

STATISCHE BERECHNUNG nach ATV-DVWK-A 127

für POLYCRETE® Kanalrohre mit Drachenquerschnitt und Falzmuffe

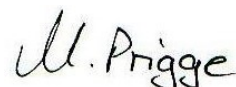
Statik-Nr.: PRC – OK – 22 – 09 – 02

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

Nennweite: DN 2000 (Drachen)

Aufgestellt:

Neetze, den 26. September 2022



.....
(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 (Editharing)

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.: PRC-OK-22-09-02

Datum: 26.09.2022

Inhaltsangabe

1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A1B1-hümin=2,70m-BA120°	5
1.1 Eingaben	5
1.1.1 Sicherheiten	5
1.1.2 Boden	6
1.1.3 Belastung	6
1.1.4 Einbau	6
1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr	6
1.1.5.1 Polymer-Beton	6
1.2 Ergebnisse	8
1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	8
1.2.1.1 Materialeigenschaften	8
1.2.1.2 Sicherheiten	8
1.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	8
1.2.2 Zwischenergebnisse	8
1.2.2.1 Silotheorie	8
1.2.2.2 Belastung	9
1.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB	9
1.2.2.4 Bodensteifigkeiten	9
1.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	9
1.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	9
1.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse	9
1.2.2.8 Beiwerte	9
1.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	10
1.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang	10
1.2.3 Schnittkräfte	10
1.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit	10
1.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit	11
1.2.4 Nachweise Kurzzeit	11
1.2.4.1 Spannungsnachweis	11
1.2.4.2 Verformungsnachweis	12
1.2.5 Nachweise Langzeit	12
1.2.5.1 Spannungsnachweis	12
1.2.5.2 Verformungsnachweis	12
1.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear	12
2 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A1B1-hümax=3,10m-BA120°	14
2.1 Eingaben	14
2.1.1 Sicherheiten	14
2.1.2 Boden	15
2.1.3 Belastung	15
2.1.4 Einbau	15
2.1.5 Vollwand/Profil-Rohr	15
2.1.5.1 Polymer-Beton	15

2.2 Ergebnisse	17
2.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	17
2.2.1.1 Materialeigenschaften	17
2.2.1.2 Sicherheiten	17
2.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	17
2.2.2 Zwischenergebnisse	17
2.2.2.1 Silotheorie	17
2.2.2.2 Belastung	18
2.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB	18
2.2.2.4 Bodensteifigkeiten	18
2.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	18
2.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	18
2.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse	18
2.2.2.8 Beiwerte	18
2.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	19
2.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang	19
2.2.3 Schnittkräfte	19
2.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit	19
2.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit	20
2.2.4 Nachweise Kurzzeit	20
2.2.4.1 Spannungsnachweis	20
2.2.4.2 Verformungsnachweis	21
2.2.5 Nachweise Langzeit	21
2.2.5.1 Spannungsnachweis	21
2.2.5.2 Verformungsnachweis	21
2.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear	21
3 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A2B2-h_{min}=2,70m-BA120°	23
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	28
3.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_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	29
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
4 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A2B2-hümax=3,10m-BA120°	32
4.1 Eingaben	32
4.1.1 Sicherheiten	32
4.1.2 Boden	33
4.1.3 Belastung	33
4.1.4 Einbau	33
4.1.5 Vollwand/Profil-Rohr	33
4.1.5.1 Polymer-Beton	33
4.2 Ergebnisse	35
4.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	35
4.2.1.1 Materialeigenschaften	35
4.2.1.2 Sicherheiten	35
4.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	35
4.2.2 Zwischenergebnisse	35
4.2.2.1 Silotheorie	36
4.2.2.2 Belastung	36
4.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB	36
4.2.2.4 Bodensteifigkeiten	36
4.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	36
4.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	36
4.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse	36
4.2.2.8 Beiwerte	36
4.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	37
4.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang	37
4.2.3 Schnittkräfte	37
4.2.3.1 Schnittkräfte , Kurzzeit	37
4.2.3.2 Schnittkräfte , Langzeit	38
4.2.4 Nachweise Kurzzeit	38
4.2.4.1 Spannungsnachweis	38
4.2.4.2 Verformungsnachweis	39
4.2.5 Nachweise Langzeit	39
4.2.5.1 Spannungsnachweis	39
4.2.5.2 Verformungsnachweis	39
4.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear	39

1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A1B1-hümin=2,70m-BA120°

Titel der Teilstatik: A1B1-hümin=2,70m-BA120°

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 minimal 2,70m

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 >9,40m inkl. Verbau (=Dammschüttung) ist möglich,
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:

Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:
Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:
Berücksichtigung von dyn pvh*:

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

Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:
Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:
Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:

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
D_{Pr,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 2,70 m
h_{W,min} 2,35 m
h_{W,max} 2,35 m
Nein
γ_B 20,0 kN/m³
Nein
p₀ 0,0 kN/m²
P_{I,K} 0,50 bar
P_{I,L} 0,00 bar
Ja
γ_F 10,0 kN/m³
Straße SLW 60
α_{qhT,dyn} 0,00 %

1.1.4 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 9,40 m
Ja
Ja
β 90 °
A1
B1
Fest, über einen Teil der Grabenbreite
120°
Ja
Ja
h_{s,u} 0,250 m

1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

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

Vollwand
Polymerbeton
δ_{v,A} 1,0 %
δ_{v,I} 0,0 %
Da und Di
d_a 2.350,0 mm
d_i 2.000,0 mm

Perforation:

Ohne Perforation

1.1.5.1 Polymer-Beton

Wichte:
Querkontraktionszahl:

γ 23,0 kN/m³
ν 0,25 [-]

Erforderliche Sicherheit bei Versagen durch Bruch:

Elastizitätsmodul, Kurzzeit:

Elastizitätsmodul, Langzeit:

Biegezugfestigkeit, Kurzzeit:

Biegezugfestigkeit, Langzeit:

Biegedruckfestigkeit, Kurzzeit:

Biegedruckfestigkeit, Langzeit:

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

Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:

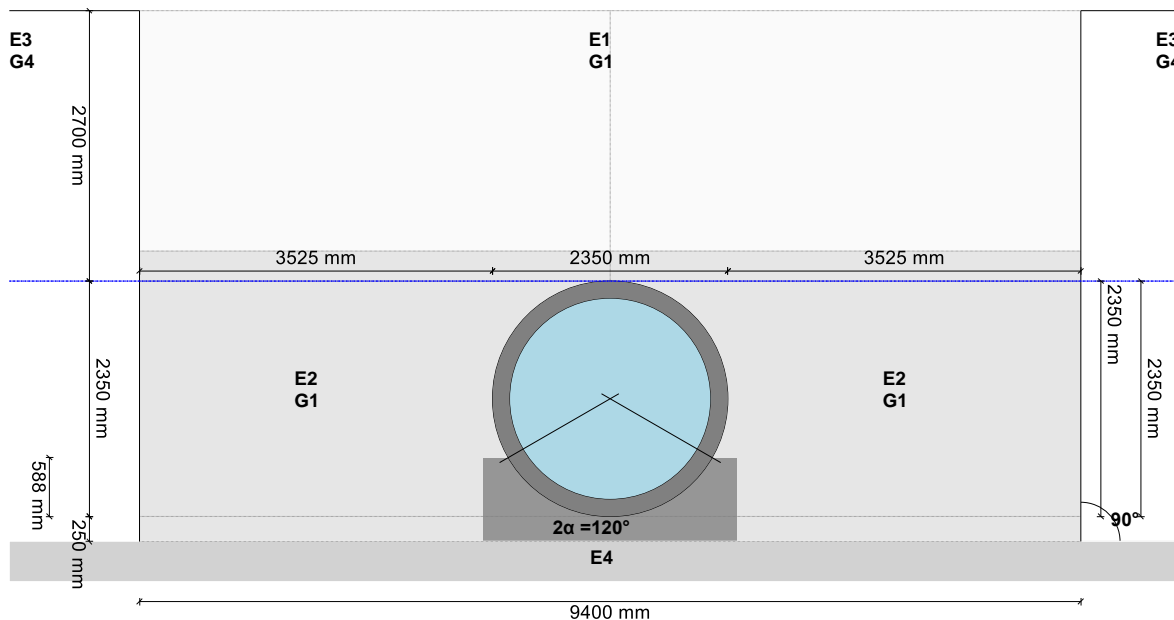
Die Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen ist bekannt:

Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:

Angabe der Grenzspannungen Ringzug:

erf γ	2,20	[-]
	23.300	N/mm ²
	8.200	N/mm ²
	15,0	N/mm ²
	8,8	N/mm ²
	95,0	N/mm ²
	56,0	N/mm ²
Ja		
$2\sigma_{a,2E6}$	6,00	N/mm ²
Ja		
$2\sigma_{a,1E8}$	5,00	N/mm ²
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:	α_{ki}	1,054	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{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 ² /mm
Trägheitsabstand:	e	87,50	mm
Trägheitsmoment:	I	446.614,58	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	5.104,17	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	5.104,17	mm ³ /mm
Flächenverhältnis:	K_Q	1,2	[-]

1.2.1.1 Materialeigenschaften

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

1.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf γ_{RBZ}	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf γ_{RBD}	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf γ_{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	9,40	m

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

1.2.2 Zwischenergebnisse

1.2.2.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	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 [-]

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} 54,00 kN/m²
 P_E 54,00 kN/m²
 P_V 23,09 kN/m²
 ϕ 1,20 [-]

1.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:

$E_{1,\sigma}$ 16,00 N/mm²

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

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} (enger Graben):

$E_{3,\sigma}$ 3,91 N/mm²
 $E_{20,\sigma}$ 16,00 N/mm²
 f_1 1,000 [-]
 $D_{pr,E20}$ 0,95 [-]
 f_2 1,000 [-]
 α_B 1,000 [-]

Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) ≥ 4 , ergibt die Formel 6.03 immer den Wert 1,0.

E-Modul Einbettung (abgemindert):
 E-Modul Boden unter dem Rohr:

$E_{2,\sigma}$ 16,00 N/mm²
 $E_{4,\sigma}$ 160,00 N/mm²

1.2.2.4 Bodensteifigkeiten

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

Δf 1,638 [-]
 ζ 0,950 [-]
 S_{Bh} 9,117 N/mm²
 S_{Bv} 14,462 N/mm²

1.2.2.5 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:

2α 120 °
 t_r 0,588 m
 h_{su} 0,250 m
 a 1,11 [-]
 a' 1,106 [-]
 φ' 20,000 °
 δ 13,333 °

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	12.722,7	8.200,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	σ_{RBZ}	15,0	10,7	8,8	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ_{RBD}	95,0	67,7	56,0	N/mm ²
Rohrsteifigkeit	S_R	8.091	4.418	2.847	kN/m ²

1.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet $V_{RB,w}$ 1,0000 1,0000 1,0000 [-]

Analog DWA-A 161:2014 werden folgende Materialien pauschal mit $VRB > 1$ angesetzt: Stahlbeton, Beton, Polymerbeton, Gusseisen, Steinzeug

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Steifigkeitsverhältnis	V_S	6,0096	3,2815	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0931	-0,0931	---	[-]

1.2.2.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung)	K_2	0,500	0,500	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	K^*	0,085	0,085	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0906	0,0906	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_{h,qh^*}	-0,0685	-0,0685	---	[-]

1.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	1,269	1,269	---	[-]
--------------------------------	----------------	-------	-------	-----	-----

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

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	λ_R	1,269	1,269	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	λ_{RG}	1,269	1,269	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	λ_{fo}	3,595	3,595	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ_{fu}	0,817	0,817	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ_{RG}	1,269	1,269	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λ_B	0,910	0,910	---	[-]

1.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	q_v	91,59	91,59	---	kN/m ²
Seitendruck	q_h	31,05	31,05	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	q^*_{hw}	0,00	0,00	---	kN/m ²

1.2.3 Schnittkräfte

1.2.3.1 Schnittkräfte, Kurzzeit

		Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Mittlerer Radius	r_m				
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	25,996	-25,996	21,880	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-8,518	8,371	-6,866	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	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	ΣM	21,059	-21,609	18,332	kNm/m

		Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Mittlerer Radius	r_m				
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	-1,992	-99,603	-55,579	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-32,412	0,000	-18,232	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	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	ΣN	-5,029	-81,550	-53,420	kN/m

