Weg 7, 39576 Stendal  
Tel.: 03931 6729-10 Fax: 03931 6729-30

**Wichtige Hinweise :**

Die Berechnung erfolgt ausschließlich aufgrund der Angaben des Kunden und setzt deren Richtigkeit voraus. Bei Errichtung des Bauwerks sind die gesetzlichen Bestimmungen und anerkannten Regeln der Technik einzuhalten.

Für etwaige Berechnungsfehler haften wir und unsere Erfüllungsgehilfen nur bei Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit.

Weitergehende vertragliche oder außervertragliche Ansprüche sind ausgeschlossen. Unsere Haftung erlischt in jedem Fall 2 Jahre nach Abnahme, spätestens jedoch 2 Jahre nach Beendigung des Bauwerks.

Die Berechnung wurde für den Fall erstellt, daß das Projekt mit von uns gelieferten Materialien ausgeführt wird.  
**Sie darf nur für diesen Fall benutzt**

**werden.** Die Kosten der Berechnung sind entweder in unserem Leistungspaket enthalten oder werden gesondert in Rechnung gestellt. Für etwaige Schäden, die bei unbefugter Benutzung entstehen, lehnen wir jegliche Haftung ab.



---

## Statische Berechnung

Bauvorhaben: Magdeburg-2.Nord-Süd-Verbindung-BA4-Los 5

Beschreibung: POLYCRETE Kanalrohr DN2000 Drachen  
mit Falzmuffenverbindung

Bearbeiter: Martin Prigge  
meyer-POLYCRETE GmbH - Büro Neetze  
Tel : +49(5850)18-292  
Fax: +49(5850)18-295  
martin.prigge@meyer-polycrete.com  
www.meyer-polycrete.com

Statik-Nr.: Statik-PRC-OK-23-08-02-DN2000Drachen

Datum: 25.08.2023

## Inhaltsangabe

<b>1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A4B4-hümax=4,80m-BA120°-Sockel</b>	<b>7</b>
1.1 Eingaben	7
1.1.1 Sicherheiten	7
1.1.2 Boden	8
1.1.3 Belastung	8
1.1.4 Einbau	8
1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr	8
1.1.5.1 Polymer-Beton	8
1.2 Ergebnisse	10
1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	10
1.2.1.1 Materialeigenschaften	10
1.2.1.2 Sicherheiten	10
1.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	10
1.2.2 Zwischenergebnisse	10
1.2.2.1 Silotheorie	10
1.2.2.2 Belastung	11
1.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB	11
1.2.2.4 Bodensteifigkeiten	11
1.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	11
1.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	11
1.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse	11
1.2.2.8 Beiwerte	11
1.2.2.9 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$	11
1.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang	12
1.2.3 Schnittkräfte	12
1.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit	12
1.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit	12
1.2.4 Nachweise Kurzzeit	13
1.2.4.1 Spannungsnachweis	13
1.2.4.2 Verformungsnachweis	13
1.2.5 Nachweise Langzeit	14
1.2.5.1 Spannungsnachweis	14
1.2.5.2 Verformungsnachweis	14
1.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear	14
<b>2 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A1B1-hümax=4,20m-BA120°-Sockel</b>	<b>15</b>
2.1 Eingaben	15
2.1.1 Sicherheiten	15
2.1.2 Boden	16
2.1.3 Belastung	16
2.1.4 Einbau	16
2.1.5 Vollwand/Profil-Rohr	16
2.1.5.1 Polymer-Beton	16

2.2 Ergebnisse	18
2.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	18
2.2.1.1 Materialeigenschaften	18
2.2.1.2 Sicherheiten	18
2.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	18
2.2.2 Zwischenergebnisse	18
2.2.2.1 Silotheorie	18
2.2.2.2 Belastung	19
2.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB	19
2.2.2.4 Bodensteifigkeiten	19
2.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	19
2.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	19
2.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse	19
2.2.2.8 Beiwerte	19
2.2.2.9 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$	20
2.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang	20
2.2.3 Schnittkräfte	20
2.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit	20
2.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit	20
2.2.4 Nachweise Kurzzeit	21
2.2.4.1 Spannungsnachweis	21
2.2.4.2 Verformungsnachweis	21
2.2.5 Nachweise Langzeit	21
2.2.5.1 Spannungsnachweis	21
2.2.5.2 Verformungsnachweis	22
2.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear	22
<b>3 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A2B2-hümax=3,30m-BA120°-Sockel</b>	<b>23</b>
3.1 Eingaben	23
3.1.1 Sicherheiten	23
3.1.2 Boden	24
3.1.3 Belastung	24
3.1.4 Einbau	24
3.1.5 Vollwand/Profil-Rohr	24
3.1.5.1 Polymer-Beton	24
3.2 Ergebnisse	26
3.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	26
3.2.1.1 Materialeigenschaften	26
3.2.1.2 Sicherheiten	26
3.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	26
3.2.2 Zwischenergebnisse	26
3.2.2.1 Silotheorie	27
3.2.2.2 Belastung	27
3.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB	27
3.2.2.4 Bodensteifigkeiten	27
3.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	27
3.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	27
3.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse	27
3.2.2.8 Beiwerte	27
3.2.2.9 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$	28
3.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang	28
3.2.3 Schnittkräfte	28
3.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit	28

3.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit	28
3.2.4 Nachweise Kurzzeit	29
3.2.4.1 Spannungsnachweis	29
3.2.4.2 Verformungsnachweis	30
3.2.5 Nachweise Langzeit	30
3.2.5.1 Spannungsnachweis	30
3.2.5.2 Verformungsnachweis	30
3.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear	30
<b>4 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A4B4-hümax=5,00m-BA120°-durchgängig</b>	<b>31</b>
4.1 Eingaben	31
4.1.1 Sicherheiten	31
4.1.2 Boden	32
4.1.3 Belastung	32
4.1.4 Einbau	32
4.1.5 Vollwand/Profil-Rohr	32
4.1.5.1 Polymer-Beton	32
4.2 Ergebnisse	34
4.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	34
4.2.1.1 Materialeigenschaften	34
4.2.1.2 Sicherheiten	34
4.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	34
4.2.2 Zwischenergebnisse	34
4.2.2.1 Silotheorie	34
4.2.2.2 Belastung	35
4.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB	35
4.2.2.4 Bodensteifigkeiten	35
4.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	35
4.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	35
4.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse	35
4.2.2.8 Beiwerte	35
4.2.2.9 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$	35
4.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang	36
4.2.3 Schnittkräfte	36
4.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit	36
4.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit	36
4.2.4 Nachweise Kurzzeit	37
4.2.4.1 Spannungsnachweis	37
4.2.4.2 Verformungsnachweis	37
4.2.5 Nachweise Langzeit	38
4.2.5.1 Spannungsnachweis	38
4.2.5.2 Verformungsnachweis	38
4.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear	38
<b>5 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A1B1-hümax=4,70m-BA120°-durchgängig</b>	<b>39</b>
5.1 Eingaben	39
5.1.1 Sicherheiten	39
5.1.2 Boden	40
5.1.3 Belastung	40
5.1.4 Einbau	40

5.1.5 Vollwand/Profil-Rohr	40
5.1.5.1 Polymer-Beton	40
5.2 Ergebnisse	42
5.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	42
5.2.1.1 Materialeigenschaften	42
5.2.1.2 Sicherheiten	42
5.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	42
5.2.2 Zwischenergebnisse	42
5.2.2.1 Silotheorie	42
5.2.2.2 Belastung	43
5.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB	43
5.2.2.4 Bodensteifigkeiten	43
5.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	43
5.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	43
5.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse	43
5.2.2.8 Beiwerte	43
5.2.2.9 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$	43
5.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang	44
5.2.3 Schnittkräfte	44
5.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit	44
5.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit	44
5.2.4 Nachweise Kurzzeit	45
5.2.4.1 Spannungsnachweis	45
5.2.4.2 Verformungsnachweis	45
5.2.5 Nachweise Langzeit	46
5.2.5.1 Spannungsnachweis	46
5.2.5.2 Verformungsnachweis	46
5.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear	46
<b>6 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A2B2-hümax=3,80m-BA120°-durchgängig</b>	<b>47</b>
6.1 Eingaben	47
6.1.1 Sicherheiten	47
6.1.2 Boden	48
6.1.3 Belastung	48
6.1.4 Einbau	48
6.1.5 Vollwand/Profil-Rohr	48
6.1.5.1 Polymer-Beton	48
6.2 Ergebnisse	50
6.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	50
6.2.1.1 Materialeigenschaften	50
6.2.1.2 Sicherheiten	50
6.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	50
6.2.2 Zwischenergebnisse	50
6.2.2.1 Silotheorie	51
6.2.2.2 Belastung	51
6.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB	51
6.2.2.4 Bodensteifigkeiten	51
6.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	51
6.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	51
6.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse	51
6.2.2.8 Beiwerte	51
6.2.2.9 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$	52
6.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang	52

---

6.2.3 Schnittkräfte	52
6.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit	52
6.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit	52
6.2.4 Nachweise Kurzzeit	53
6.2.4.1 Spannungsnachweis	53
6.2.4.2 Verformungsnachweis	54
6.2.5 Nachweise Langzeit	54
6.2.5.1 Spannungsnachweis	54
6.2.5.2 Verformungsnachweis	54
6.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear	54

## 1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A4B4-hümax=4,80m-BA120°-Sockel

Titel der Teilstatik: A4B4-hümax=4,80m-BA120°-Sockel

Annahmen: Beton-Auflager > 120°  
Sockelausbildung b/h=2,55/0,85m,  
sowie erhöhte Verdichtung der Verfüllung neben  
dem Betonsockel von Dpr>100%  
=> Ansatz von reduzierter relativer Ausladung a=0,90

Verbauplatten oder -geräte, schrittweise entfernt, mit  
lagenweiser Rückverfüllung und Verdichtung des Grabens  
gegen den gewachsenen Boden,  
mit Nachweis der Proctordichte Dpr>97% nach ZTVE-StB  
=> Überschüttungs- und Einbettungsbedingungen A4/B4

Überdeckung bis maximal 4,80m

Straßenverkehrslast SLW60 gemäß ATV-A127

für  
anstehenden Boden Ansatz Gruppe G4 mit Dpr>95%,

GW ungünstig bis Rohrscheitel angesetzt,

Wasserfüllung mit kurzzeitig einwirkendem  
Innendruck von 0,5 bar angesetzt,

Hauptverfüllung mit G1, Leitungszone mit G1,

Grabenbreite maximal 3,95m inkl. Verbau,  
Silotheorie nicht berücksichtigt

Die statischen Sicherheitsbeiwerte wurden in  
Anlehnung an die ehemalige DIBt-Zulassung  
Nr. Z-42.1-250 bzw. an ähnlich biegesteife  
Materialien entsprechend ATV-A127, 3.Auflage,  
Tabelle 12, ungünstig angesetzt.

Berechnungsart:  
Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck:

Vollwand-/Profilrohr  
Ja

### 1.1 Eingaben

#### 1.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse:  
Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13:  
Zulässige Verformung:  
Behandlung von Innendruck:

A (Regelfall)  
Inklusive Vorverformungen (2,0 / 1,6)  
6% (Regelfall)  
Volle Überlagerung mit Außenbelastung  
(ATV-DVWK-A 127)



Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:

Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:

Berücksichtigung von dyn pvh\*:

Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:

Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:

Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:

Nein (ATV-DVWK-A 127)

Nicht erforderlich

Nach Norm

Nein

DWA-A 161:2014 (nach Materialart)

Ja

**1.1.2 Boden**

Bodengruppe Verfüllung:

Berechnung E1:

Bodengruppe Einbettung:

Berechnung E20:

Bodengruppe anstehender Boden:

Berechnung E3:

Verdichtungsgrad E3:

E4 = 10 · E1:

Anwendung von Silotheorie:

K2 nach Norm:

G1

Tabelle 8 (A127)

G1

Tabelle 8 (A127)

G4

Verdichtungsgrad

DPr,E3 95,0 %

Ja

Nein

Ja

**1.1.3 Belastung**

Überdeckungshöhe:

Minimaler Grundwasserstand über Sohle:

Maximaler Grundwasserstand über Sohle:

Auftriebsnachweis führen:

Wichte des Bodens:

Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:

Zusätzliche Flächenlast:

Innendruck, kurzzeitig wirkend:

Innendruck, langfristig:

Wasserfüllung (z.B. Staukanal):

Wichte Füllmedium:

Verkehrslast:

Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:

h 4,80 m

h<sub>W,min</sub> 2,35 mh<sub>W,max</sub> 2,35 m

Nein

γ<sub>B</sub> 20,0 kN/m<sup>3</sup>

Nein

p<sub>0</sub> 0,0 kN/m<sup>2</sup>P<sub>I,K</sub> 0,50 barP<sub>I,L</sub> 0,00 bar

Ja

γ<sub>F</sub> 10,0 kN/m<sup>3</sup>

Straße SLW 60

α<sub>qH,T,dyn</sub> 0,00 %**1.1.4 Einbau**

Einbauweise:

Grabenbreite in Scheitelhöhe:

Mindestgrabenbreite prüfen:

Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:

Böschungswinkel:

Überschüttungsbedingung:

Einbettungsbedingung:

Auflagerart:

Auflagerwinkel:

Relative Ausladung:

Relative Ausladung automatisch ermitteln:

Graben

b 3,95 m

Ja

Ja

β 90 °

A4

B4

Fest, über einen Teil der Grabenbreite

120°

a 0,90 [-]

Nein

**1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr**

Rohrauswahl:

Material-Klasse:

Vorverformung Typ A:

Lokale Vorverformung:

Auswahl der Eingaben:

Außendurchmesser:

Innendurchmesser:

Perforation:

Vollwand

Polymerbeton

δ<sub>v,A</sub> 1,0 %δ<sub>v,I</sub> 0,0 %

Da und Di

d<sub>a</sub> 2.350,0 mmd<sub>i</sub> 2.000,0 mm

Ohne Perforation

**1.1.5.1 Polymer-Beton**

Wichte:

Querkontraktionszahl:

Erforderliche Sicherheit bei Versagen durch Bruch:

Elastizitätsmodul, Kurzzeit:

Elastizitätsmodul, Langzeit:

Ringbiegezugfestigkeit, Kurzzeit:

Ringbiegezugfestigkeit, Langzeit:

Biegedruckfestigkeit, Kurzzeit:

Biegedruckfestigkeit, Langzeit:

Die Schwingbreite bei  $2 \cdot 10^6$  Lastspielen ist bekannt:

Schwingbreite:

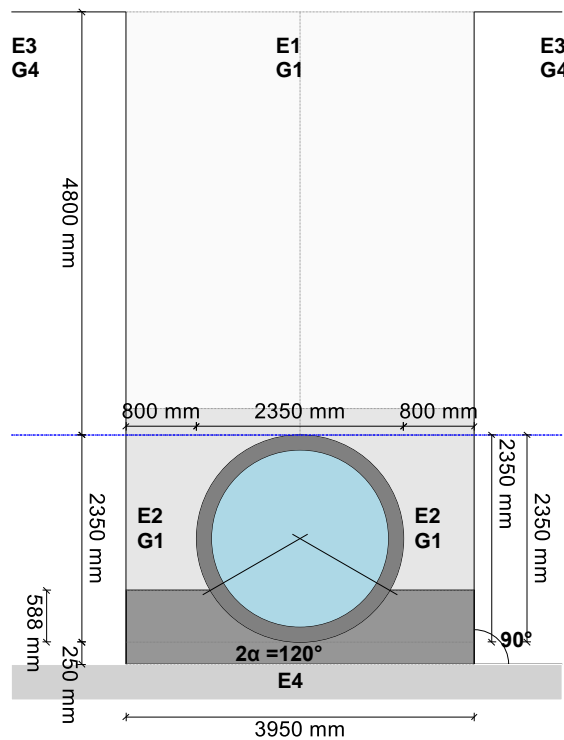
Die Schwingbreite bei  $1 \cdot 10^8$  Lastspielen ist bekannt:

