

Juraleitung

**Ltg.-Abschnitt A-Katzwang Raitersaich_West – Luders-
heim_West
(LH-07-B170)**

Planfeststellungsunterlage

Unterlage 12.3

Statik Kabelschutzrohranlage

Antragsteller:



TenneT TSO GmbH

Bernecker Straße 70

95448 Bayreuth

Bearbeitung:



Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel

c/o SWECO GmbH

Hanauer Landstraße 135 - 137

60314 Frankfurt am Main

Aufgestellt:	TenneT TSO GmbH	Bayreuth, den
	gez. i.V. J. Gotzler gez. i.V. A. Junginger	30.04.2025
Bearbeitung:	IGKWT – Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel gez. i.V. D. Edelhoff (Projektleitung)	
Anlagen zum Dokument		
Änderungs- historie:	Änderung:	Änderungsdatum:

Statische Berechnung

Bauvorhaben: A 070 "Juraleitung" Teilabschnitt Katzwang

Beschreibung: Erdverkabelungsabschnitt Wolkersdorf - Katzwang
Abschnitt: Straßenquerung (Haimendorfstrasse)
Baufeld: West / Wolkersdorf

Auftraggeber: TenneT TSO GmbH
Bernecker Str. 70
95448 Bayreuth

Bearbeiter: Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel (IGKWT)
Moll-prd GmbH & Co. KG
Weststraße 2
57392 Schmallenberg

Dipl.-Ing. (FH) Philipp Dick

Statik-Nr.: 80-23-0269, Entwurfsstatik Erdkabelabschnitt, Straße

Datum: 22.01.2025

Inhaltsangabe

1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Entwurfsstatik der Kabelschutzrohre im erdverlegten Abschnitt Wolkersdorf	4
1.1 Eingaben	4
1.1.1 Sicherheiten	4
1.1.2 Boden	4
1.1.3 Belastung	4
1.1.4 Einbau	5
1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr	5
1.1.5.1 Thermoplast	5
1.2 Ergebnisse	7
1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	7
1.2.1.1 Materialeigenschaften	7
1.2.1.2 Sicherheiten	7
1.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	7
1.2.2 Zwischenergebnisse bei minimalem Grundwasser	7
1.2.2.1 Silotheorie	7
1.2.2.2 Belastung	7
1.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB	7
1.2.2.4 Bodensteifigkeiten	8
1.2.2.5 Einfluss der Unterrammung	8
1.2.2.6 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	8
1.2.2.7 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	8
1.2.2.8 Steifigkeitsverhältnisse	8
1.2.2.9 Beiwerte	8
1.2.2.10 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	8
1.2.2.11 Druckverteilung am Rohrumfang	9
1.2.3 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser	9
1.2.3.1 Silotheorie	9
1.2.3.2 Belastung	9
1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB	9
1.2.3.4 Bodensteifigkeiten	9
1.2.3.5 Einfluss der Unterrammung	9
1.2.3.6 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	9
1.2.3.7 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	10
1.2.3.8 Steifigkeitsverhältnisse	10
1.2.3.9 Beiwerte	10
1.2.3.10 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	10
1.2.3.11 Druckverteilung am Rohrumfang	10
1.2.4 Schnittkräfte	10
1.2.4.1 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Kurzzeit	10
1.2.4.2 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Langzeit	11
1.2.4.3 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Kurzzeit	11
1.2.4.4 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Langzeit	12
1.2.5 Nachweise Kurzzeit	12
1.2.5.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)	12
1.2.5.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	13
1.2.5.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)	13
1.2.5.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	14

1.2.6 Nachweise Langzeit	14
1.2.6.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)	14
1.2.6.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	15
1.2.6.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)	15
1.2.6.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	16
1.2.6.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasser)	16
1.2.6.6 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei minimalem Grundwasser)	17
1.2.6.7 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei maximalem Grundwasser)	17
1.2.6.8 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender	17