1.2.3.2 Schnittkräfte, Langzeit

Mittlerer Radius	r_m	Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	25,996	-25,996	21,880	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-8,518	8,371	-6,866	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	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	ΣM	20,932	-21,736	18,205	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}	-1,992	-99,603	-55,579	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-32,412	0,000	-18,232	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	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	ΣN	-55,029	-131,550	-103,420	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 γ_{RBZ}	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	2,20	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	15,00	15,00 N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	95,00	95,00 N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,054	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	Scheitel 3,411	Kämpfer -4,207	Sohle 2,678	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,907	-0,719	0,801	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	4,319	-4,927	3,479	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	3,473	---	4,312	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	19,283	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,946	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-3,437	2,699	-3,206	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,496	0,842	-0,499	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-3,933	3,540	-3,704	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	4,237	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	24,152	---	25,647	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.4.2 Verformungsnachweis

Der Verformungsnachweis entfällt, da $VRB > 1.0$ 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:			erf γ_{RBZ}	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBD}	2,20	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	10,38	10,29	10,37	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	65,57	65,62	65,44	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:			α_{ki}	1,054	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	3,411	-4,207	2,678	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,595	-1,031	0,489	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	4,007	-5,239	3,167	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	2,591	---	3,274	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	---	12,481	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,946	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-3,437	2,699	-3,206	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,758	0,580	-0,761	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-4,196	3,278	-3,966	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	3,151	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	15,629	---	16,499	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.5.2 Verformungsnachweis

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

1.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear

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

meyer-POLYCRETE GmbH

-Büro Neetze-

Fraaschweg 1 · D-21398 Neetze · Tel. +49 (0) 58 50 / 18-292 · Fax 18-295

e-mail: martin.prigge@meyer-polycrete.com · www.meyer-polycrete.com



Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

2 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A1B1-hümax=3,10m-BA120°

Titel der Teilstatik: A1B1-hümax=3,10m-BA120°

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 3,10m

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 >9,40m inkl. Verbau (=Dammschüttung) ist möglich,
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*:

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

Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:
Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:
Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:

Nein
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_{Pr,E3} 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 3,10 m
h_{W,min} 2,35 m
h_{W,max} 2,35 m
Nein
γ_B 20,0 kN/m³
Nein
p₀ 0,0 kN/m²
P_{I,K} 0,50 bar
P_{I,L} 0,00 bar
Ja
γ_F 10,0 kN/m³
Straße SLW 60
α_{qhT,dyn} 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 9,40 m
Ja
Ja
β 90 °
A1
B1
Fest, über einen Teil der Grabenbreite
120°
Ja
Ja
h_{s,u} 0,250 m

2.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

Rohrauswahl:

Vollwand

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

Polymerbeton
δ_{v,A} 1,0 %
δ_{v,I} 0,0 %
Da und Di
d_a 2.350,0 mm
d_i 2.000,0 mm

Perforation:

Ohne Perforation

2.1.5.1 Polymer-Beton

Wichte:
Querkontraktionszahl:

γ 23,0 kN/m³
ν 0,25 [-]

Erforderliche Sicherheit bei Versagen durch Bruch:

Elastizitätsmodul, Kurzzeit:

Elastizitätsmodul, Langzeit:

Biegezugfestigkeit, Kurzzeit:

Biegezugfestigkeit, Langzeit:

Biegedruckfestigkeit, Kurzzeit:

Biegedruckfestigkeit, Langzeit:

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

Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:

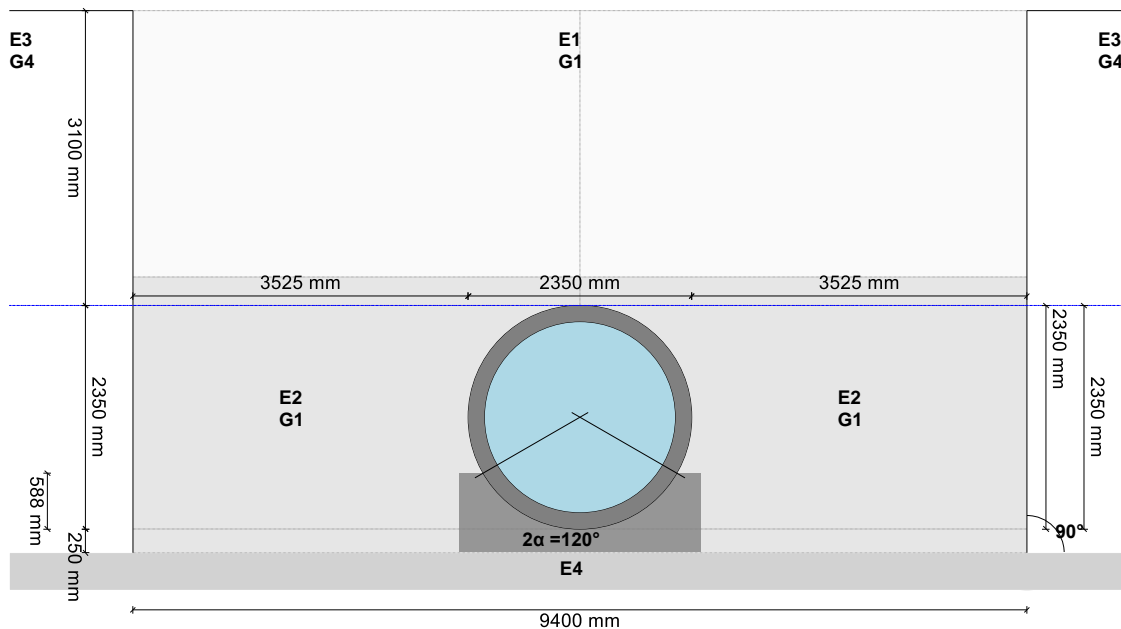
Die Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen ist bekannt:

Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:

Angabe der Grenzspannungen Ringzug:

erf γ	2,20	[-]
	23.300	N/mm ²
	8.200	N/mm ²
	15,0	N/mm ²
	8,8	N/mm ²
	95,0	N/mm ²
	56,0	N/mm ²
Ja		
$2\sigma_{a,2E6}$	6,00	N/mm ²
Ja		
$2\sigma_{a,1E8}$	5,00	N/mm ²
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:	α_{ki}	1,054	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{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 ² /mm
Trägheitsabstand:	e	87,50	mm
Trägheitsmoment:	I	446.614,58	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	5.104,17	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	5.104,17	mm ³ /mm
Flächenverhältnis:	K_Q	1,2	[-]

2.2.1.1 Materialeigenschaften

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

2.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf γ_{RBZ}	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf γ_{RBD}	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf γ_{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	9,40	m

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

2.2.2 Zwischenergebnisse

2.2.2.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	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 [-]

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} 62,00 kN/m²
 P_E 62,00 kN/m²
 P_V 20,10 kN/m²
 ϕ 1,20 [-]

2.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:

$E_{1,\sigma}$ 16,00 N/mm²

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

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} (enger Graben):

$E_{3,\sigma}$ 3,91 N/mm²
 $E_{20,\sigma}$ 16,00 N/mm²
 f_1 1,000 [-]
 $D_{pr,E20}$ 0,95 [-]
 f_2 1,000 [-]
 α_B 1,000 [-]

Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) ≥ 4 , ergibt die Formel 6.03 immer den Wert 1,0.