Schwingbreite:

Angabe der Grenzspannungen Ringzug:

$\gamma$	23,0	kN/m <sup>3</sup>
$\nu$	0,25	[-]
erf $\gamma$	2,20	[-]
$E_{rad,K}$	23.300	N/mm <sup>2</sup>
$E_{rad,L}$	8.200	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{RBZ,K}$	15,0	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{RBZ,L}$	8,8	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{BD,K}$	95,0	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{BD,L}$	56,0	N/mm <sup>2</sup>
Ja		
$2\sigma_{a,2E6}$	6,00	N/mm <sup>2</sup>
Ja		
$2\sigma_{a,1E8}$	5,00	N/mm <sup>2</sup>
Nein		

**Verkehrslast: Straße SLW 60**



## 1.2 Ergebnisse

### 1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	$d_i$	2.000,0	mm
Außendurchmesser:	$d_a$	2.350,0	mm
Mittlerer Radius:	$r_m$	1.087,50	mm
Wanddicke:	$s$	175,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	$r_m/s$	6,214	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$	1,054	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\alpha_{ka}$	0,946	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	1,00	%
Radiale Profilfläche:	$A_{rad}$	175,00	mm <sup>2</sup> /mm
Trägheitsabstand:	$e$	87,50	mm
Trägheitsmoment:	$I$	446.614,58	mm <sup>4</sup> /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	$W_a$	5.104,17	mm <sup>3</sup> /mm
Inneres Widerstandsmoment:	$W_i$	5.104,17	mm <sup>3</sup> /mm
Flächenverhältnis:	$K_Q$	1,2	[-]

#### 1.2.1.1 Materialeigenschaften

		Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	$\gamma_R$	23,0	23,0	kN/m <sup>3</sup>
Querkontraktionszahl	$\nu$	0,25	0,25	[-]
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_R$	23.300,0	8.200,0	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ}$	15,0	8,8	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD}$	95,0	56,0	N/mm <sup>2</sup>
Ringzugfestigkeit	$\sigma_{RZ}$	15,0	8,8	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,2E6}$	6,0	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $5 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,5E6}$	n. def.	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,1E8}$	5,0	N/mm <sup>2</sup>

#### 1.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf $\gamma_{RBZ}$	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf $\gamma_{RBD}$	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf $\gamma_{stab}$	2,00	2,00	[-]

#### 1.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

Nennweite:	DN	2.000	mm
Außendurchmesser:	$d_a$	2.350,0	mm
Lagenstärke der Bettungsschicht:	$a$	0,25	m
Mindestbreite in Grabensohle (einschl. x) nach Tabelle 1:	$min_{b,T1}$	3,35	m
Mindestbreite in Grabensohle nach Tabelle 2:	$min_{b,T2}$	1,00	m
Lichte Mindestbreite in Grabensohle:	$min_{b,G}$	3,35	m
Erforderliche Breite im Rohrscheitel:	$min_{b,R}$	3,35	m
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	$b$	3,95	m

Die Mindestgrabenbreite in der Grabensohle nach DIN EN 1610 wird eingehalten.

### 1.2.2 Zwischenergebnisse

#### 1.2.2.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert $\kappa$ für Grabenlast (Silotheorie):	$\kappa$	1,000	[-]
---	----------	-------	-----

Erdlastbeiwert  $k_0$  für Flächenlast (Silotheorie):  
 $k_0$  und  $\kappa$  wurden zu 1 gesetzt, da  $E_1$  größer  $E_3$  ist.

$k_0$  1,000 [-]

#### 1.2.2.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:  
 Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:  
 Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:  
 Spannung aufgrund Verkehrslast:  
 Enthaltener Stoßfaktor:

$h_{W,Scheitel}$  0,00 m  
 $P_{Erd}$  96,00 kN/m<sup>2</sup>  
 $P_E$  96,00 kN/m<sup>2</sup>  
 $P_V$  11,36 kN/m<sup>2</sup>  
 $\phi$  1,20 [-]

#### 1.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:

$E_{1,\sigma}$  23,00 N/mm<sup>2</sup>

$$E_{3,\sigma} = \frac{40}{4} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})}$$

3.01

E-Modul anstehender Boden:  
 E-Modul Einbettung unter Last:  
 Reduktionsfaktor für das Kriechen:  
 Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:  
 Abminderungsfaktor  $E_{20}$  (Grundwasser):  
 Abminderungsfaktor  $E_{20}$  (Diagramm 5):  
 Abminderungsfaktor  $E_{20}$  (enger Graben):  
 E-Modul Einbettung (abgemindert):  
 E-Modul Boden unter dem Rohr:

$E_{3,\sigma}$  3,91 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_{20,\sigma}$  23,00 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_1$  1,000 [-]  
 $D_{pr,E20}$  0,97 [-]  
 $f_2$  1,000 [-]  
 $\alpha_{B0}$  1,000 [-]  
 $\alpha_B$  1,000 [-]  
 $E_{2,\sigma}$  23,00 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_{4,\sigma}$  230,00 N/mm<sup>2</sup>

#### 1.2.2.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:  
 Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:  
 Horizontale Bettungssteifigkeit:  
 Vertikale Bettungssteifigkeit:

$\Delta_f$  0,580 [-]  
 $\zeta$  0,239 [-]  
 $S_{Bh}$  3,295 N/mm<sup>2</sup>  
 $S_{Bv}$  25,556 N/mm<sup>2</sup>

#### 1.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:  
 Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:  
 Relative Ausladung:  
 Wirksame Ausladung:  
 Innerer Reibungswinkel:  
 Wandreibungswinkel:

$2\alpha$  120 °  
 $t_r$  0,588 m  
 $a$  0,90 [-]  
 $a'$  0,900 [-]  
 $\phi'$  20,000 °  
 $\delta$  20,000 °

Kurzzeit  
alle Lasten  
Langzeit  
Erdlasten  
Verkehrslast  
Langzeit  
sonstige  
Lasten

#### 1.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_R$	23.300,0	9.798,3	8.200,0	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ}$	15,0	9,5	8,8	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD}$	95,0	60,1	56,0	N/mm <sup>2</sup>
Rohrsteifigkeit	$S_R$	8.091	3.402	2.847	kN/m <sup>2</sup>

#### 1.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Systemsteifigkeit, gewichtet	$V_{RB,w}$	2,4557	1,0000	1,0000	[-]
Steifigkeitsverhältnis	$V_S$	3,4008	1,4301	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_v$	-0,0931	-0,0931	---	[-]

#### 1.2.2.8 Beiwerte

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Erdruckbeiwert (Einbettung)	$K_2$	0,500	0,500	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	$K^*$	0,036	0,085	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_h$	0,0906	0,0906	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qh^*}$	-0,0685	-0,0685	---	[-]

### 1.2.2.9 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	1,333	1,333	---	[-]
--------------------------------	----------------	-------	-------	-----	-----

Für Rohre großer Steifigkeit ( $VRB > 1$ ) ist die Berechnung mit  $\lambda_R = \max \lambda$  nach Abschnitt 6.3.1 weiterzuführen.

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	$\lambda_R$	1,333	1,333	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	$\lambda_{RG}$	1,076	1,076	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	$\lambda_{fo}$	3,280	3,280	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	$\lambda_{fu}$	0,706	0,706	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	$\lambda_{RG}$	1,076	1,076	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	$\lambda_B$	0,889	0,889	---	[-]

### 1.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	$q_v$	114,62	114,62	---	kN/m <sup>2</sup>
Seitendruck	$q_h$	49,14	49,14	---	kN/m <sup>2</sup>
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	$q_{hw}^*$	0,00	0,00	---	kN/m <sup>2</sup>

### 1.2.3 Schnittkräfte

#### 1.2.3.1 Schnittkräfte, Kurzzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			$r$	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	32,532	-32,532	27,381	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-13,482	13,250	-10,867	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	1,495	-1,723	1,385	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	2,019	-2,328	1,865	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	0,067	0,067	0,067	kNm/m
Summe der Momente	$\Sigma M$	22,631	-23,266	19,831	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	-2,493	-124,644	-69,551	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-51,300	0,000	-28,856	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,460	-6,877	-8,395	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	6,528	2,543	6,398	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pw}$	22,388	22,388	22,388	kN/m
Summe der Normalkräfte	$\Sigma N$	-24,417	-106,590	-78,017	kN/m

#### 1.2.3.2 Schnittkräfte, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			$r$	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	32,532	-32,532	27,381	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-13,482	13,250	-10,867	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	1,495	-1,723	1,385	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	2,019	-2,328	1,865	kNm/m

Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	-0,060	-0,060	-0,060	kNm/m
Summe der Momente	$\Sigma M$	22,504	-23,393	19,705	kNm/m
Mittlerer Radius	$r_m$	Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	-2,493	-124,644	-69,551	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-51,300	0,000	-28,856	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,460	-6,877	-8,395	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	6,528	2,543	6,398	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pw}$	-27,613	-27,613	-27,613	kN/m
Summe der Normalkräfte	$\Sigma N$	-74,417	-156,590	-128,017	kN/m

## 1.2.4 Nachweise Kurzzeit

### 1.2.4.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf $\gamma_{RBZ}$	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf $\gamma_{RBD}$	2,20	[-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	15,00	15,00	15,00	N/mm <sup>2</sup>
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	95,00	95,00	95,00	N/mm <sup>2</sup>

#### innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$	1,054	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	Scheitel 3,625	Kämpfer -4,693	Sohle 2,847	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	0,907	-0,719	0,801	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	4,532	-5,412	3,648	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	3,310	---	4,112	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	---	17,554	---	[-]

#### außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\alpha_{ka}$	0,946	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	Scheitel -3,839	Kämpfer 2,863	Sohle -3,624	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	-0,496	0,842	-0,499	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	-4,336	3,705	-4,123	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	---	4,049	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	21,912	---	23,043	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

### 1.2.4.2 Verformungsnachweis

Der Verformungsnachweis entfällt, da  $\gamma_{VRB} > 1.0$  ist (biegesteifes Rohr).

## 1.2.5 Nachweise Langzeit

### 1.2.5.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:  
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:

erf  $\gamma_{RBZ}$  2,20 [-]  
erf  $\gamma_{RBD}$  2,20 [-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	9,36	9,34	9,36	N/mm <sup>2</sup>
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	59,45	59,43	59,41	N/mm <sup>2</sup>

#### innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:  $\alpha_{ki}$  1,054 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	3,625	-4,693	2,847	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	0,595	-1,031	0,489	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	4,220	-5,724	3,336	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	2,219	---	2,806	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	---	10,375	---	[-]

#### außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:  $\alpha_{ka}$  0,946 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	-3,839	2,863	-3,624	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	-0,758	0,580	-0,761	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	-4,598	3,443	-4,385	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	---	2,715	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	12,930	---	13,549	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

### 1.2.5.2 Verformungsnachweis

Der Verformungsnachweis entfällt, da  $\gamma_{RB} > 1.0$  ist (biegesteifes Rohr).

### 1.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear

Der nichtlineare Stabilitätsnachweis entfällt, da  $\gamma_{RB} > 1.0$  (biegesteifes Rohr) oder relative vertikale Verformung  $< 6\%$ .

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

## 2 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A1B1-hümax=4,20m-BA120°-Sockel

Titel der Teilstatik: A1B1-hümax=4,20m-BA120°-Sockel

Annahmen: Beton-Auflager > 120°  
Sockelausbildung b/h=2,55/0,85m

Verbauplatten oder -geräte, schrittweise entfernt, mit  
lagenweiser Rückverfüllung und Verdichtung des Grabens  
gegen den gewachsenen Boden  
=> Überschüttungs- und Einbettungsbedingungen A1/B1

Überdeckung bis maximal 4,20m

Straßenverkehrslast SLW60 gemäß ATV-A127

für  
anstehenden Boden Ansatz Gruppe G4 mit Dpr>95%,

GW ungünstig bis Rohrscheitel angesetzt,

Wasserfüllung mit kurzzeitig einwirkendem  
Innendruck von 0,5 bar angesetzt,

Hauptverfüllung mit G1, Leitungszone mit G1,

Grabenbreite maximal 3,95m inkl. Verbau,  
Silotheorie nicht berücksichtigt

Die statischen Sicherheitsbeiwerte wurden in  
Anlehnung an die ehemalige DIBt-Zulassung  
Nr. Z-42.1-250 bzw. an ähnlich biegesteife  
Materialien entsprechend ATV-A127, 3.Auflage,  
Tabelle 12, ungünstig angesetzt.

Berechnungsart:  
Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck:

Vollwand-/Profilrohr  
Ja

### 2.1 Eingaben

#### 2.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse:  
Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13:  
Zulässige Verformung:  
Behandlung von Innendruck:

Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:  
Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:  
Berücksichtigung von dyn pvh\*:  
Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:

A (Regelfall)  
Inklusive Vorverformungen (2,0 / 1,6)  
6% (Regelfall)  
Volle Überlagerung mit Außenbelastung  
(ATV-DVWK-A 127)  
Nein (ATV-DVWK-A 127)  
Nicht erforderlich  
Nach Norm  
Nein



Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:  
Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:

DWA-A 161:2014 (nach Materialart)  
Ja

### 2.1.2 Boden

Bodengruppe Verfüllung:  
Berechnung E1:  
Bodengruppe Einbettung:  
Berechnung E20:  
Bodengruppe anstehender Boden:  
Berechnung E3:  
Verdichtungsgrad E3:  
E4 = 10 · E1:  
Anwendung von Silotheorie:  
K2 nach Norm:

G1  
Tabelle 8 (A127)  
G1  
Tabelle 8 (A127)  
G4  
Verdichtungsgrad  
D<sub>Pr,E3</sub> 95,0 %  
Ja  
Nein  
Ja

### 2.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:  
Minimaler Grundwasserstand über Sohle:  
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:  
Auftriebsnachweis führen:  
Wichte des Bodens:  
Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:  
Zusätzliche Flächenlast:  
Innendruck, kurzzeitig wirkend:  
Innendruck, langfristig:  
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):  
Wichte Füllmedium:  
Verkehrslast:  
Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:

h 4,20 m  
h<sub>W,min</sub> 2,35 m  
h<sub>W,max</sub> 2,35 m  
Nein  
Y<sub>B</sub> 20,0 kN/m<sup>3</sup>  
Nein  
p<sub>0</sub> 0,0 kN/m<sup>2</sup>  
P<sub>I,K</sub> 0,50 bar  
P<sub>I,L</sub> 0,00 bar  
Ja  
Y<sub>F</sub> 10,0 kN/m<sup>3</sup>  
Straße SLW 60  
α<sub>qhT,dyn</sub> 0,00 %

### 2.1.4 Einbau

Einbauweise:  
Grabenbreite in Scheitelhöhe:  
Mindestgrabenbreite prüfen:  
Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:  
Böschungswinkel:  
Überschüttungsbedingung:  
Einbettungsbedingung:  
Auflagerart:  
Auflagerwinkel:  
Relative Ausladung automatisch ermitteln:  
Untere Sockelhöhe vorgeben:  
Höhe des unteren Teils des Sockels:

Graben  
b 3,95 m  
Ja  
Ja  
ß 90 °  
A1  
B1  
Fest, über einen Teil der Grabenbreite  
120°  
Ja  
Ja  
h<sub>s,u</sub> 0,250 m

### 2.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

Rohrauswahl:  
Material-Klasse:  
Vorverformung Typ A:  
Lokale Vorverformung:  
Auswahl der Eingaben:  
Außendurchmesser:  
Innendurchmesser:

Vollwand  
Polymerbeton  
δ<sub>v,A</sub> 1,0 %  
δ<sub>v,I</sub> 0,0 %  
Da und Di  
d<sub>a</sub> 2.350,0 mm  
d<sub>i</sub> 2.000,0 mm

Perforation:

Ohne Perforation

#### 2.1.5.1 Polymer-Beton

Wichte:  
Querkontraktionszahl:  
Erforderliche Sicherheit bei Versagen durch Bruch:

γ 23,0 kN/m<sup>3</sup>  
ν 0,25 [-]  
erf γ 2,20 [-]

Elastizitätsmodul, Kurzzeit:

Elastizitätsmodul, Langzeit:

Ringbiegezugfestigkeit, Kurzzeit:

Ringbiegezugfestigkeit, Langzeit:

Biegedruckfestigkeit, Kurzzeit:

Biegedruckfestigkeit, Langzeit:

Die Schwingbreite bei  $2 \cdot 10^6$  Lastspielen ist bekannt:

Schwingbreite:

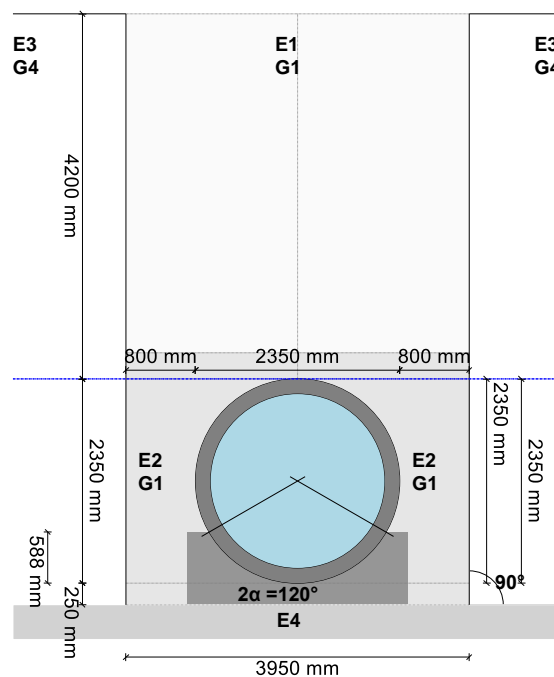
Die Schwingbreite bei  $1 \cdot 10^8$  Lastspielen ist bekannt:

Schwingbreite:

Angabe der Grenzspannungen Ringzug:

$E_{rad,K}$	23.300	N/mm <sup>2</sup>
$E_{rad,L}$	8.200	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{RBZ,K}$	15,0	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{RBZ,L}$	8,8	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{BD,K}$	95,0	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{BD,L}$	56,0	N/mm <sup>2</sup>
Ja		
$2\sigma_{a,2E6}$	6,00	N/mm <sup>2</sup>
Ja		
$2\sigma_{a,1E8}$	5,00	N/mm <sup>2</sup>
Nein		

**Verkehrslast: Straße SLW 60**



## 2.2 Ergebnisse

### 2.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	$d_i$	2.000,0	mm
Außendurchmesser:	$d_a$	2.350,0	mm
Mittlerer Radius:	$r_m$	1.087,50	mm
Wanddicke:	$s$	175,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	$r_m/s$	6,214	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$	1,054	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\alpha_{ka}$	0,946	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	1,00	%
Radiale Profilfläche:	$A_{rad}$	175,00	mm <sup>2</sup> /mm
Trägheitsabstand:	$e$	87,50	mm
Trägheitsmoment:	$I$	446.614,58	mm <sup>4</sup> /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	$W_a$	5.104,17	mm <sup>3</sup> /mm
Inneres Widerstandsmoment:	$W_i$	5.104,17	mm <sup>3</sup> /mm
Flächenverhältnis:	$K_Q$	1,2	[-]

#### 2.2.1.1 Materialeigenschaften

		Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	$\gamma_R$	23,0	23,0	kN/m <sup>3</sup>
Querkontraktionszahl	$\nu$	0,25	0,25	[-]
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_R$	23.300,0	8.200,0	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ}$	15,0	8,8	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD}$	95,0	56,0	N/mm <sup>2</sup>
Ringzugfestigkeit	$\sigma_{RZ}$	15,0	8,8	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,2E6}$	6,0	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $5 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,5E6}$	n. def.	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,1E8}$	5,0	N/mm <sup>2</sup>

#### 2.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf $\gamma_{RBZ}$	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf $\gamma_{RBD}$	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf $\gamma_{stab}$	2,00	2,00	[-]

#### 2.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

Nennweite:	DN	2.000	mm
Außendurchmesser:	$d_a$	2.350,0	mm
Lagenstärke der Bettungsschicht:	$a$	0,25	m
Mindestbreite in Grabensohle (einschl. x) nach Tabelle 1:	$min_{b,T1}$	3,35	m
Mindestbreite in Grabensohle nach Tabelle 2:	$min_{b,T2}$	1,00	m
Lichte Mindestbreite in Grabensohle:	$min_{b,G}$	3,35	m
Erforderliche Breite im Rohrscheitel:	$min_{b,R}$	3,35	m
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	$b$	3,95	m

Die Mindestgrabenbreite in der Grabensohle nach DIN EN 1610 wird eingehalten.

### 2.2.2 Zwischenergebnisse

#### 2.2.2.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert $\kappa$ für Grabenlast (Silotheorie):	$\kappa$	1,000	[-]
---	----------	-------	-----

Erdlastbeiwert  $k_0$  für Flächenlast (Silotheorie):  
 $k_0$  und  $\kappa$  wurden zu 1 gesetzt, da  $E_1$  größer  $E_3$  ist.

$k_0$  1,000 [-]

#### 2.2.2.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:  
 Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:  
 Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:  
 Spannung aufgrund Verkehrslast:  
 Enthaltener Stoßfaktor:

$h_{W,Scheitel}$  0,00 m  
 $P_{Erd}$  84,00 kN/m<sup>2</sup>  
 $P_E$  84,00 kN/m<sup>2</sup>  
 $P_V$  13,79 kN/m<sup>2</sup>  
 $\phi$  1,20 [-]

#### 2.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:

$E_{1,\sigma}$  16,00 N/mm<sup>2</sup>

$$E_{3,\sigma} = \frac{40}{4} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})}$$

3.01

E-Modul anstehender Boden:  
 E-Modul Einbettung unter Last:  
 Reduktionsfaktor für das Kriechen:  
 Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:  
 Abminderungsfaktor  $E_{20}$  (Grundwasser):  
 Abminderungsfaktor  $E_{20}$  (Diagramm 5):  
 Abminderungsfaktor  $E_{20}$  (enger Graben):  
 E-Modul Einbettung (abgemindert):  
 E-Modul Boden unter dem Rohr:

$E_{3,\sigma}$  3,91 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_{20,\sigma}$  16,00 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_1$  1,000 [-]  
 $D_{pr,E20}$  0,95 [-]  
 $f_2$  1,000 [-]  
 $\alpha_{B0}$  0,667 [-]  
 $\alpha_B$  0,742 [-]  
 $E_{2,\sigma}$  11,88 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_{4,\sigma}$  160,00 N/mm<sup>2</sup>

#### 2.2.2.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:  
 Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:  
 Horizontale Bettungssteifigkeit:  
 Vertikale Bettungssteifigkeit:

$\Delta_f$  0,580 [-]  
 $\zeta$  0,429 [-]  
 $S_{Bh}$  3,057 N/mm<sup>2</sup>  
 $S_{Bv}$  10,735 N/mm<sup>2</sup>

#### 2.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:  
 Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:  
 Höhe untere Bettungsschicht UK Rohr bis Grabensohle:  
 Berechnete Ausladung:  
 Wirksame Ausladung:  
 Innerer Reibungswinkel:  
 Wandreibungswinkel:

$2\alpha$  120 °  
 $t_r$  0,588 m  
 $h_{su}$  0,250 m  
 $a$  1,11 [-]  
 $a'$  1,490 [-]  
 $\phi'$  20,000 °  
 $\delta$  13,333 °

Kurzzeit  
alle Lasten

Langzeit  
Erdlasten  
Verkehrslast

Langzeit  
sonstige  
Lasten

#### 2.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_R$	23.300,0	10.329,6	8.200,0	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ}$	15,0	9,7	8,8	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD}$	95,0	61,5	56,0	N/mm <sup>2</sup>
Rohrsteifigkeit	$S_R$	8.091	3.587	2.847	kN/m <sup>2</sup>

#### 2.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Systemsteifigkeit, gewichtet	$V_{RB,w}$	2,6466	1,0000	1,0000	[-]
Steifigkeitsverhältnis	$V_S$	8,0958	3,5891	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_v$	-0,0931	-0,0931	---	[-]

#### 2.2.2.8 Beiwerte

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Erddruckbeiwert (Einbettung)	$K_2$	0,500	0,500	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	$K^*$	0,033	0,085	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_h$	0,0906	0,0906	---	[-]

Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qh^*}$	-0,0685	-0,0685	---	[-]
-----------------------------------	---------------	---------	---------	-----	-----

#### 2.2.2.9 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	1,511	1,511	---	[-]
--------------------------------	----------------	-------	-------	-----	-----

Für Rohre großer Steifigkeit ( $VRB > 1$ ) ist die Berechnung mit  $\lambda_R = \max \lambda$  nach Abschnitt 6.3.1 weiterzuführen.

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	$\lambda_R$	1,511	1,511	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	$\lambda_{RG}$	1,116	1,116	---	[-]

Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	$\lambda_{fo}$	3,370	3,370	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	$\lambda_{fu}$	0,735	0,735	---	[-]

Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	$\lambda_{RG}$	1,116	1,116	---	[-]
--	----------------	-------	-------	-----	-----

Konzentrationsfaktor Boden	$\lambda_B$	0,830	0,830	---	[-]
----------------------------	-------------	-------	-------	-----	-----

#### 2.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	$q_v$	107,53	107,53	---	kN/m <sup>2</sup>
Seitendruck	$q_h$	41,31	41,31	---	kN/m <sup>2</sup>
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	$q^*_{hw}$	0,00	0,00	---	kN/m <sup>2</sup>

### 2.2.3 Schnittkräfte

#### 2.2.3.1 Schnittkräfte, Kurzzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			$r$	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	30,520	-30,520	25,688	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-11,335	11,140	-9,137	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	1,495	-1,723	1,385	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	2,019	-2,328	1,865	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	0,067	0,067	0,067	kNm/m
Summe der Momente	$\Sigma M$	22,766	-23,364	19,869	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	-2,339	-116,936	-65,250	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-43,131	0,000	-24,261	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,460	-6,877	-8,395	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	6,528	2,543	6,398	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pw}$	22,388	22,388	22,388	kN/m
Summe der Normalkräfte	$\Sigma N$	-16,094	-98,883	-69,121	kN/m

#### 2.2.3.2 Schnittkräfte, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			$r$	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	30,520	-30,520	25,688	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-11,335	11,140	-9,137	kNm/m

Moment aufgrund Eigengewicht	M <sub>g</sub>	1,495	-1,723	1,385	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M <sub>w</sub>	2,019	-2,328	1,865	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M <sub>pw</sub>	-0,060	-0,060	-0,060	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	22,639	-23,491	19,742	kNm/m
Mittlerer Radius	r <sub>m</sub>	Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N <sub>qv</sub>	-2,339	-116,936	-65,250	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N <sub>qh</sub>	-43,131	0,000	-24,261	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N <sub>g</sub>	0,460	-6,877	-8,395	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N <sub>w</sub>	6,528	2,543	6,398	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N <sub>pw</sub>	-27,613	-27,613	-27,613	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-66,094	-148,883	-119,121	kN/m

## 2.2.4 Nachweise Kurzzeit

### 2.2.4.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:  
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:

erf γ<sub>RBZ</sub> 2,20 [-]  
erf γ<sub>RBD</sub> 2,20 [-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	σ <sub>RBZ,res</sub>	15,00	15,00	15,00	N/mm <sup>2</sup>
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	σ <sub>RBD,res</sub>	95,00	95,00	95,00	N/mm <sup>2</sup>

#### innen

Korrekturfaktor Krümmung innen: α<sub>ki</sub> 1,054 [-]

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ <sub>qv,qh,qh*</sub>	Scheitel 3,701	Kämpfer -4,669	Sohle 2,905	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ <sub>sonst</sub>	0,907	-0,719	0,801	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	σ	4,608	-5,388	3,706	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ <sub>BZ</sub>	3,255	---	4,047	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ <sub>BD</sub>	---	17,631	---	[-]

#### außen

Korrekturfaktor Krümmung außen: α<sub>ka</sub> 0,946 [-]

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ <sub>qv,qh,qh*</sub>	Scheitel -3,817	Kämpfer 2,925	Sohle -3,580	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ <sub>sonst</sub>	-0,496	0,842	-0,499	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	σ	-4,313	3,767	-4,079	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ <sub>BZ</sub>	---	3,982	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ <sub>BD</sub>	22,026	---	23,291	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

### 2.2.4.2 Verformungsnachweis

Der Verformungsnachweis entfällt, da VRB > 1.0 ist (biegesteifes Rohr).

## 2.2.5 Nachweise Langzeit

### 2.2.5.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:

erf  $\gamma_{RBZ}$  2,20 [-]

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:

erf  $\gamma_{RBD}$  2,20 [-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	9,55	9,52	9,55	N/mm <sup>2</sup>
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	60,59	60,59	60,54	N/mm <sup>2</sup>

#### innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:

 $\alpha_{ki}$  1,054 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	3,701	-4,669	2,905	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	0,595	-1,031	0,489	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	4,296	-5,700	3,395	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	2,224	---	2,813	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	---	10,615	---	[-]

#### außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:

 $\alpha_{ka}$  0,946 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	-3,817	2,925	-3,580	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	-0,758	0,580	-0,761	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	-4,575	3,505	-4,341	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	---	2,719	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	13,243	---	13,945	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

### 2.2.5.2 Verformungsnachweis

Der Verformungsnachweis entfällt, da  $\gamma_{RB} > 1.0$  ist (biegesteifes Rohr).

### 2.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear

Der nichtlineare Stabilitätsnachweis entfällt, da  $\gamma_{RB} > 1.0$  (biegesteifes Rohr) oder relative vertikale Verformung  $< 6\%$ .

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

### 3 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A2B2-hümax=3,30m-BA120°-Sockel

Titel der Teilstatik: A2B2-hümax=3,30m-BA120°-Sockel

Annahmen: Beton-Auflager > 120°  
Sockelausbildung b/h=2,55/0,85m

Verbauplatten oder -geräte, schrittweise entfernt, mit  
lagenweiser Rückverfüllung des Grabens sowie anschließender  
Verdichtung der Verfüllung  
=> Überschüttungs- und Einbettungsbedingungen A2/B2

Überdeckung bis maximal 3,30m

Straßenverkehrslast SLW60 gemäß ATV-A127

für  
anstehenden Boden Ansatz Gruppe G4 mit Dpr>95%,

GW ungünstig bis Rohrscheitel angesetzt,

Wasserfüllung mit kurzzeitig einwirkendem  
Innendruck von 0,5 bar angesetzt,

Hauptverfüllung mit G1, Leitungszone mit G1,

Grabenbreite maximal 3,95m inkl. Verbau,  
Silotheorie nicht berücksichtigt

Die statischen Sicherheitsbeiwerte wurden in  
Anlehnung an die ehemalige DIBt-Zulassung  
Nr. Z-42.1-250 bzw. an ähnlich biegesteife  
Materialien entsprechend ATV-A127, 3.Auflage,  
Tabelle 12, ungünstig angesetzt.