1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Entwurfsstatik der Kabelschutzrohre im erdverlegten Abschnitt Wolkersdorf

Titel der Teilstatik: Entwurfsstatik der Kabelschutzrohre im erdverlegten Abschnitt Wolkersdorf

Annahmen: Die Vordimensionierung erfolgte auf Basis folgender Annahmen:

- Verlegung der Kabelschutzrohre im Regelgraben, verbaut
- Minstdurchmesser entsprechend Handbuch Bauen und Errichten, Kapitel 2.2.1.1.7: 253 mm
- nachzuweisende Kabelschutzrohre DA 315, SDR 17
- Belastung der Kabelschutzrohre durch Befahrung, SLW 60, im Bau- und Betriebszustand
- zusätzliche Flächenlast durch Zwischenlagerung Aushub
- keine Abminderung der Standfestigkeit aufgrund der Kabeltemperatur im Betriebszustand, da Rohre mit erhöhter Temperaturbeständigkeit eingesetzt werden.
- Grabenbreite in Scheitelhöhe angenommen mit 1,5 m

- Baugrundinformationen aus Bericht Dr. Spang, 13.06.2024
- anstehender Boden: Schicht 2.2, Verwitterungsboden, gemischtkörnig

Schlussfolgerungen: Die Nachweise für den Bau- und Betriebszustand für die Kabelschutzrohre, DA 315, werden unter Berücksichtigung vorstehender Annahmen erbracht.

Berechnungsart: Vollwand-/Profilrohr
Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck: Ja

1.1 Eingaben

1.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse:	A (Regelfall)
Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13:	Ohne Vorverformungen (2,5 / 2,0)
Zulässige Verformung:	6% (Regelfall)
Behandlung von Innendruck:	Gemäß Fußnote des ATV-DVWK-A 127
Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:	Nein (ATV-DVWK-A 127)
Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:	Nach Regelwerk
Berücksichtigung von dyn pvh*:	Nach Norm
Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:	Ja
Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:	ATV-DVWK-A 127:2000 (nach Rechenwert)
Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:	Ja

1.1.2 Boden

Bodengruppe Verfüllung:	G1
Berechnung E1:	Tabelle 8 (A127)
Bodengruppe Einbettung:	G1
Berechnung E20:	Tabelle 8 (A127)
Bodengruppe anstehender Boden:	G2
Berechnung E3:	E-Modul
E-Modul E3:	E3
E4 = 10 · E1:	Ja
Anwendung von Silotheorie:	Nein
K2 nach Norm:	Ja

1.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:	h	2,05	m
Minimaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,min}	0,00	m
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,max}	2,35	m
Auftriebsnachweis führen:	Nein		
Wichte des Bodens:	γ _B	20,0	kN/m ³
Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:	Nein		
Zusätzliche Flächenlast:	p ₀	40,0	kN/m ²
Zusätzliche Flächenlast ist Dammschüttung:	Nein		
Innendruck, kurzzeitig wirkend:	P _{I,K}	0,00	bar
Innendruck, langfristig:	P _{I,L}	0,00	bar
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):	Nein		
Verkehrslast:	Straße SLW 60		
Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:	α _{qhT,dyn}	0,00	%

1.1.4 Einbau

Einbauweise:	Graben		
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	b	1,50	m
Mindestgrabenbreite prüfen:	Nein		
Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:	Ja		
Böschungswinkel:	β	90	°
Überschüttungsbedingung:	A2		
Einbettungsbedingung:	B2		
Berücksichtigung der Unterrammung nach Bericht der ATV-AG 1.5.5.:	Ja		
Tiefe der Unterrammung:	t _s	0,20	m
Beiwert k _S automatisch ermitteln:	Ja		
Dicke des Verbaus (einseitig):	b _s	0,15	m
Auflagerart:	Lose		
Auflagerwinkel:	120°		
Relative Ausladung automatisch ermitteln:	Ja		
Untere Sockelhöhe vorgeben:	Ja		
Höhe des unteren Teils des Sockels:	h _{s,u}	0,150	m