E-Modul Einbettung (abgemindert):
 E-Modul Boden unter dem Rohr:

$E_{2,\sigma}$ 16,00 N/mm²
 $E_{4,\sigma}$ 160,00 N/mm²

2.2.2.4 Bodensteifigkeiten

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

Δ_f 1,638 [-]
 ζ 0,950 [-]
 S_{Bh} 9,117 N/mm²
 S_{Bv} 14,462 N/mm²

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:

2α 120 °
 t_r 0,588 m
 h_{su} 0,250 m
 a 1,11 [-]
 a' 1,106 [-]
 φ' 20,000 °
 δ 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	11.896,2	8.200,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	σ_{RBZ}	15,0	10,3	8,8	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ_{RBD}	95,0	65,5	56,0	N/mm ²
Rohrsteifigkeit	S_R	8.091	4.131	2.847	kN/m ²

2.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet $V_{RB,w}$ 1,0000 1,0000 1,0000 [-]

Analog DWA-A 161:2014 werden folgende Materialien pauschal mit $VRB > 1$ angesetzt: Stahlbeton, Beton, Polymerbeton, Gusseisen, Steinzeug

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Steifigkeitsverhältnis	V_S	6,0096	3,0683	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0931	-0,0931	---	[-]

2.2.2.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung)	K_2	0,500	0,500	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	K^*	0,085	0,085	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0906	0,0906	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_{h,qh^*}	-0,0685	-0,0685	---	[-]

2.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	1,299	1,299	---	[-]
--------------------------------	----------------	-------	-------	-----	-----

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

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	λ_R	1,299	1,299	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	λ_{RG}	1,299	1,299	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	λ_{fo}	3,535	3,535	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ_{fu}	0,794	0,794	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ_{RG}	1,299	1,299	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λ_B	0,900	0,900	---	[-]

2.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	q_v	100,66	100,66	---	kN/m ²
Seitendruck	q_h	34,37	34,37	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	q^*_{hw}	0,00	0,00	---	kN/m ²

2.2.3 Schnittkräfte

2.2.3.1 Schnittkräfte, Kurzzeit

		Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Mittlerer Radius	r_m				
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	28,570	-28,570	24,047	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-9,430	9,267	-7,601	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	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	ΣM	22,722	-23,287	19,763	kNm/m

		Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Mittlerer Radius	r_m				
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	-2,189	-109,465	-61,082	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-35,881	0,000	-20,183	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	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	ΣN	-8,695	-91,412	-60,875	kN/m

2.2.3.2 Schnittkräfte, Langzeit

Mittlerer Radius	r_m	Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	28,570	-28,570	24,047	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-9,430	9,267	-7,601	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	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	ΣM	22,595	-23,414	19,636	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}	-2,189	-109,465	-61,082	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-35,881	0,000	-20,183	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	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	ΣN	-58,695	-141,412	-110,875	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:	erf γ_{RBZ}	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	2,20	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	15,00	15,00 N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	95,00	95,00 N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,054	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	Scheitel 3,734	Kämpfer -4,610	Sohle 2,931	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,907	-0,719	0,801	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	4,641	-5,329	3,732	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	3,232	---	4,019	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	17,826	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,946	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-3,766	2,953	-3,514	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,496	0,842	-0,499	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-4,263	3,795	-4,012	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	3,952	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	22,287	---	23,678	[-]

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 γ_{RBZ}	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBD}	2,20	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	10,11	10,04	10,10	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	63,95	63,98	63,85	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:			α_{ki}	1,054	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	3,734	-4,610	2,931	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,595	-1,031	0,489	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	4,329	-5,641	3,420	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	2,335	---	2,953	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	---	11,310	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,946	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-3,766	2,953	-3,514	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,758	0,580	-0,761	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-4,525	3,533	-4,274	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	2,850	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	14,133	---	14,937	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

2.2.5.2 Verformungsnachweis

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

2.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear

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

meyer-POLYCRETE GmbH

-Büro Neetze-

Fraaschweg 1 · D-21398 Neetze · Tel. +49 (0) 58 50 / 18-292 · Fax 18-295

e-mail: martin.prigge@meyer-polycrete.com · www.meyer-polycrete.com



Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

3 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: A2B2-hümin=2,70m-BA120°

Titel der Teilstatik: A2B2-hümin=2,70m-BA120°

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 minimal 2,70m

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 >9,40m inkl. Verbau (=Dammschüttung) ist möglich,
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*:

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

Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:
Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:
Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:

Nein
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_{Pr,E3} 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 2,70 m
h_{W,min} 2,35 m
h_{W,max} 2,35 m
Nein
γ_B 20,0 kN/m³
Nein
p₀ 0,0 kN/m²
P_{I,K} 0,50 bar
P_{I,L} 0,00 bar
Ja
γ_F 10,0 kN/m³
Straße SLW 60
α_{qhT,dyn} 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 9,40 m
Ja
Ja
β 90 °
A2
B2
Nein
b_s 0,30 m
Fest, über einen Teil der Grabenbreite
120°
Ja
Ja
h_{s,u} 0,250 m

3.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

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

Vollwand
Polymerbeton
δ_{v,A} 1,0 %
δ_{v,I} 0,0 %
Da und Di
d_a 2.350,0 mm
d_i 2.000,0 mm