Berechnungsart:  
Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck:

Vollwand-/Profilrohr  
Ja

## 3.1 Eingaben

### 3.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse:

Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13:

Zulässige Verformung:

Behandlung von Innendruck:

Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:

Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:

Berücksichtigung von dyn pvh\*:

Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:

A (Regelfall)

Inklusive Vorverformungen (2,0 / 1,6)

6% (Regelfall)

Volle Überlagerung mit Außenbelastung  
(ATV-DVWK-A 127)

Nein (ATV-DVWK-A 127)

Nicht erforderlich

Nach Norm

Nein



Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:  
Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:

DWA-A 161:2014 (nach Materialart)  
Ja

### 3.1.2 Boden

Bodengruppe Verfüllung:  
Berechnung E1:  
Bodengruppe Einbettung:  
Berechnung E20:  
Bodengruppe anstehender Boden:  
Berechnung E3:  
Verdichtungsgrad E3:  
E4 = 10 · E1:  
Anwendung von Silotheorie:  
K2 nach Norm:

G1  
Tabelle 8 (A127)  
G1  
Tabelle 8 (A127)  
G4  
Verdichtungsgrad  
D<sub>Pr,E3</sub> 95,0 %  
Ja  
Nein  
Ja

### 3.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:  
Minimaler Grundwasserstand über Sohle:  
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:  
Auftriebsnachweis führen:  
Wichte des Bodens:  
Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:  
Zusätzliche Flächenlast:  
Innendruck, kurzzeitig wirkend:  
Innendruck, langfristig:  
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):  
Wichte Füllmedium:  
Verkehrslast:  
Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:

h 3,30 m  
h<sub>W,min</sub> 2,35 m  
h<sub>W,max</sub> 2,35 m  
Nein  
γ<sub>B</sub> 20,0 kN/m<sup>3</sup>  
Nein  
p<sub>0</sub> 0,0 kN/m<sup>2</sup>  
P<sub>I,K</sub> 0,50 bar  
P<sub>I,L</sub> 0,00 bar  
Ja  
γ<sub>F</sub> 10,0 kN/m<sup>3</sup>  
Straße SLW 60  
α<sub>qhT,dyn</sub> 0,00 %

### 3.1.4 Einbau

Einbauweise:  
Grabenbreite in Scheitelhöhe:  
Mindestgrabenbreite prüfen:  
Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:  
Böschungswinkel:  
Überschüttungsbedingung:  
Einbettungsbedingung:  
Berücksichtigung der Unterrammung nach Bericht der ATV-AG 1.5.5.:  
Dicke des Verbaus (einseitig):  
Auflagerart:  
Auflagerwinkel:  
Relative Ausladung automatisch ermitteln:  
Untere Sockelhöhe vorgeben:  
Höhe des unteren Teils des Sockels:

Graben  
b 3,95 m  
Ja  
Ja  
β 90 °  
A2  
B2  
Nein  
b<sub>S</sub> 0,30 m  
Fest, über einen Teil der Grabenbreite  
120°  
Ja  
Ja  
h<sub>s,u</sub> 0,250 m

### 3.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

Rohrauswahl:

Vollwand

Material-Klasse:  
Vorverformung Typ A:  
Lokale Vorverformung:  
Auswahl der Eingaben:  
Außendurchmesser:  
Innendurchmesser:

Polymerbeton  
δ<sub>v,A</sub> 1,0 %  
δ<sub>v,I</sub> 0,0 %  
Da und Di  
d<sub>a</sub> 2.350,0 mm  
d<sub>i</sub> 2.000,0 mm

Perforation:

Ohne Perforation

#### 3.1.5.1 Polymer-Beton

Wichte:

γ 23,0 kN/m<sup>3</sup>

Querkontraktionszahl:

Erforderliche Sicherheit bei Versagen durch Bruch:

Elastizitätsmodul, Kurzzeit:

Elastizitätsmodul, Langzeit:

Ringbiegezugfestigkeit, Kurzzeit:

Ringbiegezugfestigkeit, Langzeit:

Biegedruckfestigkeit, Kurzzeit:

Biegedruckfestigkeit, Langzeit:

Die Schwingbreite bei  $2 \cdot 10^6$  Lastspielen ist bekannt:

Schwingbreite:

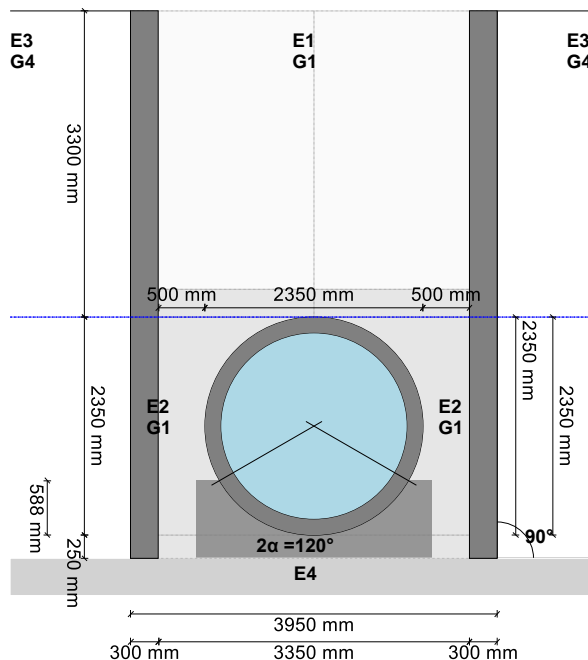
Die Schwingbreite bei  $1 \cdot 10^8$  Lastspielen ist bekannt:

Schwingbreite:

Angabe der Grenzspannungen Ringzug:

v	0,25	[-]
erf $\gamma$	2,20	[-]
$E_{rad,K}$	23.300	N/mm <sup>2</sup>
$E_{rad,L}$	8.200	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{RBZ,K}$	15,0	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{RBZ,L}$	8,8	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{BD,K}$	95,0	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{BD,L}$	56,0	N/mm <sup>2</sup>
Ja		
$2\sigma_{a,2E6}$	6,00	N/mm <sup>2</sup>
Ja		
$2\sigma_{a,1E8}$	5,00	N/mm <sup>2</sup>
Nein		

**Verkehrslast: Straße SLW 60**



## 3.2 Ergebnisse

### 3.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	$d_i$	2.000,0	mm
Außendurchmesser:	$d_a$	2.350,0	mm
Mittlerer Radius:	$r_m$	1.087,50	mm
Wanddicke:	$s$	175,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	$r_m/s$	6,214	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$	1,054	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\alpha_{ka}$	0,946	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	1,00	%
Radiale Profilfläche:	$A_{rad}$	175,00	mm <sup>2</sup> /mm
Trägheitsabstand:	$e$	87,50	mm
Trägheitsmoment:	$I$	446.614,58	mm <sup>4</sup> /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	$W_a$	5.104,17	mm <sup>3</sup> /mm
Inneres Widerstandsmoment:	$W_i$	5.104,17	mm <sup>3</sup> /mm
Flächenverhältnis:	$K_Q$	1,2	[-]

#### 3.2.1.1 Materialeigenschaften

		Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	$\gamma_R$	23,0	23,0	kN/m <sup>3</sup>
Querkontraktionszahl	$\nu$	0,25	0,25	[-]
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_R$	23.300,0	8.200,0	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ}$	15,0	8,8	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD}$	95,0	56,0	N/mm <sup>2</sup>
Ringzugfestigkeit	$\sigma_{RZ}$	15,0	8,8	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,2E6}$	6,0	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $5 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,5E6}$	n. def.	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,1E8}$	5,0	N/mm <sup>2</sup>

#### 3.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf $\gamma_{RBZ}$	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf $\gamma_{RBD}$	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf $\gamma_{stab}$	2,00	2,00	[-]

#### 3.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

Nennweite:	DN	2.000	mm
Außendurchmesser:	$d_a$	2.350,0	mm
Lagenstärke der Bettungsschicht:	$a$	0,25	m
Mindestbreite in Grabensohle (einschl. x) nach Tabelle 1:	$min_{b,T1}$	3,35	m
Mindestbreite in Grabensohle nach Tabelle 2:	$min_{b,T2}$	1,00	m
Lichte Mindestbreite in Grabensohle:	$min_{b,G}$	3,35	m
Erforderliche lichte Breite im Rohrscheitel:	$min_{bL,R}$	3,35	m
Lichte Grabenbreite im Scheitel (ohne Verbau):	$b_{0^\circ,L}$	3,35	m
Dicke des Verbaus (einseitig):	$b_S$	0,30	m
Erforderliche Breite im Rohrscheitel:	$min_{b,R}$	3,95	m
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	$b$	3,95	m

Die Mindestgrabenbreite in der Grabensohle nach DIN EN 1610 wird eingehalten.

### 3.2.2 Zwischenergebnisse

#### 3.2.2.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert $\kappa$ für Grabenlast (Silotheorie):	$\kappa$	1,000	[-]
Erdlastbeiwert $\kappa_0$ für Flächenlast (Silotheorie):	$\kappa_0$	1,000	[-]
$\kappa_0$ und $\kappa$ wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.			

#### 3.2.2.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	0,00	m
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	$P_{Erd}$	66,00	kN/m <sup>2</sup>
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	$P_E$	66,00	kN/m <sup>2</sup>
Spannung aufgrund Verkehrslast:	$P_V$	18,74	kN/m <sup>2</sup>
Enthaltener Stoßfaktor:	$\phi$	1,20	[-]

#### 3.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:	$E_{1,\sigma}$	6,00	N/mm <sup>2</sup>	
$E_{3,\sigma} = \frac{40}{4} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})}$				3.01

E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,\sigma}$	3,91	N/mm <sup>2</sup>
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	6,00	N/mm <sup>2</sup>
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	$f_1$	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:	$D_{Pr,E20}$	0,90	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	$f_2$	0,750	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	$\alpha_{B0}$	0,333	[-]
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	$\alpha_B$	0,485	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	2,18	N/mm <sup>2</sup>
E-Modul Boden unter dem Rohr:	$E_{4,\sigma}$	60,00	N/mm <sup>2</sup>

#### 3.2.2.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	$\Delta f$	0,580	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	$\zeta$	1,405	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	$S_{Bh}$	1,838	N/mm <sup>2</sup>
Vertikale Bettungssteifigkeit:	$S_{Bv}$	1,971	N/mm <sup>2</sup>

#### 3.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	$2\alpha$	120	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	$t_r$	0,588	m
Höhe untere Bettungsschicht UK Rohr bis Grabensohle:	$h_{su}$	0,250	m
Berechnete Ausladung:	$a$	1,11	[-]
Wirksame Ausladung:	$a'$	3,044	[-]
Innerer Reibungswinkel:	$\varphi'$	20,000	°
Wandreibungswinkel:	$\delta$	6,667	°

Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten
-------------------------	---------------------------------------	--------------------------------

#### 3.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_R$	23.300,0	11.539,9	8.200,0	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ}$	15,0	10,2	8,8	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD}$	95,0	64,6	56,0	N/mm <sup>2</sup>
Rohrsteifigkeit	$S_R$	8.091	4.007	2.847	kN/m <sup>2</sup>

#### 3.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet	$V_{RB,w}$	4,4018	2,1801	1,5491	[-]
Steifigkeitsverhältnis	$V_S$	44,0900	21,8366	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_v$	-0,0931	-0,0931	---	[-]

### 3.2.2.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung)	$K_2$	0,500	0,500	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	$K^*$	0,020	0,040	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_h$	0,0906	0,0906	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qh^*}$	-0,0685	-0,0685	---	[-]

### 3.2.2.9 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	1,880	1,880	---	[-]
--------------------------------	----------------	-------	-------	-----	-----

Für Rohre großer Steifigkeit ( $VRB > 1$ ) ist die Berechnung mit  $\lambda_R = \max \lambda$  nach Abschnitt 6.3.1 weiterzuführen.

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	$\lambda_R$	1,880	1,880	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	$\lambda_{RG}$	1,200	1,200	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	$\lambda_{fo}$	3,505	3,505	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	$\lambda_{fu}$	0,783	0,783	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	$\lambda_{RG}$	1,200	1,200	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	$\lambda_B$	0,707	0,707	---	[-]

### 3.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	$q_v$	97,93	97,93	---	kN/m <sup>2</sup>
Seitendruck	$q_h$	29,78	29,78	---	kN/m <sup>2</sup>
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	$q^*_{hw}$	0,00	0,00	---	kN/m <sup>2</sup>

### 3.2.3 Schnittkräfte

#### 3.2.3.1 Schnittkräfte, Kurzzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			$r$	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	27,797	-27,797	23,395	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-8,170	8,030	-6,586	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	1,495	-1,723	1,385	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	2,019	-2,328	1,865	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	0,067	0,067	0,067	kNm/m
Summe der Momente	$\Sigma M$	23,207	-23,751	20,127	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	-2,130	-106,500	-59,427	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-31,088	0,000	-17,487	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,460	-6,877	-8,395	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	6,528	2,543	6,398	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pw}$	22,388	22,388	22,388	kN/m
Summe der Normalkräfte	$\Sigma N$	-3,843	-88,446	-56,524	kN/m

#### 3.2.3.2 Schnittkräfte, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):		$r$	1,000	[-]
--	--	-----	-------	-----

Mittlerer Radius	$r_m$	Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	27,797	-27,797	23,395	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-8,170	8,030	-6,586	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	1,495	-1,723	1,385	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	2,019	-2,328	1,865	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	-0,060	-0,060	-0,060	kNm/m
Summe der Momente	$\Sigma M$	23,080	-23,878	20,000	kNm/m

Mittlerer Radius	$r_m$	Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	-2,130	-106,500	-59,427	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-31,088	0,000	-17,487	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,460	-6,877	-8,395	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	6,528	2,543	6,398	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pw}$	-27,613	-27,613	-27,613	kN/m
Summe der Normalkräfte	$\Sigma N$	-53,843	-138,446	-106,524	kN/m

### 3.2.4 Nachweise Kurzzeit

#### 3.2.4.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:  
 Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:

erf  $\gamma_{RBZ}$  2,20 [-]  
 erf  $\gamma_{RBD}$  2,20 [-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	15,00	15,00	15,00	N/mm <sup>2</sup>
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	95,00	95,00	95,00	N/mm <sup>2</sup>

#### innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:  $\alpha_{ki}$  1,054 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	3,862	-4,689	3,030	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	0,907	-0,719	0,801	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	4,769	-5,408	3,832	N/mm <sup>2</sup>

Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	3,146	---	3,915	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	---	17,566	---	[-]

#### außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:  $\alpha_{ka}$  0,946 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	-3,829	3,056	-3,556	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	-0,496	0,842	-0,499	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	-4,325	3,898	-4,055	N/mm <sup>2</sup>

Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	---	3,848	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	21,966	---	23,429	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

### 3.2.4.2 Verformungsnachweis

Der Verformungsnachweis entfällt, da  $VRB > 1.0$  ist (biegesteifes Rohr).