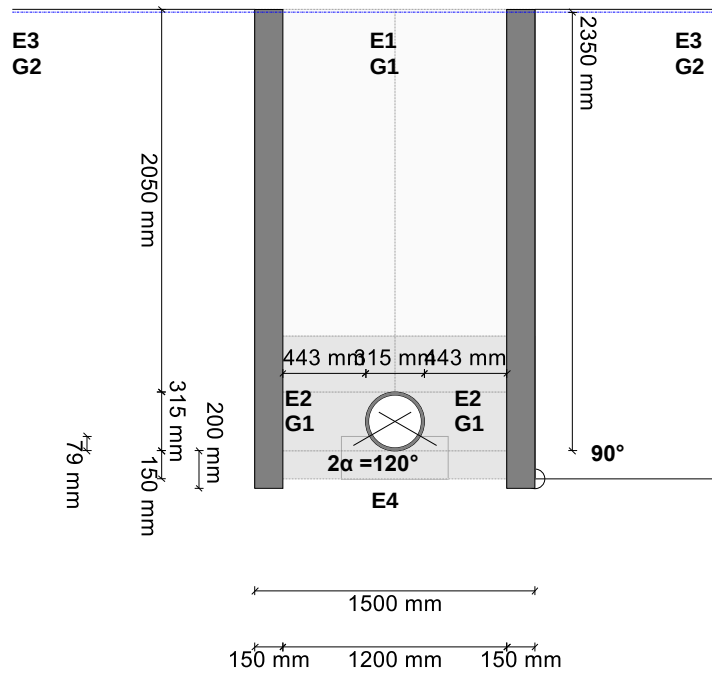
1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

Rohrauswahl:	Vollwand		
Material-Klasse:	Thermoplast		
Vorverformung Typ A:	δ _{v,A}	1,0	%
Lokale Vorverformung:	δ _{v,l}	0,0	%
Auswahl der Eingaben:	Da und s		
Außendurchmesser:	d _a	315,0	mm
Wandstärke:	s	18,7	mm
Perforation:	Ohne Perforation		

1.1.5.1 Thermoplast

Auswahl Material:	Nach ATV / DWA
Material:	PE-HD
Grund der Abminderung:	Keine

Verkehrslast: Straße SLW 60 + 40,0 kN/m²



1.2 Ergebnisse

1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d_i	277,6	mm
Außendurchmesser:	d_a	315,0	mm
Mittlerer Radius:	r_m	148,15	mm
Wanddicke:	s	18,70	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	7,922	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,042	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,958	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	1,00	%
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	18,70	mm ² /mm
Trägheitsabstand:	e	9,35	mm
Trägheitsmoment:	I	544,93	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	58,28	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	58,28	mm ³ /mm
Flächenverhältnis:	K_Q	1,2	[-]

1.2.1.1 Materialeigenschaften

		Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	γ_R	9,4	9,4	kN/m ³
Querkontraktionszahl	ν	0,38	0,38	[-]
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_{R,rad}$	800,0	160,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl}$	21,0	14,0	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad}$	21,0	14,0	N/mm ²
Ringzugfestigkeit	f_t	12,6	8,4	N/mm ²
Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$\Delta\sigma_{rsk,2E6}$	n. def.	N/mm ²
Schwingbreite bei $5 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$\Delta\sigma_{rsk,5E6}$	n. def.	N/mm ²
Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:		$\Delta\sigma_{rsk,1E8}$	n. def.	N/mm ²

1.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf γ_{RBZ}	2,50	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf γ_{RBD}	2,50	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf γ_{stab}	2,50	2,50	[-]

1.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

Die Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610 / DWA-A 139 wird nicht überprüft.