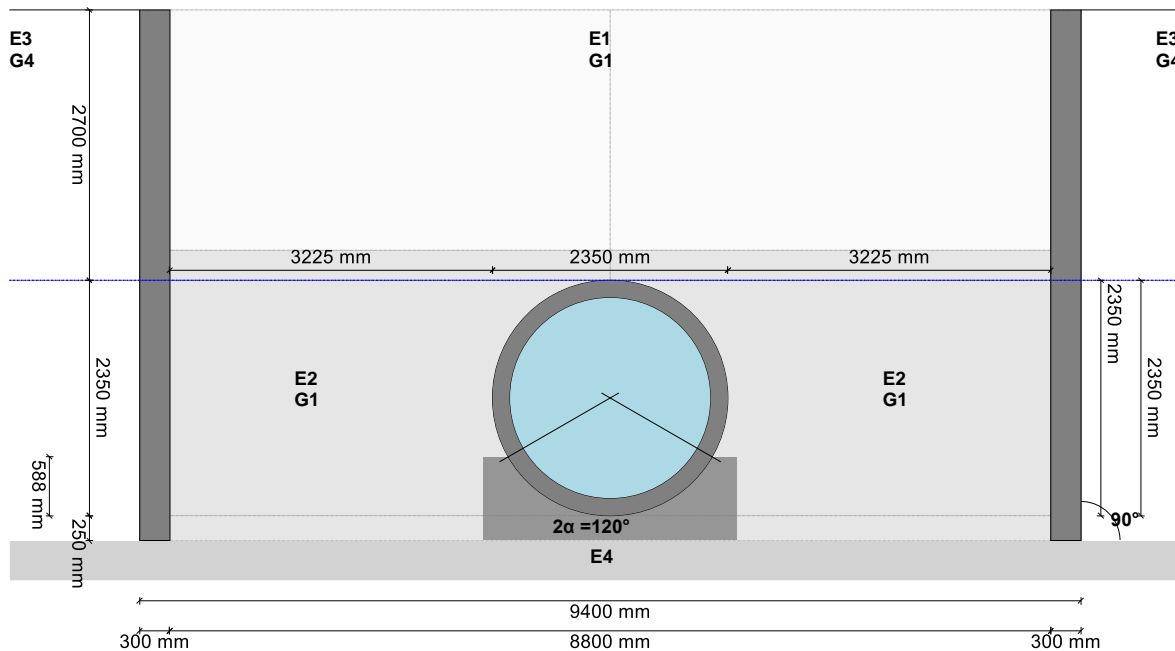
Perforation:

Ohne Perforation

3.1.5.1 Polymer-Beton

Wichte:	γ	23,0	kN/m ³
Querkontraktionszahl:	ν	0,25	[-]
Erforderliche Sicherheit bei Versagen durch Bruch:	erf γ	2,20	[-]
Elastizitätsmodul, Kurzzeit:		23.300	N/mm ²
Elastizitätsmodul, Langzeit:		8.200	N/mm ²
Biegezugfestigkeit, Kurzzeit:		15,0	N/mm ²
Biegezugfestigkeit, Langzeit:		8,8	N/mm ²
Biegedruckfestigkeit, Kurzzeit:		95,0	N/mm ²
Biegedruckfestigkeit, Langzeit:		56,0	N/mm ²
Die Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen ist bekannt:	Ja		
Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:	$2\sigma_{a,2E6}$	6,00	N/mm ²
Die Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen ist bekannt:	Ja		
Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:	$2\sigma_{a,1E8}$	5,00	N/mm ²
Angabe der Grenzspannungen Ringzug:	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:	α_{ki}	1,054	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{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 ² /mm
Trägheitsabstand:	e	87,50	mm
Trägheitsmoment:	I	446.614,58	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	5.104,17	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	5.104,17	mm ³ /mm
Flächenverhältnis:	K_Q	1,2	[-]

3.2.1.1 Materialeigenschaften

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

3.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf γ_{RBZ}	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf γ_{RBD}	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf γ_{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):	$b_{0^\circ,L}$	8,80	m
Dicke des Verbaus (einseitig):	b_S	0,30	m
Erforderliche Breite im Rohrscheitel:	$min_{b,R}$	3,95	m
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	b	9,40	m

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

3.2.2 Zwischenergebnisse

3.2.2.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	1,000	[-]
Erdlastbeiwert κ_0 für Flächenlast (Silotheorie):	κ_0	1,000	[-]
κ_0 und κ 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}	54,00	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	54,00	kN/m ²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	23,09	kN/m ²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,20	[-]

3.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

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

E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,\sigma}$	3,91	N/mm ²
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	6,00	N/mm ²
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 (enger Graben):	α_B	1,000	[-]

Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) ≥ 4 , ergibt die Formel 6.03 immer den Wert 1,0.

E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	4,50	N/mm ²
E-Modul Boden unter dem Rohr:	$E_{4,\sigma}$	60,00	N/mm ²

3.2.2.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δf	1,638	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,997	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	2,693	N/mm ²
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	4,067	N/mm ²

3.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	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'	1,475	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	20,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	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	12.722,7	8.200,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	σ_{RBZ}	15,0	10,7	8,8	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ_{RBD}	95,0	67,7	56,0	N/mm ²
Rohrsteifigkeit	S_R	8.091	4.418	2.847	kN/m ²

3.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet	$V_{RB,w}$	3,0045	1,6405	1,0574	[-]
Steifigkeitsverhältnis	V_S	21,3675	11,6675	---	[-]

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^*	0,029	0,053	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0906	0,0906	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_{h,qh^*}	-0,0685	-0,0685	---	[-]

3.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	1,361	1,361	---	[-]
--------------------------------	----------------	-------	-------	-----	-----

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

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	λ_R	1,361	1,361	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	λ_{RG}	1,361	1,361	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	λ_{fo}	3,595	3,595	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ_{fu}	0,817	0,817	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ_{RG}	1,361	1,361	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λ_B	0,880	0,880	---	[-]

3.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erddlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	q_v	96,57	96,57	---	kN/m ²
Seitendruck	q_h	30,22	30,22	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	q^*_{hw}	0,00	0,00	---	kN/m ²

3.2.3 Schnittkräfte

3.2.3.1 Schnittkräfte, Kurzzeit

		Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Mittlerer Radius	r_m				
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	27,410	-27,410	23,070	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-8,291	8,148	-6,682	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	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	ΣM	22,700	-23,246	19,705	kNm/m

		Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Mittlerer Radius	r_m				
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	-2,100	-105,018	-58,600	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-31,545	0,000	-17,744	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kN/m

Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	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	ΣN	-4,270	-86,965	-55,954	kN/m