### 3.2.5 Nachweise Langzeit

#### 3.2.5.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf $\gamma_{RBZ}$	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf $\gamma_{RBD}$	2,20	[-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	9,99	9,92	9,98	N/mm <sup>2</sup>
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	63,20	63,25	63,11	N/mm <sup>2</sup>

#### innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$	1,054	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	3,862	-4,689	3,030	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	0,595	-1,031	0,489	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	4,457	-5,720	3,520	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	2,241	---	2,836	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	---	11,026	---	[-]

#### außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\alpha_{ka}$	0,946	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	-3,829	3,056	-3,556	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	-0,758	0,580	-0,761	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	-4,587	3,636	-4,317	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	---	2,737	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	13,778	---	14,618	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

#### 3.2.5.2 Verformungsnachweis

Der Verformungsnachweis entfällt, da  $VRB > 1.0$  ist (biegesteifes Rohr).

#### 3.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear

Der nichtlineare Stabilitätsnachweis entfällt, da  $VRB > 1.0$  (biegesteifes Rohr) oder relative vertikale Verformung  $< 6\%$ .

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

## 4 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A4B4-hümax=5,00m-BA120°-durchgängig

Titel der Teilstatik: A4B4-hümax=5,00m-BA120°-durchgängig

Annahmen: Beton-Auflager > 120°  
über die gesamte Grabenbreite

Verbauplatten oder -geräte, schrittweise entfernt, mit  
lagenweiser Rückverfüllung und Verdichtung des Grabens  
gegen den gewachsenen Boden,  
mit Nachweis der Proctordichte  $D_{pr} > 97\%$  nach ZTVE-StB  
=> Überschüttungs- und Einbettungsbedingungen A4/B4

Überdeckung bis maximal 5,00m

Straßenverkehrslast SLW60 gemäß ATV-A127

für  
anstehenden Boden Ansatz Gruppe G4 mit  $D_{pr} > 95\%$ ,

GW ungünstig bis Rohrscheitel angesetzt,

Wasserfüllung mit kurzzeitig einwirkendem  
Innendruck von 0,5 bar angesetzt,

Hauptverfüllung mit G1, Leitungszone mit G1,

Grabenbreite maximal 3,95m inkl. Verbau,  
Silotheorie nicht berücksichtigt

Die statischen Sicherheitsbeiwerte wurden in  
Anlehnung an die ehemalige DIBt-Zulassung  
Nr. Z-42.1-250 bzw. an ähnlich biegesteife  
Materialien entsprechend ATV-A127, 3.Auflage,  
Tabelle 12, ungünstig angesetzt.

Berechnungsart:  
Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck:

Vollwand-/Profilrohr  
Ja

### 4.1 Eingaben

#### 4.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse:  
Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13:  
Zulässige Verformung:  
Behandlung von Innendruck:

Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:

A (Regelfall)  
Inklusive Vorverformungen (2,0 / 1,6)  
6% (Regelfall)  
Volle Überlagerung mit Außenbelastung  
(ATV-DVWK-A 127)  
Nein (ATV-DVWK-A 127)



Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:

Berücksichtigung von dyn pvh\*:

Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:

Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:

Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:

Nicht erforderlich

Nach Norm

Nein

DWA-A 161:2014 (nach Materialart)

Ja

**4.1.2 Boden**

Bodengruppe Verfüllung:

Berechnung E1:

Bodengruppe Einbettung:

Berechnung E20:

Bodengruppe anstehender Boden:

Berechnung E3:

Verdichtungsgrad E3:

E4 = 10 · E1:

Anwendung von Silotheorie:

K2 nach Norm:

G1

Tabelle 8 (A127)

G1

Tabelle 8 (A127)

G4

Verdichtungsgrad

DPr,E3 95,0 %

Ja

Nein

Ja

**4.1.3 Belastung**

Überdeckungshöhe:

Minimaler Grundwasserstand über Sohle:

Maximaler Grundwasserstand über Sohle:

Auftriebsnachweis führen:

Wichte des Bodens:

Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:

Zusätzliche Flächenlast:

Innendruck, kurzzeitig wirkend:

Innendruck, langfristig:

Wasserfüllung (z.B. Staukanal):

Wichte Füllmedium:

Verkehrslast:

Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:

h 5,00 m

hW,min 2,35 m

hW,max 2,35 m

Nein

YB 20,0 kN/m³

Nein

p0 0,0 kN/m²

PI,K 0,50 bar

PI,L 0,00 bar

Ja

YF 10,0 kN/m³

Straße SLW 60

αqhT,dyn 0,00 %

**4.1.4 Einbau**

Einbauweise:

Grabenbreite in Scheitelhöhe:

Mindestgrabenbreite prüfen:

Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:

Böschungswinkel:

Überschüttungsbedingung:

Einbettungsbedingung:

Auflagerart:

Auflagerwinkel:

Graben

b 3,95 m

Ja

Ja

β 90 °

A4

B4

Fest, über gesamte Grabenbreite

120°

**4.1.5 Vollwand/Profil-Rohr**

Rohrauswahl:

Material-Klasse:

Vorverformung Typ A:

Lokale Vorverformung:

Auswahl der Eingaben:

Außendurchmesser:

Innendurchmesser:

Perforation:

Vollwand

Polymerbeton

δv,A 1,0 %

δv,I 0,0 %

Da und Di

da 2.350,0 mm

di 2.000,0 mm

Ohne Perforation

**4.1.5.1 Polymer-Beton**

Wichte:

Querkontraktionszahl:

Erforderliche Sicherheit bei Versagen durch Bruch:

Y 23,0 kN/m³

v 0,25 [-]

erf Y 2,20 [-]

Elastizitätsmodul, Kurzzeit:

Elastizitätsmodul, Langzeit:

Ringbiegezugfestigkeit, Kurzzeit:

Ringbiegezugfestigkeit, Langzeit:

Biegedruckfestigkeit, Kurzzeit:

Biegedruckfestigkeit, Langzeit:

Die Schwingbreite bei  $2 \cdot 10^6$  Lastspielen ist bekannt:

Schwingbreite:

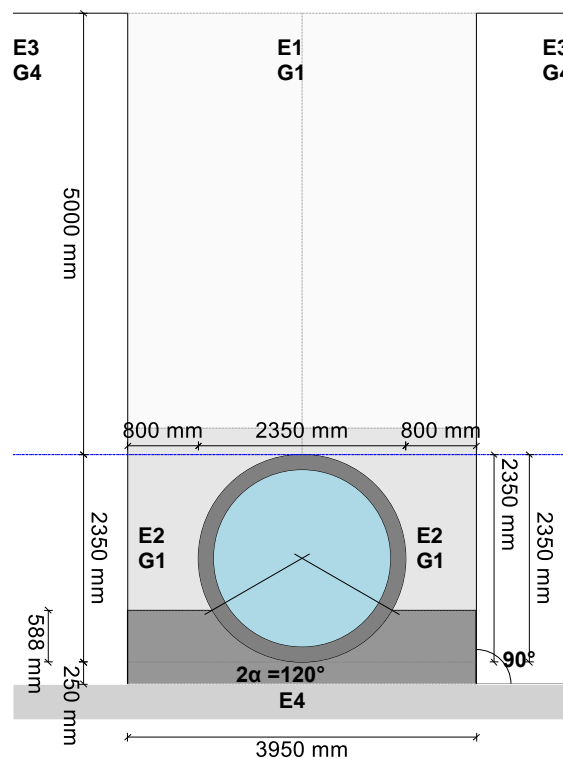
Die Schwingbreite bei  $1 \cdot 10^8$  Lastspielen ist bekannt:

Schwingbreite:

Angabe der Grenzspannungen Ringzug:

$E_{rad,K}$	23.300	N/mm <sup>2</sup>
$E_{rad,L}$	8.200	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{RBZ,K}$	15,0	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{RBZ,L}$	8,8	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{BD,K}$	95,0	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{BD,L}$	56,0	N/mm <sup>2</sup>
Ja		
$2\sigma_{a,2E6}$	6,00	N/mm <sup>2</sup>
Ja		
$2\sigma_{a,1E8}$	5,00	N/mm <sup>2</sup>
Nein		

**Verkehrslast: Straße SLW 60**



## 4.2 Ergebnisse

### 4.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	$d_i$	2.000,0	mm
Außendurchmesser:	$d_a$	2.350,0	mm
Mittlerer Radius:	$r_m$	1.087,50	mm
Wanddicke:	$s$	175,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	$r_m/s$	6,214	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$	1,054	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\alpha_{ka}$	0,946	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	1,00	%
Radiale Profilfläche:	$A_{rad}$	175,00	mm <sup>2</sup> /mm
Trägheitsabstand:	$e$	87,50	mm
Trägheitsmoment:	$I$	446.614,58	mm <sup>4</sup> /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	$W_a$	5.104,17	mm <sup>3</sup> /mm
Inneres Widerstandsmoment:	$W_i$	5.104,17	mm <sup>3</sup> /mm
Flächenverhältnis:	$K_Q$	1,2	[-]

#### 4.2.1.1 Materialeigenschaften

		Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	$\gamma_R$	23,0	23,0	kN/m <sup>3</sup>
Querkontraktionszahl	$\nu$	0,25	0,25	[-]
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_R$	23.300,0	8.200,0	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ}$	15,0	8,8	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD}$	95,0	56,0	N/mm <sup>2</sup>
Ringzugfestigkeit	$\sigma_{RZ}$	15,0	8,8	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,2E6}$	6,0	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $5 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,5E6}$	n. def.	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,1E8}$	5,0	N/mm <sup>2</sup>

#### 4.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf $\gamma_{RBZ}$	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf $\gamma_{RBD}$	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf $\gamma_{stab}$	2,00	2,00	[-]

#### 4.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

Nennweite:	DN	2.000	mm
Außendurchmesser:	$d_a$	2.350,0	mm
Lagenstärke der Bettungsschicht:	$a$	0,25	m
Mindestbreite in Grabensohle (einschl. x) nach Tabelle 1:	$min_{b,T1}$	3,35	m
Mindestbreite in Grabensohle nach Tabelle 2:	$min_{b,T2}$	1,00	m
Lichte Mindestbreite in Grabensohle:	$min_{b,G}$	3,35	m
Erforderliche Breite im Rohrscheitel:	$min_{b,R}$	3,35	m
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	$b$	3,95	m

Die Mindestgrabenbreite in der Grabensohle nach DIN EN 1610 wird eingehalten.

### 4.2.2 Zwischenergebnisse

#### 4.2.2.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert $\kappa$ für Grabenlast (Silotheorie):	$\kappa$	1,000	[-]
---	----------	-------	-----

Erdlastbeiwert  $k_0$  für Flächenlast (Silotheorie):  
 $k_0$  und  $k$  wurden zu 1 gesetzt, da  $E_1$  größer  $E_3$  ist.

$k_0$  1,000 [-]

#### 4.2.2.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:  
 Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:  
 Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:  
 Spannung aufgrund Verkehrslast:  
 Enthaltener Stoßfaktor:

$h_{W,Scheitel}$  0,00 m  
 $P_{Erd}$  100,00 kN/m<sup>2</sup>  
 $P_E$  100,00 kN/m<sup>2</sup>  
 $P_V$  10,68 kN/m<sup>2</sup>  
 $\phi$  1,20 [-]

#### 4.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:

$E_{1,\sigma}$  23,00 N/mm<sup>2</sup>

$$E_{3,\sigma} = \frac{40}{4} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})}$$

3.01

E-Modul anstehender Boden:  
 E-Modul Einbettung unter Last:  
 Reduktionsfaktor für das Kriechen:  
 Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:  
 Abminderungsfaktor  $E_{20}$  (Grundwasser):  
 Abminderungsfaktor  $E_{20}$  (Diagramm 5):  
 Abminderungsfaktor  $E_{20}$  (enger Graben):  
 E-Modul Einbettung (abgemindert):  
 E-Modul Boden unter dem Rohr:

$E_{3,\sigma}$  3,91 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_{20,\sigma}$  23,00 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_1$  1,000 [-]  
 $D_{pr,E20}$  0,97 [-]  
 $f_2$  1,000 [-]  
 $\alpha_{B0}$  1,000 [-]  
 $\alpha_B$  1,000 [-]  
 $E_{2,\sigma}$  23,00 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_{4,\sigma}$  230,00 N/mm<sup>2</sup>

#### 4.2.2.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:  
 Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:  
 Horizontale Bettungssteifigkeit:  
 Vertikale Bettungssteifigkeit:

$\Delta_f$  0,580 [-]  
 $\zeta$  0,239 [-]  
 $S_{Bh}$  3,295 N/mm<sup>2</sup>  
 $S_{Bv}$  30,667 N/mm<sup>2</sup>

#### 4.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:  
 Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:  
 Berechnete Ausladung:  
 Wirksame Ausladung:  
 Innerer Reibungswinkel:  
 Wandreibungswinkel:

$2\alpha$  120 °  
 $t_r$  0,588 m  
 $a$  0,75 [-]  
 $a'$  0,750 [-]  
 $\phi'$  20,000 °  
 $\delta$  20,000 °

Kurzzeit  
alle Lasten      Langzeit  
Erdlasten  
Verkehrslast      Langzeit  
sonstige  
Lasten

#### 4.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung  
 Radiale Biegezugfestigkeit  
 Radiale Biegedruckfestigkeit

$E_R$  23.300,0 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{RBZ}$  15,0 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{RBD}$  95,0 N/mm<sup>2</sup>

Rohrsteifigkeit

$S_R$  8.091 3.353 2.847 kN/m<sup>2</sup>

#### 4.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet  
 Steifigkeitsverhältnis  
 Resultierender Verformungsbeiwert

$V_{RB,w}$  2,4557 1,0000 1,0000 [-]  
 $V_S$  2,8340 1,1746 --- [-]  
 $c'_v$  -0,0931 -0,0931 --- [-]

#### 4.2.2.8 Beiwerte

Erdruckbeiwert (Einbettung)  
 Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck  
 Resultierender Verformungsbeiwert  
 Resultierender Verformungsbeiwert

$K_2$  0,500 0,500 --- [-]  
 $K^*$  0,036 0,085 --- [-]  
 $c'_h$  0,0906 0,0906 --- [-]  
 $c'_{h,qh^*}$  -0,0685 -0,0685 --- [-]

#### 4.2.2.9 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	1,282	1,282	---	[-]
--------------------------------	----------------	-------	-------	-----	-----

Für Rohre großer Steifigkeit ( $VRB > 1$ ) ist die Berechnung mit  $\lambda_R = \max \lambda$  nach Abschnitt 6.3.1 weiterzuführen.