1.2.2 Zwischenergebnisse bei minimalem Grundwasser

1.2.2.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	1,000	[-]
Erdlastbeiwert κ_0 für Flächenlast (Silotheorie):	κ_0	1,000	[-]

1.2.2.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	0,00	m
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	41,00	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	81,00	kN/m ²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	29,19	kN/m ²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,20	[-]

1.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:	$E_{1,\sigma}$	6,00	N/mm ²
--------------------------------	----------------	------	-------------------

E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,\sigma}$	25,00	N/mm ²
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	4,50	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

1.2.2.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δf	1,667	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	1,000	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	2,700	N/mm ²
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	3,048	N/mm ²

1.2.2.5 Einfluss der Unterrammung

Erhöhte Ausladung aufgrund Bodenauflockerung:	a_s	0,23	[-]
Verhältnis:	b_s/d_a	1,33	[-]
Lastkonzentration über dem Rohr (ks gemäß Bild 4 der KA 1997 (44) Nr. 12):	k_s	1,00	[-]

1.2.2.6 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	120	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,079	m
Höhe untere Bettungsschicht UK Rohr bis Grabensohle:	h_{su}	0,150	m
Berechnete Ausladung:	a	1,48	[-]
Erhöhte Ausladung aufgrund Bodenauflockerung:	a_s	0,23	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	1,968	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	30,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	10,000	°

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

1.2.2.7 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_{R,rad}$	800,0	329,5	160,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl}$	21,0	15,9	14,0	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad}$	21,0	15,9	14,0	N/mm ²
Rohrsteifigkeit	S_R	134.069	55.223	26.814	N/m ²

1.2.2.8 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet	$V_{RB,w}$	0,0497	0,0205	0,0099	[-]
Steifigkeitsverhältnis	V_S	1,0476	0,7114	---	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung	c_v^*	-0,042	-0,025	---	[-]

1.2.2.9 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung)	K_2	0,400	0,400	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	K^*	0,769	1,024	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0902	0,0902	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_{h,qh^*}	-0,0676	-0,0676	---	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung	c_v^*	-0,042	-0,025	---	[-]

1.2.2.10 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	2,426	2,426	---	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor	K'	0,871	0,819	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	λ_R	1,150	0,967	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	λ_{RG}	1,150	0,967	---	[-]

Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	λ_{fo}	3,693	3,693	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ_{fu}	0,260	0,260	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ_{RG}	1,150	0,967	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λ_B	0,950	1,011	---	[-]

1.2.2.11 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast ohne k_s	q_{v0}	122,30	107,50	---	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast	q_v	122,30	107,50	---	kN/m ²
Seitendruck	q_h	32,04	34,02	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten)	q^*_{h}	70,66	77,02	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	q^*_{hw}	0,00	0,00	---	kN/m ²

1.2.3 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser

1.2.3.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	1,000	[-]
Erdlastbeiwert κ_0 für Flächenlast (Silotheorie):	κ_0	1,000	[-]

1.2.3.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	2,04	m
Wichte Verfüllung unter Wasser:	γ'	11,00	kN/m ³
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	22,69	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	62,69	kN/m ²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	29,19	kN/m ²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,20	[-]

1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:	$E_{1,\sigma}$	6,00	N/mm ²
E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,\sigma}$	25,00	N/mm ²
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	4,50	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

1.2.3.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δ_f	1,667	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	1,000	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	2,700	N/mm ²
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	3,048	N/mm ²

1.2.3.5 Einfluss der Unterrammung

Erhöhte Ausladung aufgrund Bodenauflockerung:	a_s	0,23	[-]
Verhältnis:	b_s/d_a	1,33	[-]
Lastkonzentration über dem Rohr (k_s gemäß Bild 4 der KA 1997 (44) Nr. 12):	k_s	1,00	[-]

1.2.3.6 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	120	°
-----------------	-----------	-----	---

Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,079	m
Höhe untere Bettungsschicht UK Rohr bis Grabensohle:	h_{su}	0,150	m
Berechnete Ausladung:	a	1,48	[-]
Erhöhte Ausladung aufgrund Bodenauflockerung:	a_s	0,23	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	1,968	[-]
Innerer Reibungswinkel:	ϕ'	30,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	10,000	°

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

1.2.3.7 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_{R,rad}$	800,0	363,3	160,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl}$	21,0	16,2	14,0	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad}$	21,0	16,2	14,0	N/mm ²
Rohrsteifigkeit	S_R	134.069	60.887	26.814	N/m ²

1.2.3.8 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet	$V_{RB,w}$	0,0497	0,0226	0,0099	[-]
Steifigkeitsverhältnis	V_S	1,0476	0,7396	---	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung	c_v^*	-0,042	-0,027	---	[-]

1.2.3.9 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung)	K_2	0,400	0,400	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	K^*	0,769	1,001	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0902	0,0902	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_{h,qh^*}	-0,0676	-0,0676	---	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung	c_v^*	-0,042	-0,027	---	[-]

1.2.3.10 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	2,426	2,426	---	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor	K'	0,871	0,827	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	λ_R	1,150	0,985	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	λ_{RG}	1,150	0,985	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	λ_{fo}	3,693	3,693	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ_{fu}	0,260	0,260	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ_{RG}	1,150	0,985	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λ_B	0,950	1,005	---	[-]

1.2.3.11 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast ohne k_s	q_{v0}	101,25	90,92	---	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast	q_v	101,25	90,92	---	kN/m ²
Seitendruck	q_h	24,52	25,89	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten)	q^*_{*h}	59,97	66,36	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	q^*_{*hw}	0,00	0,00	---	kN/m ²

1.2.4 Schnittkräfte

1.2.4.1 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Kurzzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):		r	1,000	[-]
	Scheitel	Kämpfer	Sohle	

Mittlerer Radius	r_m	148,15	148,15	148,15	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	0,701	-0,711	0,738	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,176	0,176	-0,176	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-0,281	0,323	-0,281	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,001	-0,002	0,002	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	0,246	-0,215	0,284	kNm/m

Mittlerer Radius	r_m	Scheitel 148,15	Kämpfer 148,15	Sohle 148,15	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	0,489	-18,119	-0,489	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-4,747	0,000	-4,747	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-6,040	0,000	-6,040	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,007	-0,041	-0,007	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-10,292	-18,160	-11,284	kN/m

1.2.4.2 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			r	1,000	[-]
Mittlerer Radius	r_m	Scheitel 148,15	Kämpfer 148,15	Sohle 148,15	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	0,616	-0,625	0,649	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,187	0,187	-0,187	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-0,306	0,352	-0,306	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,001	-0,002	0,002	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	0,125	-0,089	0,158	kNm/m

Mittlerer Radius	r_m	Scheitel 148,15	Kämpfer 148,15	Sohle 148,15	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	0,430	-15,926	-0,430	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-5,040	0,000	-5,040	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-6,584	0,000	-6,584	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,007	-0,041	-0,007	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-11,187	-15,967	-12,060	kN/m

1.2.4.3 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Kurzzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			r	1,000	[-]
Mittlerer Radius	r_m	Scheitel 148,15	Kämpfer 148,15	Sohle 148,15	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	0,580	-0,589	0,611	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,135	0,135	-0,135	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-0,238	0,274	-0,238	kNm/m

Moment aufgrund Eigengewicht	M _g	0,001	-0,002	0,002	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M _w	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M _{pw}	-0,001	-0,001	-0,001	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	0,208	-0,183	0,240	kNm/m
Mittlerer Radius	r _m	Scheitel 148,15	Kämpfer 148,15	Sohle 148,15	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N _{qv}	0,405	-15,000	-0,405	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N _{qh}	-3,632	0,000	-3,632	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N* _{qh}	-5,126	0,000	-5,126	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N _g	0,007	-0,041	-0,007	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N _w	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N _{pw}	-3,701	-3,701	-3,701	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-12,048	-18,742	-12,871	kN/m