3.2.3.2 Schnittkräfte, Langzeit

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	1.087,50	1.087,50	1.087,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	27,410	-27,410	23,070	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-8,291	8,148	-6,682	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	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	ΣM	22,573	-23,373	19,578	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}	-2,100	-105,018	-58,600	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-31,545	0,000	-17,744	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	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	ΣN	-54,270	-136,965	-105,954	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 γ_{RBZ} 2,20 [-]
erf γ_{RBD} 2,20 [-]

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

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen: α_{ki} 1,054 [-]

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	3,754	-4,576	2,947	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,907	-0,719	0,801	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	4,662	-5,296	3,748	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	3,218	---	4,002	[-]

Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	---	17,940	---	[-]
--------------------------------	-----	-----	--------	-----	-----

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,946	[-]
---------------------------------	--	--	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	-3,737	2,971	-3,475	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,496	0,842	-0,499	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-4,233	3,813	-3,973	N/mm ²

Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	3,934	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	22,441	---	23,910	[-]

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 YRBZ	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf YRBD	2,20	[-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	10,40	10,32	10,39	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	65,71	65,77	65,58	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:			α_{ki}	1,054	[-]
---------------------------------	--	--	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	3,754	-4,576	2,947	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,595	-1,031	0,489	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	4,350	-5,607	3,436	N/mm ²

Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	2,392	---	3,025	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	---	11,687	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,946	[-]
---------------------------------	--	--	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	$\sigma_{qv,qh,qh*}$	-3,737	2,971	-3,475	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,758	0,580	-0,761	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-4,495	3,551	-4,235	N/mm ²

Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	2,916	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	14,617	---	15,485	[-]

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: A2B2-hümax=3,10m-BA120°

Titel der Teilstatik: A2B2-hümax=3,10m-BA120°

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 3,10m

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 6,00m inkl. Verbau ist möglich,
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:

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

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
D_{Pr,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 3,10 m
h_{W,min} 2,35 m
h_{W,max} 2,35 m
Nein
γ_B 20,0 kN/m³
Nein
p₀ 0,0 kN/m²
P_{I,K} 0,50 bar
P_{I,L} 0,00 bar
Ja
γ_F 10,0 kN/m³
Straße SLW 60
α_{qhT,dyn} 0,00 %

4.1.4 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 6,00 m
Ja
Ja
β 90 °
A2
B2
Nein
b_S 0,30 m
Fest, über einen Teil der Grabenbreite
120°
Ja
Ja
h_{s,u} 0,250 m

4.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

Rohrauswahl:

Vollwand

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

Polymerbeton
δ_{v,A} 1,0 %
δ_{v,I} 0,0 %
Da und Di
d_a 2.350,0 mm
d_i 2.000,0 mm

Perforation:

Ohne Perforation

4.1.5.1 Polymer-Beton

Wichte:

γ 23,0 kN/m³

Querkontraktionszahl:

Erforderliche Sicherheit bei Versagen durch Bruch:

Elastizitätsmodul, Kurzzeit:

Elastizitätsmodul, Langzeit:

Biegezugfestigkeit, Kurzzeit:

Biegezugfestigkeit, Langzeit:

Biegedruckfestigkeit, Kurzzeit:

Biegedruckfestigkeit, Langzeit:

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

Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:

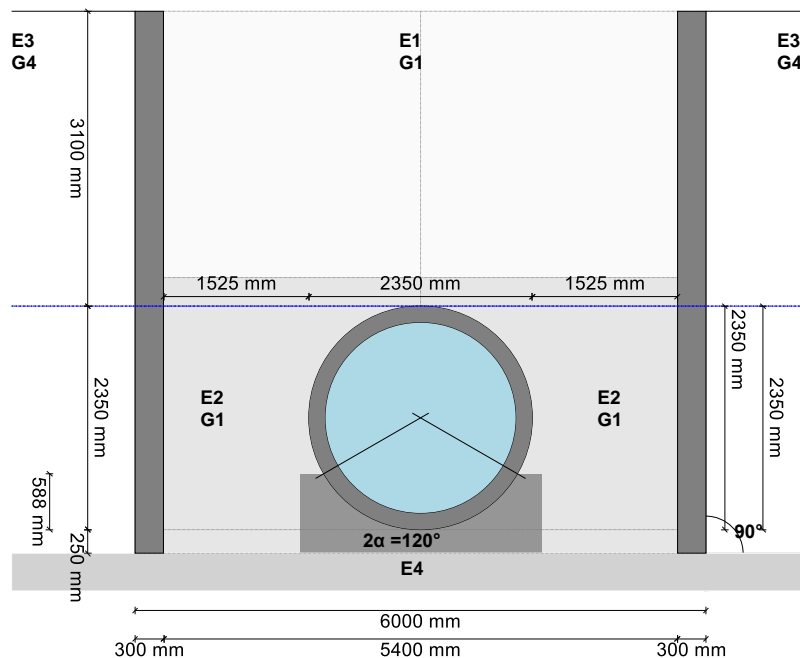
Die Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen ist bekannt:

Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:

Angabe der Grenzspannungen Ringzug:

v	0,25	[-]
erf y	2,20	[-]
	23.300	N/mm ²
	8.200	N/mm ²
	15,0	N/mm ²
	8,8	N/mm ²
	95,0	N/mm ²
	56,0	N/mm ²
Ja		
$2\sigma_{a,2E6}$	6,00	N/mm ²
Ja		
$2\sigma_{a,1E8}$	5,00	N/mm ²
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:	α_{ki}	1,054	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{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 ² /mm
Trägheitsabstand:	e	87,50	mm
Trägheitsmoment:	I	446.614,58	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	5.104,17	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	5.104,17	mm ³ /mm
Flächenverhältnis:	K_Q	1,2	[-]

4.2.1.1 Materialeigenschaften

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

4.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf γ_{RBZ}	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf γ_{RBD}	2,20	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf γ_{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 lichte Breite im Rohrscheitel:	$min_{bL,R}$	3,35	m
Lichte Grabenbreite im Scheitel (ohne Verbau):	$b_{0^\circ,L}$	5,40	m
Dicke des Verbaus (einseitig):	b_S	0,30	m
Erforderliche Breite im Rohrscheitel:	$min_{b,R}$	3,95	m
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	b	6,00	m

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

4.2.2 Zwischenergebnisse

4.2.2.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	1,000	[-]
Erdlastbeiwert κ_0 für Flächenlast (Silotheorie):	κ_0	1,000	[-]
κ_0 und κ wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.			