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	$\lambda_R$	1,282	1,282	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	$\lambda_{RG}$	1,064	1,064	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	$\lambda_{fo}$	3,250	3,250	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	$\lambda_{fu}$	0,696	0,696	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	$\lambda_{RG}$	1,064	1,064	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	$\lambda_B$	0,906	0,906	---	[-]

#### 4.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	$q_v$	117,08	117,08	---	kN/m <sup>2</sup>
Seitendruck	$q_h$	51,76	51,76	---	kN/m <sup>2</sup>
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	$q_{hw}^*$	0,00	0,00	---	kN/m <sup>2</sup>

#### 4.2.3 Schnittkräfte

##### 4.2.3.1 Schnittkräfte, Kurzzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			$r$	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	33,231	-33,231	27,970	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-14,203	13,958	-11,448	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	1,495	-1,723	1,385	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	2,019	-2,328	1,865	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	0,067	0,067	0,067	kNm/m
Summe der Momente	$\Sigma M$	22,610	-23,257	19,839	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	-2,546	-127,322	-71,046	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-54,041	0,000	-30,398	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,460	-6,877	-8,395	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	6,528	2,543	6,398	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pw}$	22,388	22,388	22,388	kN/m
Summe der Normalkräfte	$\Sigma N$	-27,212	-109,269	-81,054	kN/m

##### 4.2.3.2 Schnittkräfte, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			$r$	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	33,231	-33,231	27,970	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-14,203	13,958	-11,448	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	1,495	-1,723	1,385	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	2,019	-2,328	1,865	kNm/m

Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	-0,060	-0,060	-0,060	kNm/m
Summe der Momente	$\Sigma M$	22,483	-23,384	19,712	kNm/m
Mittlerer Radius	$r_m$	Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	-2,546	-127,322	-71,046	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-54,041	0,000	-30,398	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,460	-6,877	-8,395	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	6,528	2,543	6,398	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pw}$	-27,613	-27,613	-27,613	kN/m
Summe der Normalkräfte	$\Sigma N$	-77,212	-159,269	-131,054	kN/m

#### 4.2.4 Nachweise Kurzzeit

##### 4.2.4.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf $\gamma_{RBZ}$	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf $\gamma_{RBD}$	2,20	[-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	15,00	15,00	15,00	N/mm <sup>2</sup>
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	95,00	95,00	95,00	N/mm <sup>2</sup>

##### innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$	1,054	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	Scheitel 3,605	Kämpfer -4,706	Sohle 2,831	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	0,907	-0,719	0,801	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	4,512	-5,425	3,632	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	3,325	---	4,130	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	---	17,511	---	[-]

##### außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\alpha_{ka}$	0,946	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	Scheitel -3,851	Kämpfer 2,846	Sohle -3,643	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	-0,496	0,842	-0,499	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	-4,348	3,688	-4,142	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	---	4,068	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	21,851	---	22,938	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

##### 4.2.4.2 Verformungsnachweis

Der Verformungsnachweis entfällt, da  $\gamma_{RB} > 1.0$  ist (biegesteifes Rohr).

## 4.2.5 Nachweise Langzeit

### 4.2.5.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:

erf  $\gamma_{RBZ}$  2,20 [-]

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:

erf  $\gamma_{RBD}$  2,20 [-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	9,31	9,29	9,31	N/mm <sup>2</sup>
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	59,14	59,13	59,11	N/mm <sup>2</sup>

#### innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:

$\alpha_{ki}$  1,054 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	3,605	-4,706	2,831	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	0,595	-1,031	0,489	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	4,200	-5,737	3,320	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	2,218	---	2,804	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	---	10,299	---	[-]

#### außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:

$\alpha_{ka}$  0,946 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	-3,851	2,846	-3,643	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	-0,758	0,580	-0,761	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	-4,610	3,426	-4,404	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	---	2,714	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	12,830	---	13,423	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

### 4.2.5.2 Verformungsnachweis

Der Verformungsnachweis entfällt, da  $\gamma_{RB} > 1.0$  ist (biegesteifes Rohr).

### 4.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear

Der nichtlineare Stabilitätsnachweis entfällt, da  $\gamma_{RB} > 1.0$  (biegesteifes Rohr) oder relative vertikale Verformung  $< 6\%$ .

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

## 5 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A1B1-hümax=4,70m-BA120°-durchgängig

Titel der Teilstatik: A1B1-hümax=4,70m-BA120°-durchgängig

Annahmen: Beton-Auflager > 120°  
über die gesamte Grabenbreite

Verbauplatten oder -geräte, schrittweise entfernt, mit  
lagenweiser Rückverfüllung und Verdichtung des Grabens  
gegen den gewachsenen Boden  
=> Überschüttungs- und Einbettungsbedingungen A1/B1

Überdeckung bis maximal 4,70m

Straßenverkehrslast SLW60 gemäß ATV-A127

für  
anstehenden Boden Ansatz Gruppe G4 mit Dpr>95%,

GW ungünstig bis Rohrscheitel angesetzt,

Wasserfüllung mit kurzzeitig einwirkendem  
Innendruck von 0,5 bar angesetzt,

Hauptverfüllung mit G1, Leitungszone mit G1,

Grabenbreite maximal 3,95m inkl. Verbau,  
Silotheorie nicht berücksichtigt

Die statischen Sicherheitsbeiwerte wurden in  
Anlehnung an die ehemalige DIBt-Zulassung  
Nr. Z-42.1-250 bzw. an ähnlich biegesteife  
Materialien entsprechend ATV-A127, 3.Auflage,  
Tabelle 12, ungünstig angesetzt.

Berechnungsart:  
Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck:

Vollwand-/Profilrohr  
Ja

### 5.1 Eingaben

#### 5.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse:  
Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13:  
Zulässige Verformung:  
Behandlung von Innendruck:

Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:  
Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:

A (Regelfall)  
Inklusive Vorverformungen (2,0 / 1,6)  
6% (Regelfall)  
Volle Überlagerung mit Außenbelastung  
(ATV-DVWK-A 127)  
Nein (ATV-DVWK-A 127)  
Nicht erforderlich



Berücksichtigung von dyn pvh\*:

Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:

Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:

Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:

Nach Norm

Nein

DWA-A 161:2014 (nach Materialart)

Ja

### 5.1.2 Boden

Bodengruppe Verfüllung:

Berechnung E1:

Bodengruppe Einbettung:

Berechnung E20:

Bodengruppe anstehender Boden:

Berechnung E3:

Verdichtungsgrad E3:

E4 = 10 · E1:

Anwendung von Silotheorie:

K2 nach Norm:

G1

Tabelle 8 (A127)

G1

Tabelle 8 (A127)

G4

Verdichtungsgrad

D<sub>Pr,E3</sub> 95,0 %

Ja

Nein

Ja

### 5.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:

Minimaler Grundwasserstand über Sohle:

Maximaler Grundwasserstand über Sohle:

Auftriebsnachweis führen:

Wichte des Bodens:

Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:

Zusätzliche Flächenlast:

Innendruck, kurzzeitig wirkend:

Innendruck, langfristig:

Wasserfüllung (z.B. Staukanal):

Wichte Füllmedium:

Verkehrslast:

Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:

h 4,70 m

h<sub>W,min</sub> 2,35 m

h<sub>W,max</sub> 2,35 m

Nein

γ<sub>B</sub> 20,0 kN/m<sup>3</sup>

Nein

p<sub>0</sub> 0,0 kN/m<sup>2</sup>

p<sub>I,K</sub> 0,50 bar

p<sub>I,L</sub> 0,00 bar

Ja

γ<sub>F</sub> 10,0 kN/m<sup>3</sup>

Straße SLW 60

α<sub>qhT,dyn</sub> 0,00 %

### 5.1.4 Einbau

Einbauweise:

Grabenbreite in Scheitelhöhe:

Mindestgrabenbreite prüfen:

Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:

Böschungswinkel:

Überschüttungsbedingung:

Einbettungsbedingung:

Auflagerart:

Auflagerwinkel:

Graben

b 3,95 m

Ja

Ja

β 90 °

A1

B1

Fest, über gesamte Grabenbreite

120°

### 5.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

Rohrauswahl:

Material-Klasse:

Vorverformung Typ A:

Lokale Vorverformung:

Auswahl der Eingaben:

Außendurchmesser:

Innendurchmesser:

Perforation:

Vollwand

Polymerbeton

δ<sub>v,A</sub> 1,0 %

δ<sub>v,I</sub> 0,0 %

Da und Di

d<sub>a</sub> 2.350,0 mm

d<sub>i</sub> 2.000,0 mm

Ohne Perforation

#### 5.1.5.1 Polymer-Beton

Wichte:

Querkontraktionszahl:

Erforderliche Sicherheit bei Versagen durch Bruch:

Elastizitätsmodul, Kurzzeit:

γ 23,0 kN/m<sup>3</sup>

v 0,25 [-]

erf γ 2,20 [-]

E<sub>rad,K</sub> 23.300 N/mm<sup>2</sup>

Elastizitätsmodul, Langzeit:

Ringbiegezugfestigkeit, Kurzzeit:

Ringbiegezugfestigkeit, Langzeit:

Biegedruckfestigkeit, Kurzzeit:

Biegedruckfestigkeit, Langzeit:

Die Schwingbreite bei  $2 \cdot 10^6$  Lastspielen ist bekannt:

Schwingbreite:

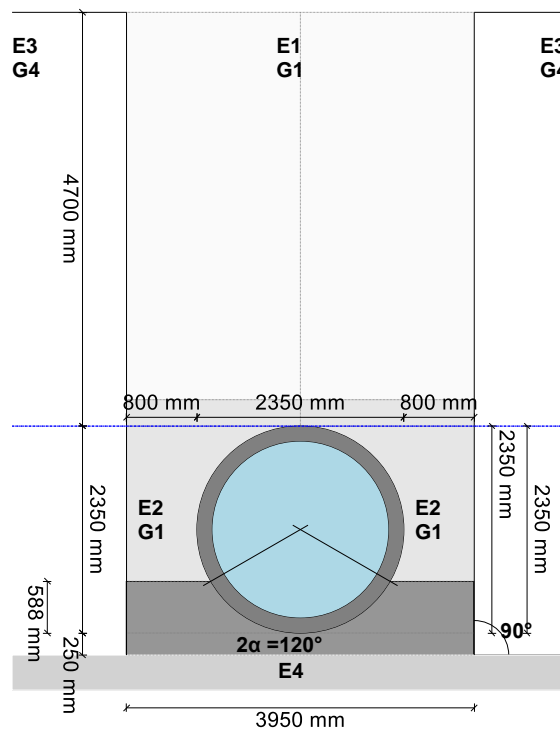
Die Schwingbreite bei  $1 \cdot 10^8$  Lastspielen ist bekannt:

Schwingbreite:

Angabe der Grenzspannungen Ringzug:

$E_{rad,L}$	8.200	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{RBZ,K}$	15,0	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{RBZ,L}$	8,8	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{BD,K}$	95,0	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{BD,L}$	56,0	N/mm <sup>2</sup>
Ja		
$2\sigma_{a,2E6}$	6,00	N/mm <sup>2</sup>
Ja		
$2\sigma_{a,1E8}$	5,00	N/mm <sup>2</sup>
Nein		

**Verkehrslast: Straße SLW 60**



## 5.2 Ergebnisse

### 5.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	$d_i$	2.000,0	mm
Außendurchmesser:	$d_a$	2.350,0	mm
Mittlerer Radius:	$r_m$	1.087,50	mm
Wanddicke:	$s$	175,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	$r_m/s$	6,214	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$	1,054	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\alpha_{ka}$	0,946	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	1,00	%
Radiale Profilfläche:	$A_{rad}$	175,00	mm <sup>2</sup> /mm
Trägheitsabstand:	$e$	87,50	mm
Trägheitsmoment:	$I$	446.614,58	mm <sup>4</sup> /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	$W_a$	5.104,17	mm <sup>3</sup> /mm
Inneres Widerstandsmoment:	$W_i$	5.104,17	mm <sup>3</sup> /mm
Flächenverhältnis:	$K_Q$	1,2	[-]

#### 5.2.1.1 Materialeigenschaften

		Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	$\gamma_R$	23,0	23,0	kN/m <sup>3</sup>
Querkontraktionszahl	$\nu$	0,25	0,25	[-]
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_R$	23.300,0	8.200,0	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ}$	15,0	8,8	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD}$	95,0	56,0	N/mm <sup>2</sup>
Ringzugfestigkeit	$\sigma_{RZ}$	15,0	8,8	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,2E6}$	6,0	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $5 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,5E6}$	n. def.	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,1E8}$	5,0	N/mm <sup>2</sup>

#### 5.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf $\gamma_{RBZ}$	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf $\gamma_{RBD}$	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf $\gamma_{stab}$	2,00	2,00	[-]

#### 5.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

Nennweite:	DN	2.000	mm
Außendurchmesser:	$d_a$	2.350,0	mm
Lagenstärke der Bettungsschicht:	$a$	0,25	m
Mindestbreite in Grabensohle (einschl. x) nach Tabelle 1:	$min_{b,T1}$	3,35	m
Mindestbreite in Grabensohle nach Tabelle 2:	$min_{b,T2}$	1,00	m
Lichte Mindestbreite in Grabensohle:	$min_{b,G}$	3,35	m
Erforderliche Breite im Rohrscheitel:	$min_{b,R}$	3,35	m
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	$b$	3,95	m

Die Mindestgrabenbreite in der Grabensohle nach DIN EN 1610 wird eingehalten.

### 5.2.2 Zwischenergebnisse

#### 5.2.2.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert $\kappa$ für Grabenlast (Silotheorie):	$\kappa$	1,000	[-]
---	----------	-------	-----

Erdlastbeiwert  $k_0$  für Flächenlast (Silotheorie):  
 $k_0$  und  $\kappa$  wurden zu 1 gesetzt, da  $E_1$  größer  $E_3$  ist.

$k_0$  1,000 [-]

#### 5.2.2.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:  
 Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:  
 Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:  
 Spannung aufgrund Verkehrslast:  
 Enthaltener Stoßfaktor:

$h_{W,Scheitel}$  0,00 m  
 $P_{Erd}$  94,00 kN/m<sup>2</sup>  
 $P_E$  94,00 kN/m<sup>2</sup>  
 $P_V$  11,73 kN/m<sup>2</sup>  
 $\phi$  1,20 [-]

#### 5.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:

$E_{1,\sigma}$  16,00 N/mm<sup>2</sup>

$$E_{3,\sigma} = \frac{40}{4} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})}$$

3.01

E-Modul anstehender Boden:  
 E-Modul Einbettung unter Last:  
 Reduktionsfaktor für das Kriechen:  
 Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:  
 Abminderungsfaktor  $E_{20}$  (Grundwasser):  
 Abminderungsfaktor  $E_{20}$  (Diagramm 5):  
 Abminderungsfaktor  $E_{20}$  (enger Graben):  
 E-Modul Einbettung (abgemindert):  
 E-Modul Boden unter dem Rohr:

$E_{3,\sigma}$  3,91 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_{20,\sigma}$  16,00 N/mm<sup>2</sup>  
 $f_1$  1,000 [-]  
 $D_{pr,E20}$  0,95 [-]  
 $f_2$  1,000 [-]  
 $\alpha_{B0}$  0,667 [-]  
 $\alpha_B$  0,742 [-]  
 $E_{2,\sigma}$  11,88 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_{4,\sigma}$  160,00 N/mm<sup>2</sup>

#### 5.2.2.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:  
 Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:  
 Horizontale Bettungssteifigkeit:  
 Vertikale Bettungssteifigkeit:

$\Delta_f$  0,580 [-]  
 $\zeta$  0,429 [-]  
 $S_{Bh}$  3,057 N/mm<sup>2</sup>  
 $S_{Bv}$  15,836 N/mm<sup>2</sup>

#### 5.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:  
 Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:  
 Berechnete Ausladung:  
 Wirksame Ausladung:  
 Innerer Reibungswinkel:  
 Wandreibungswinkel:

$2\alpha$  120 °  
 $t_r$  0,588 m  
 $a$  0,75 [-]  
 $a'$  1,010 [-]  
 $\phi'$  20,000 °  
 $\delta$  13,333 °

Kurzzeit  
alle Lasten

Langzeit  
Erdlasten  
Verkehrslast

Langzeit  
sonstige  
Lasten

#### 5.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung  
 Radiale Biegezugfestigkeit  
 Radiale Biegedruckfestigkeit

$E_R$  23.300,0 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{RBZ}$  15,0 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{RBD}$  95,0 N/mm<sup>2</sup>

Rohrsteifigkeit

$S_R$  8.091 3.429 2.847 kN/m<sup>2</sup>

#### 5.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet  
 Steifigkeitsverhältnis  
 Resultierender Verformungsbeiwert

$V_{RB,w}$  2,6466 1,0000 1,0000 [-]  
 $V_S$  5,4880 2,3259 --- [-]  
 $c'_v$  -0,0931 -0,0931 --- [-]

#### 5.2.2.8 Beiwerte

Erdruckbeiwert (Einbettung)  
 Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck  
 Resultierender Verformungsbeiwert  
 Resultierender Verformungsbeiwert

$K_2$  0,500 0,500 --- [-]  
 $K^*$  0,033 0,085 --- [-]  
 $c'_h$  0,0906 0,0906 --- [-]  
 $c'_{h,qh^*}$  -0,0685 -0,0685 --- [-]

### 5.2.2.9 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	1,370	1,370	---	[-]
--------------------------------	----------------	-------	-------	-----	-----

Für Rohre großer Steifigkeit ( $VRB > 1$ ) ist die Berechnung mit  $\lambda_R = \max \lambda$  nach Abschnitt 6.3.1 weiterzuführen.