1.2.4.4 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			r	1,000	[-]
Mittlerer Radius	r _m	Scheitel 148,15	Kämpfer 148,15	Sohle 148,15	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M _{qv}	0,521	-0,529	0,549	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M _{qh}	-0,142	0,142	-0,142	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M* _{qh}	-0,264	0,303	-0,264	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M _g	0,001	-0,002	0,002	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M _w	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M _{pw}	-0,001	-0,001	-0,001	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	0,116	-0,086	0,144	kNm/m
Mittlerer Radius	r _m	Scheitel 148,15	Kämpfer 148,15	Sohle 148,15	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N _{qv}	0,364	-13,470	-0,364	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N _{qh}	-3,836	0,000	-3,836	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N* _{qh}	-5,673	0,000	-5,673	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N _g	0,007	-0,041	-0,007	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N _w	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N _{pw}	-3,701	-3,701	-3,701	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-12,840	-17,212	-13,580	kN/m

1.2.5 Nachweise Kurzzeit

1.2.5.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

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

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ _{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ _{RBD}	2,50	[-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	f _{t,fl,res}	21,00	21,00	21,00	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	f _{c,rad,res}	21,00	21,00	21,00	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:			α_{ki}	1,042	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	3,813	-4,776	4,432	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,027	-0,033	0,036	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	3,839	-4,808	4,468	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	5,469	---	4,700	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	---	4,367	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,958	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-4,562	2,531	-5,232	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,024	0,026	-0,033	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-4,586	2,556	-5,265	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	8,215	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	4,579	---	3,988	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.5.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

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

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:			erf YRBZ	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf YRBD	2,50	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl,res}$	21,00	21,00	21,00	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad,res}$	21,00	21,00	21,00	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:			α_{ki}	1,042	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	3,259	-4,031	3,772	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,184	-0,243	-0,175	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	3,075	-4,274	3,597	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	6,829	---	5,838	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	---	4,914	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,958	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-3,853	2,166	-4,407	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,211	-0,161	-0,220	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-4,063	2,005	-4,627	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	10,474	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	5,168	---	4,538	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.5.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Rechenmodus:	linear	
Verhältnis:	$l/(A \cdot m^2)$	0,00133 [-]
Verhältnis ' $l/(A \cdot m^2) \cdot \kappa \sim Q$ ':	$l/(A \cdot m^2) \cdot \kappa_Q$	0,00159 [-]

		q_v	q_h	q_h^*		
Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]	
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	$c_{N_v}^N$	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]	
Verformungsbeiwert für Querkkräfte	$c_{Q_v}^Q$	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]	
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0918	0,0839	0,0647	[-]	
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0902	-0,0857	-0,0676	[-]	
Vertikale Durchmesseränderung:			Δd_v	8,76	mm	
Horizontale Durchmesseränderung:			Δd_h	7,75	mm	
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):			$\delta_{v,B}$	2,96	%	
Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):			$\delta_{v,A}$	1,00	%	
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):			$\delta_{v,Ges}$	3,96	%	
Zulässige Verformung:			zul δ_v	6,00	%	

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.5.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Rechenmodus:			linear			
Verhältnis:			$I/(A \cdot \text{rm}^2)$	0,00133	[-]	
Verhältnis ' $I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa \sim Q$ ':			$I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_Q$	0,00159	[-]	
		q_v	q_h	q_h^*		
Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]	
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	$c_{N_v}^N$	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]	
Verformungsbeiwert für Querkkräfte	$c_{Q_v}^Q$	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]	
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0918	0,0839	0,0647	[-]	
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0902	-0,0857	-0,0676	[-]	
Vertikale Durchmesseränderung:			Δd_v	7,41	mm	
Horizontale Durchmesseränderung:			Δd_h	6,58	mm	
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):			$\delta_{v,B}$	2,50	%	
Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):			$\delta_{v,A}$	1,00	%	
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):			$\delta_{v,Ges}$	3,50	%	
Zulässige Verformung:			zul δ_v	6,00	%	