4.2.2.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	0,00	m
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	62,00	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	62,00	kN/m ²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	20,10	kN/m ²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,20	[-]

4.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

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

E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,\sigma}$	3,91	N/mm ²
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	6,00	N/mm ²
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):	α_{B0}	0,333	[-]
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	α_B	0,678	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	3,05	N/mm ²
E-Modul Boden unter dem Rohr:	$E_{4,\sigma}$	60,00	N/mm ²

4.2.2.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δf	1,093	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	1,081	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	1,981	N/mm ²
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	2,760	N/mm ²

4.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	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'	2,174	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	20,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	6,667	°

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

4.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung	E_R	23.300,0	11.896,2	8.200,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	σ_{RBZ}	15,0	10,3	8,8	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	σ_{RBD}	95,0	65,5	56,0	N/mm ²
Rohrsteifigkeit	S_R	8.091	4.131	2.847	kN/m ²

4.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet	$V_{RB,w}$	4,0843	2,0853	1,4374	[-]
Steifigkeitsverhältnis	V_S	31,4929	16,0792	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0931	-0,0931	---	[-]

4.2.2.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung)	K_2	0,500	0,500	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	K^*	0,022	0,042	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0906	0,0906	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_{h,qh^*}	-0,0685	-0,0685	---	[-]

4.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	1,597	1,597	---	[-]
--------------------------------	----------------	-------	-------	-----	-----

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

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	λ_R	1,597	1,597	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	λ_{RG}	1,309	1,309	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	λ_{fo}	3,535	3,535	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ_{fu}	0,794	0,794	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ_{RG}	1,309	1,309	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λ_B	0,801	0,801	---	[-]

4.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	q_v	101,26	101,26	---	kN/m ²
Seitendruck	q_h	31,29	31,29	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	q^*_{hw}	0,00	0,00	---	kN/m ²

4.2.3 Schnittkräfte

4.2.3.1 Schnittkräfte, Kurzzeit

		Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Mittlerer Radius	r_m				
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	28,740	-28,740	24,190	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-8,586	8,438	-6,921	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	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	ΣM	23,735	-24,286	20,586	kNm/m

		Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Mittlerer Radius	r_m				
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	-2,202	-110,116	-61,444	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-32,671	0,000	-18,378	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	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	ΣN	-5,498	-92,062	-59,432	kN/m

4.2.3.2 Schnittkräfte, Langzeit

Mittlerer Radius	r_m	Scheitel 1.087,50	Kämpfer 1.087,50	Sohle 1.087,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	28,740	-28,740	24,190	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-8,586	8,438	-6,921	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	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	ΣM	23,608	-24,413	20,459	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}	-2,202	-110,116	-61,444	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-32,671	0,000	-18,378	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	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	ΣN	-55,498	-142,062	-109,432	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 γ_{RBZ}	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	2,20	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	15,00	15,00
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	95,00	95,00

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,054	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	Scheitel 3,961	Kämpfer -4,820	Sohle 3,109	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,907	-0,719	0,801	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	4,868	-5,539	3,910	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	3,081	---	3,836	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	17,150	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,946	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-3,936	3,135	-3,658	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,496	0,842	-0,499	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-4,432	3,977	-4,156	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	3,772	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	21,435	---	22,856	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

4.2.4.2 Verformungsnachweis

Der Verformungsnachweis entfällt, da $VRB > 1.0$ 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 γ_{RBZ}	2,20	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBD}	2,20	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$\sigma_{RBZ,res}$	10,12	10,05	10,11	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\sigma_{RBD,res}$	64,00	64,06	63,90	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:			α_{ki}	1,054	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	3,961	-4,820	3,109	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,595	-1,031	0,489	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	4,556	-5,851	3,598	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	2,221	---	2,810	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	---	10,915	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,946	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-3,936	3,135	-3,658	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,758	0,580	-0,761	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-4,694	3,715	-4,419	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	2,714	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	13,635	---	14,462	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