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	$\lambda_R$	1,370	1,370	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	$\lambda_{RG}$	1,084	1,084	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	$\lambda_{fo}$	3,295	3,295	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	$\lambda_{fu}$	0,710	0,710	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	$\lambda_{RG}$	1,084	1,084	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	$\lambda_B$	0,877	0,877	---	[-]

### 5.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	$q_v$	113,63	113,63	---	kN/m <sup>2</sup>
Seitendruck	$q_h$	47,66	47,66	---	kN/m <sup>2</sup>
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	$q_{hw}^*$	0,00	0,00	---	kN/m <sup>2</sup>

### 5.2.3 Schnittkräfte

#### 5.2.3.1 Schnittkräfte, Kurzzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			$r$	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	32,252	-32,252	27,145	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-13,077	12,852	-10,541	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	1,495	-1,723	1,385	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	2,019	-2,328	1,865	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	0,067	0,067	0,067	kNm/m
Summe der Momente	$\Sigma M$	22,756	-23,384	19,922	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	-2,471	-123,569	-68,952	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-49,759	0,000	-27,989	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,460	-6,877	-8,395	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	6,528	2,543	6,398	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pw}$	22,388	22,388	22,388	kN/m
Summe der Normalkräfte	$\Sigma N$	-22,855	-105,516	-76,551	kN/m

#### 5.2.3.2 Schnittkräfte, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			$r$	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	32,252	-32,252	27,145	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-13,077	12,852	-10,541	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	1,495	-1,723	1,385	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	2,019	-2,328	1,865	kNm/m

Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	-0,060	-0,060	-0,060	kNm/m
Summe der Momente	$\Sigma M$	22,629	-23,511	19,795	kNm/m
Mittlerer Radius	$r_m$	Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	-2,471	-123,569	-68,952	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-49,759	0,000	-27,989	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,460	-6,877	-8,395	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	6,528	2,543	6,398	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pw}$	-27,613	-27,613	-27,613	kN/m
Summe der Normalkräfte	$\Sigma N$	-72,855	-155,516	-126,551	kN/m

## 5.2.4 Nachweise Kurzzeit

### 5.2.4.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf $\gamma_{RBZ}$	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf $\gamma_{RBD}$	2,20	[-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	15,00	15,00	15,00	N/mm <sup>2</sup>
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	95,00	95,00	95,00	N/mm <sup>2</sup>

#### innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$	1,054	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	Scheitel 3,660	Kämpfer -4,711	Sohle 2,874	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	0,907	-0,719	0,801	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	4,567	-5,430	3,675	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	3,285	---	4,082	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	---	17,496	---	[-]

#### außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\alpha_{ka}$	0,946	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	Scheitel -3,854	Kämpfer 2,891	Sohle -3,633	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	-0,496	0,842	-0,499	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	-4,350	3,733	-4,131	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	---	4,019	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	21,841	---	22,996	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

### 5.2.4.2 Verformungsnachweis

Der Verformungsnachweis entfällt, da  $\gamma_{RB} > 1.0$  ist (biegesteifes Rohr).

## 5.2.5 Nachweise Langzeit

### 5.2.5.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:  
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:

erf  $\gamma_{RBZ}$  2,20 [-]  
erf  $\gamma_{RBD}$  2,20 [-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	9,39	9,36	9,39	N/mm <sup>2</sup>
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	59,61	59,60	59,58	N/mm <sup>2</sup>

#### innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:  $\alpha_{ki}$  1,054 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	3,660	-4,711	2,874	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	0,595	-1,031	0,489	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	4,255	-5,742	3,363	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	2,207	---	2,791	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	---	10,371	---	[-]

#### außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:  $\alpha_{ka}$  0,946 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	-3,854	2,891	-3,633	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	-0,758	0,580	-0,761	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	-4,612	3,470	-4,393	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	---	2,701	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	12,926	---	13,561	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

### 5.2.5.2 Verformungsnachweis

Der Verformungsnachweis entfällt, da  $\gamma_{RB} > 1.0$  ist (biegesteifes Rohr).

### 5.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear

Der nichtlineare Stabilitätsnachweis entfällt, da  $\gamma_{RB} > 1.0$  (biegesteifes Rohr) oder relative vertikale Verformung  $< 6\%$ .

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

## 6 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A2B2-hümax=3,80m-BA120°-durchgängig

Titel der Teilstatik: A2B2-hümax=3,80m-BA120°-durchgängig

Annahmen: Beton-Auflager > 120°  
über die gesamte Grabenbreite

Verbauplatten oder -geräte, schrittweise entfernt, mit  
lagenweiser Rückverfüllung des Grabens sowie anschließender  
Verdichtung der Verfüllung  
=> Überschüttungs- und Einbettungsbedingungen A2/B2

Überdeckung bis maximal 3,80m

Straßenverkehrslast SLW60 gemäß ATV-A127

für  
anstehenden Boden Ansatz Gruppe G4 mit Dpr>95%,

GW ungünstig bis Rohrscheitel angesetzt,

Wasserfüllung mit kurzzeitig einwirkendem  
Innendruck von 0,5 bar angesetzt,

Hauptverfüllung mit G1, Leitungszone mit G1,

Grabenbreite maximal 3,95m inkl. Verbau,  
Silotheorie nicht berücksichtigt

Die statischen Sicherheitsbeiwerte wurden in  
Anlehnung an die ehemalige DIBt-Zulassung  
Nr. Z-42.1-250 bzw. an ähnlich biegesteife  
Materialien entsprechend ATV-A127, 3.Auflage,  
Tabelle 12, ungünstig angesetzt.

Berechnungsart:  
Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck:

Vollwand-/Profilrohr  
Ja

### 6.1 Eingaben

#### 6.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse:  
Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13:  
Zulässige Verformung:  
Behandlung von Innendruck:

Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:  
Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:

A (Regelfall)  
Inklusive Vorverformungen (2,0 / 1,6)  
6% (Regelfall)  
Volle Überlagerung mit Außenbelastung  
(ATV-DVWK-A 127)  
Nein (ATV-DVWK-A 127)  
Nicht erforderlich



Berücksichtigung von dyn pvh\*:

Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:

Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:

Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:

Nach Norm

Nein

DWA-A 161:2014 (nach Materialart)

Ja

**6.1.2 Boden**

Bodengruppe Verfüllung:

Berechnung E1:

Bodengruppe Einbettung:

Berechnung E20:

Bodengruppe anstehender Boden:

Berechnung E3:

Verdichtungsgrad E3:

E4 = 10 · E1:

Anwendung von Silotheorie:

K2 nach Norm:

G1

Tabelle 8 (A127)

G1

Tabelle 8 (A127)

G4

Verdichtungsgrad

D<sub>Pr,E3</sub> 95,0 %

Ja

Nein

Ja

**6.1.3 Belastung**

Überdeckungshöhe:

Minimaler Grundwasserstand über Sohle:

Maximaler Grundwasserstand über Sohle:

Auftriebsnachweis führen:

Wichte des Bodens:

Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:

Zusätzliche Flächenlast:

Innendruck, kurzzeitig wirkend:

Innendruck, langfristig:

Wasserfüllung (z.B. Staukanal):

Wichte Füllmedium:

Verkehrslast:

Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:

h 3,80 m

h<sub>W,min</sub> 2,35 mh<sub>W,max</sub> 2,35 m

Nein

γ<sub>B</sub> 20,0 kN/m<sup>3</sup>

Nein

p<sub>0</sub> 0,0 kN/m<sup>2</sup>P<sub>I,K</sub> 0,50 barP<sub>I,L</sub> 0,00 bar

Ja

γ<sub>F</sub> 10,0 kN/m<sup>3</sup>

Straße SLW 60

α<sub>qhT,dyn</sub> 0,00 %**6.1.4 Einbau**

Einbauweise:

Grabenbreite in Scheitelhöhe:

Mindestgrabenbreite prüfen:

Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:

Böschungswinkel:

Überschüttungsbedingung:

Einbettungsbedingung:

Berücksichtigung der Unterrammung nach Bericht der ATV-AG 1.5.5.:

Dicke des Verbaus (einseitig):

Auflagerart:

Auflagerwinkel:

Graben

b 3,95 m

Ja

Ja

β 90 °

A2

B2

Nein

b<sub>s</sub> 0,30 m

Fest, über gesamte Grabenbreite

120°

**6.1.5 Vollwand/Profil-Rohr**

Rohrauswahl:

Material-Klasse:

Vorverformung Typ A:

Lokale Vorverformung:

Auswahl der Eingaben:

Außendurchmesser:

Innendurchmesser:

Perforation:

Vollwand

Polymerbeton

δ<sub>v,A</sub> 1,0 %δ<sub>v,I</sub> 0,0 %

Da und Di

d<sub>a</sub> 2.350,0 mmd<sub>i</sub> 2.000,0 mm

Ohne Perforation

**6.1.5.1 Polymer-Beton**

Wichte:

Querkontraktionszahl:

γ 23,0 kN/m<sup>3</sup>

ν 0,25 [-]

Erforderliche Sicherheit bei Versagen durch Bruch:

Elastizitätsmodul, Kurzzeit:

Elastizitätsmodul, Langzeit:

Ringbiegezugfestigkeit, Kurzzeit:

Ringbiegezugfestigkeit, Langzeit:

Biegedruckfestigkeit, Kurzzeit:

Biegedruckfestigkeit, Langzeit:

Die Schwingbreite bei  $2 \cdot 10^6$  Lastspielen ist bekannt:

Schwingbreite:

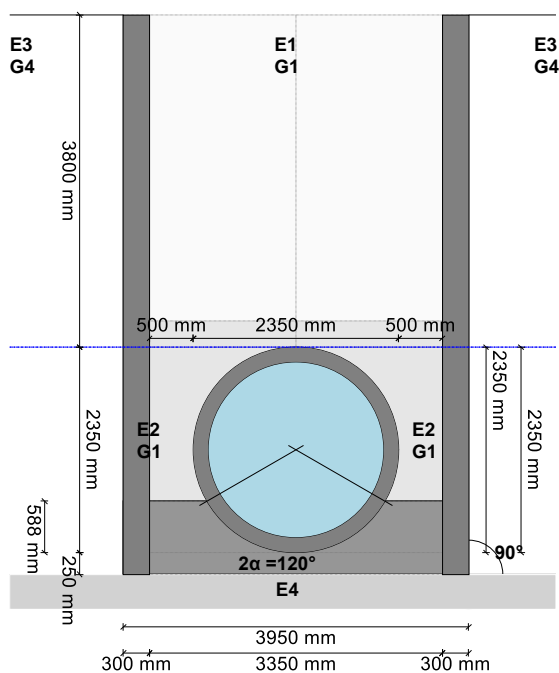
Die Schwingbreite bei  $1 \cdot 10^8$  Lastspielen ist bekannt:

Schwingbreite:

Angabe der Grenzspannungen Ringzug:

erf $\gamma$	2,20	[-]
$E_{rad,K}$	23.300	N/mm <sup>2</sup>
$E_{rad,L}$	8.200	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{RBZ,K}$	15,0	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{RBZ,L}$	8,8	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{BD,K}$	95,0	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{BD,L}$	56,0	N/mm <sup>2</sup>
Ja		
$2\sigma_{a,2E6}$	6,00	N/mm <sup>2</sup>
Ja		
$2\sigma_{a,1E8}$	5,00	N/mm <sup>2</sup>
Nein		

Verkehrslast: Straße SLW 60



## 6.2 Ergebnisse

### 6.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	$d_i$	2.000,0	mm
Außendurchmesser:	$d_a$	2.350,0	mm
Mittlerer Radius:	$r_m$	1.087,50	mm
Wanddicke:	$s$	175,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	$r_m/s$	6,214	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$	1,054	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\alpha_{ka}$	0,946	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	1,00	%
Radiale Profilfläche:	$A_{rad}$	175,00	mm <sup>2</sup> /mm
Trägheitsabstand:	$e$	87,50	mm
Trägheitsmoment:	$I$	446.614,58	mm <sup>4</sup> /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	$W_a$	5.104,17	mm <sup>3</sup> /mm
Inneres Widerstandsmoment:	$W_i$	5.104,17	mm <sup>3</sup> /mm
Flächenverhältnis:	$K_Q$	1,2	[-]

#### 6.2.1.1 Materialeigenschaften

		Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	$\gamma_R$	23,0	23,0	kN/m <sup>3</sup>
Querkontraktionszahl	$\nu$	0,25	0,25	[-]
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_R$	23.300,0	8.200,0	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ}$	15,0	8,8	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD}$	95,0	56,0	N/mm <sup>2</sup>
Ringzugfestigkeit	$\sigma_{RZ}$	15,0	8,8	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,2E6}$	6,0	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $5 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,5E6}$	n. def.	N/mm <sup>2</sup>
Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:		$2\sigma_{a,1E8}$	5,0	N/mm <sup>2</sup>

#### 6.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf $\gamma_{RBZ}$	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf $\gamma_{RBD}$	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf $\gamma_{stab}$	2,00	2,00	[-]

#### 6.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

Nennweite:	DN	2.000	mm
Außendurchmesser:	$d_a$	2.350,0	mm
Lagenstärke der Bettungsschicht:	$a$	0,25	m
Mindestbreite in Grabensohle (einschl. x) nach Tabelle 1:	$min_{b,T1}$	3,35	m
Mindestbreite in Grabensohle nach Tabelle 2:	$min_{b,T2}$	1,00	m
Lichte Mindestbreite in Grabensohle:	$min_{b,G}$	3,35	m
Erforderliche lichte Breite im Rohrscheitel:	$min_{bL,R}$	3,35	m
Lichte Grabenbreite im Scheitel (ohne Verbau):	$b_{0^\circ,L}$	3,35	m
Dicke des Verbaus (einseitig):	$b_S$	0,30	m
Erforderliche Breite im Rohrscheitel:	$min_{b,R}$	3,95	m
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	$b$	3,95	m

Die Mindestgrabenbreite in der Grabensohle nach DIN EN 1610 wird eingehalten.

## 6.2.2 Zwischenergebnisse

### 6.2.2.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert $\kappa$ für Grabenlast (Silotheorie):	$\kappa$	1,000	[-]
Erdlastbeiwert $\kappa_0$ für Flächenlast (Silotheorie):	$\kappa_0$	1,000	[-]
$\kappa_0$ und $\kappa$ wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.			

### 6.2.2.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	0,00	m
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	$P_{Erd}$	76,00	kN/m <sup>2</sup>
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	$P_E$	76,00	kN/m <sup>2</sup>
Spannung aufgrund Verkehrslast:	$P_V$	15,78	kN/m <sup>2</sup>
Enthaltener Stoßfaktor:	$\phi$	1,20	[-]

### 6.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:	$E_{1,\sigma}$	6,00	N/mm <sup>2</sup>	
$E_{3,\sigma} = \frac{40}{4} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})}$				3.01

E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,\sigma}$	3,91	N/mm <sup>2</sup>
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	6,00	N/mm <sup>2</sup>
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	$f_1$	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:	$D_{Pr,E20}$	0,90	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	$f_2$	0,750	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	$\alpha_{B0}$	0,333	[-]
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	$\alpha_B$	0,485	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	2,18	N/mm <sup>2</sup>
E-Modul Boden unter dem Rohr:	$E_{4,\sigma}$	60,00	N/mm <sup>2</sup>

### 6.2.2.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	$\Delta f$	0,580	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	$\zeta$	1,405	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	$S_{Bh}$	1,838	N/mm <sup>2</sup>
Vertikale Bettungssteifigkeit:	$S_{Bv}$	2,908	N/mm <sup>2</sup>

### 6.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	$2\alpha$	120	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	$t_r$	0,588	m
Berechnete Ausladung:	$a$	0,75	[-]
Wirksame Ausladung:	$a'$	2,063	[-]
Innerer Reibungswinkel:	$\varphi'$	20,000	°
Wandreibungswinkel:	$\delta$	6,667	°

Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten
-------------------------	---------------------------------------	--------------------------------

### 6.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_R$	23.300,0	10.795,7	8.200,0	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ}$	15,0	9,9	8,8	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD}$	95,0	62,7	56,0	N/mm <sup>2</sup>
Rohrsteifigkeit	$S_R$	8.091	3.749	2.847	kN/m <sup>2</sup>

### 6.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet	$V_{RB,w}$	4,4018	2,0395	1,5491	[-]
Steifigkeitsverhältnis	$V_S$	29,8880	13,8482	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_v$	-0,0931	-0,0931	---	[-]

#### 6.2.2.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung)	$K_2$	0,500	0,500	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	$K^*$	0,020	0,043	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_h$	0,0906	0,0906	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'_{h,qh^*}$	-0,0685	-0,0685	---	[-]

#### 6.2.2.9 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	1,661	1,661	---	[-]
--------------------------------	----------------	-------	-------	-----	-----

Für Rohre großer Steifigkeit ( $VRB > 1$ ) ist die Berechnung mit  $\lambda_R = \max \lambda$  nach Abschnitt 6.3.1 weiterzuführen.

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	$\lambda_R$	1,661	1,661	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	$\lambda_{RG}$	1,150	1,150	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	$\lambda_{fo}$	3,430	3,430	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	$\lambda_{fu}$	0,756	0,756	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	$\lambda_{RG}$	1,150	1,150	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	$\lambda_B$	0,780	0,780	---	[-]

#### 6.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	$q_v$	103,18	103,18	---	kN/m <sup>2</sup>
Seitendruck	$q_h$	36,09	36,09	---	kN/m <sup>2</sup>
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	$q^*_{hw}$	0,00	0,00	---	kN/m <sup>2</sup>

#### 6.2.3 Schnittkräfte

##### 6.2.3.1 Schnittkräfte, Kurzzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			$r$	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	29,286	-29,286	24,649	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-9,902	9,731	-7,981	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	1,495	-1,723	1,385	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	2,019	-2,328	1,865	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	0,067	0,067	0,067	kNm/m
Summe der Momente	$\Sigma M$	22,965	-23,539	19,985	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	-2,244	-112,207	-62,611	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-37,677	0,000	-21,193	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,460	-6,877	-8,395	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	6,528	2,543	6,398	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pw}$	22,388	22,388	22,388	kN/m
Summe der Normalkräfte	$\Sigma N$	-10,546	-94,153	-63,415	kN/m

##### 6.2.3.2 Schnittkräfte, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			$r$	1,000	[-]
--	--	--	-----	-------	-----

Mittlerer Radius	$r_m$	Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	29,286	-29,286	24,649	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-9,902	9,731	-7,981	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	1,495	-1,723	1,385	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	2,019	-2,328	1,865	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	-0,060	-0,060	-0,060	kNm/m
Summe der Momente	$\Sigma M$	22,838	-23,666	19,858	kNm/m

Mittlerer Radius	$r_m$	Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	-2,244	-112,207	-62,611	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-37,677	0,000	-21,193	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,460	-6,877	-8,395	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	6,528	2,543	6,398	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pw}$	-27,613	-27,613	-27,613	kN/m
Summe der Normalkräfte	$\Sigma N$	-60,546	-144,153	-113,415	kN/m

## 6.2.4 Nachweise Kurzzeit

### 6.2.4.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:  
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:

erf  $\gamma_{RBZ}$  2,20 [-]  
erf  $\gamma_{RBD}$  2,20 [-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	15,00	15,00	15,00	N/mm <sup>2</sup>
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	95,00	95,00	95,00	N/mm <sup>2</sup>

#### innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:  $\alpha_{ki}$  1,054 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	3,773	-4,678	2,962	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	0,907	-0,719	0,801	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	4,680	-5,397	3,763	N/mm <sup>2</sup>

Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	3,205	---	3,986	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	---	17,602	---	[-]

#### außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:  $\alpha_{ka}$  0,946 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	-3,822	2,984	-3,569	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	-0,496	0,842	-0,499	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	-4,318	3,826	-4,068	N/mm <sup>2</sup>

Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	---	3,920	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	22,000	---	23,354	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

#### 6.2.4.2 Verformungsnachweis

Der Verformungsnachweis entfällt, da  $VRB > 1.0$  ist (biegesteifes Rohr).

#### 6.2.5 Nachweise Langzeit

##### 6.2.5.1 Spannungsnachweis

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh*}| + |\sigma_{sonst}|} \quad (9.01c)$$

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf $\gamma_{RBZ}$	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf $\gamma_{RBD}$	2,20	[-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	9,72	9,67	9,71	N/mm <sup>2</sup>
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	61,59	61,61	61,53	N/mm <sup>2</sup>

##### innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$	1,054	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	3,773	-4,678	2,962	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	0,595	-1,031	0,489	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	4,368	-5,709	3,451	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	2,225	---	2,815	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	---	10,771	---	[-]

##### außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\alpha_{ka}$	0,946	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	-3,822	2,984	-3,569	N/mm <sup>2</sup>
Spannung aufgrund anderer Lasten	$\sigma_{sonst}$	-0,758	0,580	-0,761	N/mm <sup>2</sup>
Spannung gesamt	$\sigma$	-4,580	3,564	-4,330	N/mm <sup>2</sup>
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	$\gamma_{BZ}$	---	2,719	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	$\gamma_{BD}$	13,447	---	14,209	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

##### 6.2.5.2 Verformungsnachweis

Der Verformungsnachweis entfällt, da  $VRB > 1.0$  ist (biegesteifes Rohr).

##### 6.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear

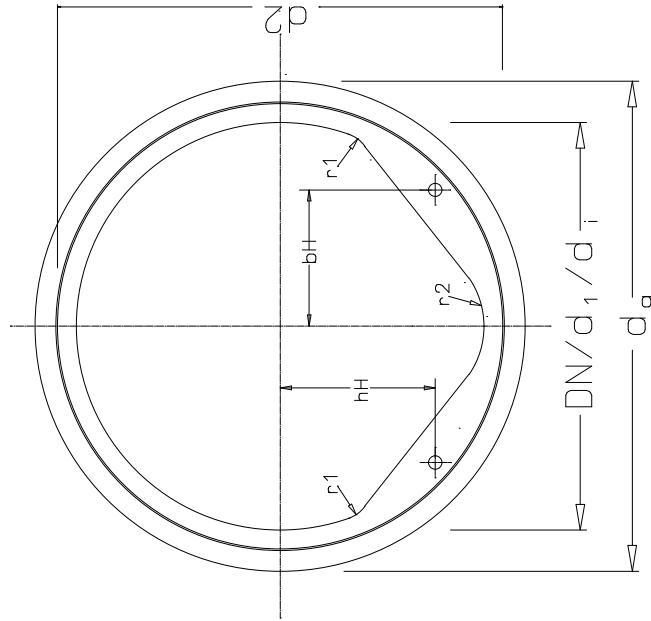
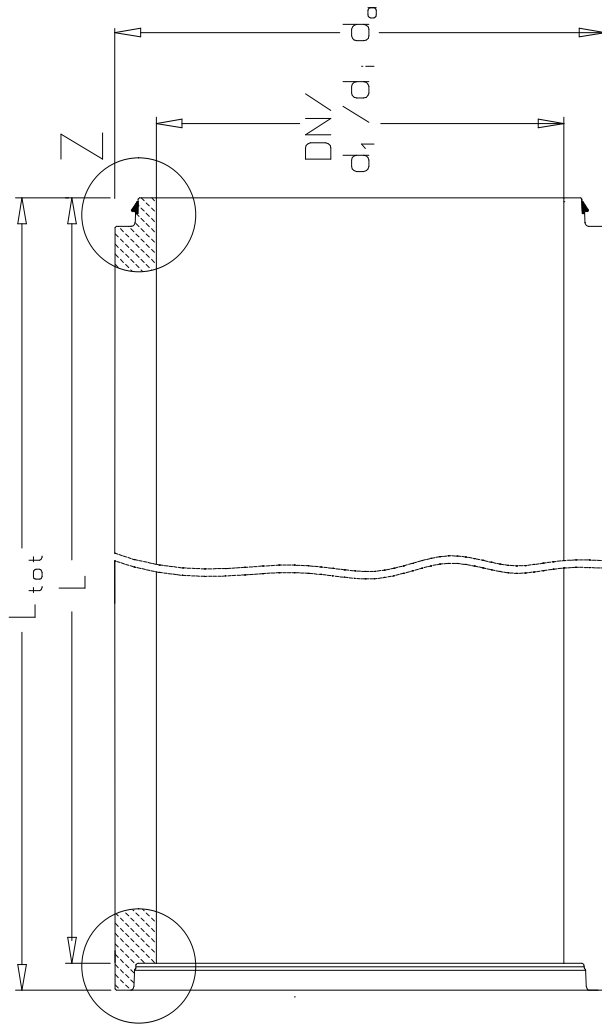
Der nichtlineare Stabilitätsnachweis entfällt, da  $VRB > 1.0$  (biegesteifes Rohr) oder relative vertikale Verformung  $< 6\%$ .

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

POLYCRETE® Kanalrohr mit Falzmuffe – Drachenprofil  
PRC-OK DN 2000 FM TKL100 in Anlehnung an DIN EN 14636-1 u. ISO 18672-1

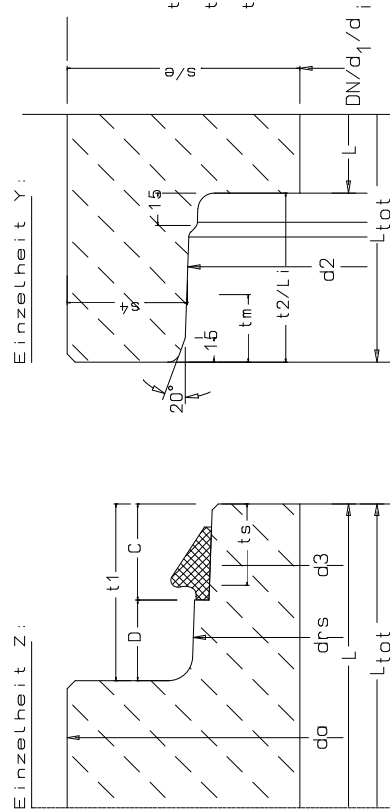


**meyer-POLYCRETE GmbH**  
Büro Netze - Bahnhofstr. 77 - 21398 Netze  
Tel.: 05850/18-292 Fax: 05850/18-295



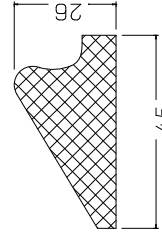
Einzelheit Y:

Einzelheit Z:



$t_1 = t_2 + 5\text{mm}$   
 $t_s \sim C - 5\text{mm}$   
 $t_m = t_2 - t_s - 10\text{mm}$

SBR-Dichtprofil



Schnittlänge 5900 mm

POLYCRETE® Kanalrohre PRC-OK DN 2000 Drachenprofil mit Falzmuffe

DN/d <sub>1</sub> d <sub>i</sub>	d <sub>2</sub>		d <sub>rs</sub>		d <sub>3</sub>		d <sub>a</sub>		r <sub>1</sub>		r <sub>2</sub>		s/ε		s <sub>4</sub>		w		C		D		L		L <sub>tot</sub>		Rohr- gewicht kg/m	t <sub>2</sub> /L <sub>i</sub>	hH		bH	Ø	Stk					
	tol.		tol.		tol.		tol.		tol.		tol.		tol.		tol.		tol.		tol.		tol.		tol.		tol.				tol.					tol.		tol.		
2000	+5	-5	2165	+3	-3	2150	+3	-3	2134	+3	-3	2350	+8	-5	500	+3	-3	175	+5	92	+5	-3	60	+2	60	+2	2990	+10	3105	±10	3255	115	-0	+2	695	695	42,4	4



**POLYCRETE® Kanalrohre**  
**gem DIN EN 14636-1 u. ISO 18672-1**  
**mit Glockenmuffe / Falzmuffe**

-Büro Neetze-  
 Bahnhofstr. 77 · D-21398 Neetze  
 Tel. +49 (0) 58 50 /18-292 · +49 (0) 58 50 /18-295  
 e-mail: martin.prigge@meyer-polycrete.com

Kriterium		Kurz- zeichen	Kennwert	Einheit
Wichte		$\gamma_R$	23	kN/m³
E-Modul	Kurzzeit	$E_{RK}$	23.300	N/mm²
	Langzeit	$E_{RL}$	8.200	N/mm²
Scheiteldruckfestigkeit		$F_N$	Tragfähigkeitsklasse ≥ 100*)	KN/m
*) $F_N \geq$ Tragfähigkeitsklasse x DN x 10 <sup>-3</sup>				
			DN mm	FN-min. kN/m
			300	74
			400	73
			500	76
			600	72
			700	86
			800	98
			900	109
			1000	155
			1200	144
			1400	171
			1500	180
			1600	186
			1800	201
			2000	217
Druckfestigkeit		$\sigma_D$	95	N/mm²
Dauerschwellfestigkeit (Schwingbreite)		2 x $\sigma_A$	6 (5)	N/mm²
	Nachweis Frequenz		2 x 10 <sup>6</sup> (10 <sup>8</sup> ) 12	Lastwechsel Hz
Abriebfestigkeit		$a_m$	≤ 0,5	mm
Wandrauhigkeit		k	≤ 0,1	mm
Querkontraktion		v	0,25	[1]

Kriterium		Kurz- zeichen	Kennwert		Einheit
Wichte		$\gamma_R$	23		kN/m³
E-Modul	Kurzzeit	$E_{RK}$	23.300		N/mm²
	Langzeit	$E_{RL}$	8.200		N/mm²
Ringbiegezugfestigkeit	Kurzzeit	$\sigma_{RBZK}$	≤ DN 500: > DN 500 :	16 15	N/mm²
	Langzeit	$\sigma_{RBZL}$	≤ DN 500: > DN 500 :	9,4 8,8	N/mm²
Druckfestigkeit		$\sigma_D$	95		N/mm²
Dauerschwellfestigkeit (Schwingbreite)		$2 \times \sigma_A$	6 (5)		N/mm²
	Nachweis mit Frequenz		$2 \times 10^6$ ( $10^8$ ) 12		Lastwechsel Hz
Abriebfestigkeit		$a_m$	≤ 0,5		mm
Wandrauhigkeit		k	≤ 0,1		mm
Querkontraktion		v	0,25		[1]