4.2.5.2 Verformungsnachweis

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

4.2.5.3 Stabilitätsnachweis, nichtlinear

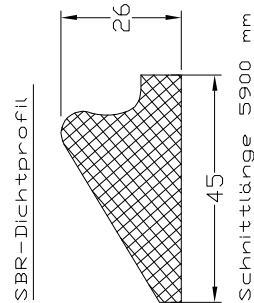
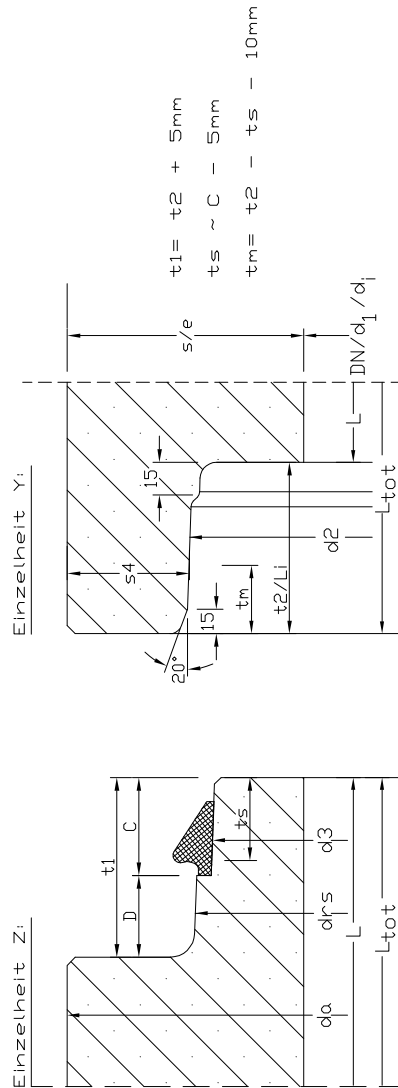
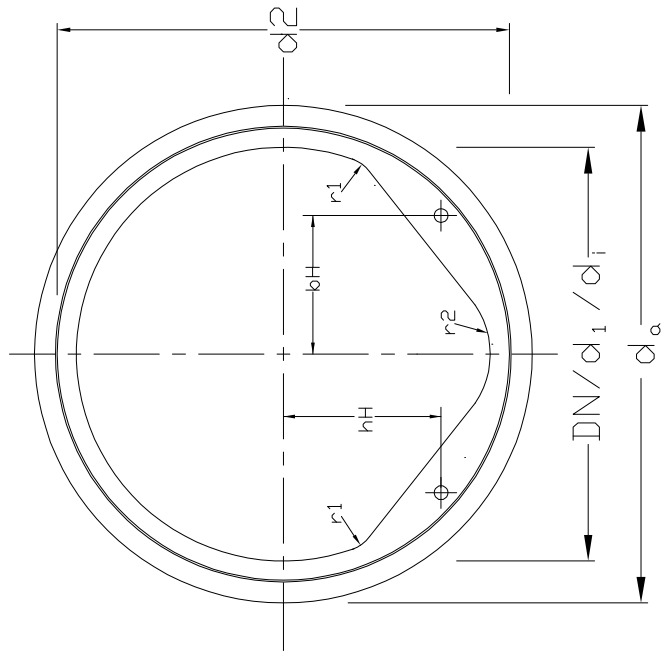
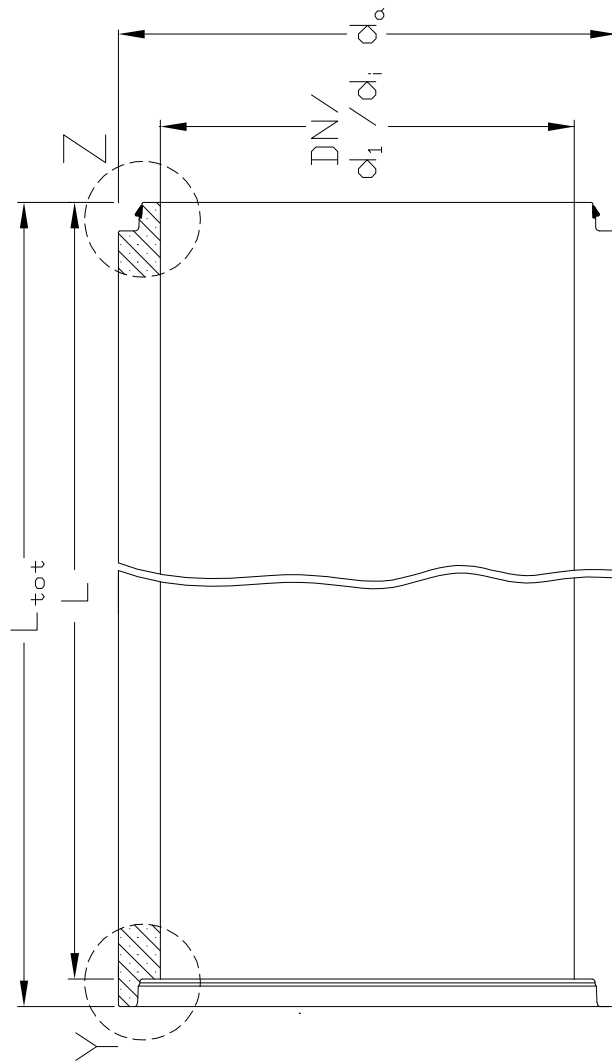
Der nichtlineare Stabilitätsnachweis entfällt, da $VRB > 1.0$ (biegesteifes Rohr) oder relative vertikale Verformung $< 6\%$.

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 Neetze - Fraaschweg 1 - 21398 Neetze
Tel.: 05850/18-292 Fax: 05850/18-295



POLYCRETE® Kanalrohre PRC-OK DN 2000 Drachenprofil mit Falzmuffe

DN/d ₁		d ₂	d _{rs}	d ₃	d _a	r ₁	r ₂	s/e	s ₄	w	C	D	L	L _{tot}	Rohr- gewicht kg/m	t ₂	h _H	bH	Ø	Stck																	
2000		+5	2167	+3	2152	+3	2136	+3	2350	+8	-5	500	+3	500	+3	500	+3	175	+5	91,5	+5	-3	15,5	+3	60	-0	2990	+10	3105	+10	3255	115	-0	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		γ_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 ≥ Tragfähigkeitsklasse x DN x 10 ⁻³																																		
			<table><tr><td>DN mm</td><td>FN-min. kN/m</td></tr><tr><td>300</td><td>74</td></tr><tr><td>400</td><td>73</td></tr><tr><td>500</td><td>76</td></tr><tr><td>600</td><td>72</td></tr><tr><td>700</td><td>86</td></tr><tr><td>800</td><td>98</td></tr><tr><td>900</td><td>109</td></tr><tr><td>1000</td><td>155</td></tr><tr><td>1200</td><td>144</td></tr><tr><td>1400</td><td>171</td></tr><tr><td>1500</td><td>180</td></tr><tr><td>1600</td><td>186</td></tr><tr><td>1800</td><td>201</td></tr><tr><td>2000</td><td>217</td></tr></table>	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	
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		σ_D	95	N/mm²																														
Dauerschwellfestigkeit (Schwingbreite)		2 x σ_A	6 (5)	N/mm²																														
	Nachweis Frequenz		2 x 10 ⁶ (10 ⁸) 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		γ_R	23		kN/m³
E-Modul	Kurzzeit	E_{RK}	23.300		N/mm²
	Langzeit	E_{RL}	8.200		N/mm²
Ringbiegezugfestigkeit	Kurzzeit	σ_{RBZK}	≤ DN 500: > DN 500 :	16 15	N/mm²
	Langzeit	σ_{RBZL}	≤ DN 500: > DN 500 :	9,4 8,8	N/mm²
Druckfestigkeit		σ_D	95		N/mm²
Dauerschwellfestigkeit (Schwingbreite)		$2 \times \sigma_A$	6 (5)		N/mm²
	Nachweis mit Frequenz		2×10^6 (10^8) 12		Lastwechsel Hz
Abriebfestigkeit		a_m	≤ 0,5		mm
Wandrauhigkeit		k	≤ 0,1		mm
Querkontraktion		v	0,25		[1]

BV Magdeburg-Editharing - 2.NSV-BA4-Los 5

POLYCRETE Kanalrohre DN 2000 Drachen

Höhe innen, h 2,00 m
Wandstärke, s 0,175 m
Gefälle 0,080 %

Schacht	OK Deckel [mNN]	Lage der Kanalsohle [mNN]	Überdeckungs- höhe [m]	Station [m]
86501	53,96	48,87	2,92	55,00
86502	53,99	48,83	2,99	110,00
86503	53,77	48,80	2,80	144,00
		max	2,99	
		min	2,80	