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.6 Nachweise Langzeit

1.2.6.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

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

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:			erf γ_{RBZ}	2,50	[-]	
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBD}	2,50	[-]	
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl,res}$	15,82	15,83	15,82	N/mm ²	
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad,res}$	15,84	15,78	15,84	N/mm ²	
innen						
Korrekturfaktor Krümmung innen:			α_{ki}	1,042	[-]	
		Scheitel	Kämpfer	Sohle		
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	1,604	-2,407	2,149	N/mm ²	
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,027	-0,033	0,036	N/mm ²	
Spannung gesamt	σ	1,631	-2,439	2,184	N/mm ²	

Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	9,704	---	7,245	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	---	6,489	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,958	[-]
---------------------------------	--	--	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-2,623	0,578	-3,212	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,024	0,026	-0,033	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-2,647	0,604	-3,246	N/mm ²

Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	26,131	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	5,983	---	4,879	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.6.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

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

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:		erf YRBZ	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:		erf YRBD	2,50	[-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl,res}$	15,99	16,00	16,05	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad,res}$	16,04	15,79	16,07	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:			α_{ki}	1,042	[-]
---------------------------------	--	--	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	1,570	-2,219	2,030	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,184	-0,243	-0,175	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	1,386	-2,461	1,856	N/mm ²

Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	11,537	---	8,648	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	---	6,503	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,958	[-]
---------------------------------	--	--	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-2,381	0,657	-2,880	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,211	-0,161	-0,220	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-2,592	0,496	-3,100	N/mm ²

Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	31,835	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	6,190	---	5,183	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.6.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Rechenmodus:	linear	
Verhältnis:	$I/(A \cdot m^2)$	0,00133 [-]
Verhältnis ' $I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa \sim Q$ ':	$I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa_Q$	0,00159 [-]

		q_v	q_h	q_{h^*}	
Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	c_v^N	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]
Verformungsbeiwert für Querkkräfte	c_v^Q	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0918	0,0839	0,0647	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0902	-0,0857	-0,0676	[-]

Vertikale Durchmesseränderung:	Δd_v	10,88	mm
Horizontale Durchmesseränderung:	Δd_h	8,45	mm
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	3,67	%
Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):	$\delta_{v,A}$	1,00	%
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	4,67	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.6.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Rechenmodus:	linear			
Verhältnis:	$I/(A \cdot m^2)$	0,00133	[-]	
Verhältnis ' $I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa \sim Q$ ':	$I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa_Q$	0,00159	[-]	
	q_v	q_h	q_h^*	
Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640 [-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	c_v^N	-0,6830	-0,6810	-0,2470 [-]
Verformungsbeiwert für Querkräfte	c_v^Q	-0,3590	0,3350	0,2430 [-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0918	0,0839	0,0647 [-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0902	-0,0857	-0,0676 [-]
Vertikale Durchmesseränderung:	Δd_v		9,14	mm
Horizontale Durchmesseränderung:	Δd_h		7,28	mm
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$		3,08	%
Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):	$\delta_{v,A}$		1,00	%
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$		4,08	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v		6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.6.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasser)

Erd- und Verkehrslasten

Rohrsteifigkeit:	$\bar{S}_R$	60.887	N/m ²
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	2,700	N/mm ²
Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,0226	[-]
Abminderungsfaktor Beullast bei Erd-/Verkehrslasten:	κ_{v2}	0,86	[-]
Reibungswinkel in der Leitungszone:	ϕ'^2	35,000	°
Kritische vertikale Gesamtlast:	krit q_v	699,5	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast:	q_v	90,92	kN/m ²
Beulsicherheitsbeiwert (vertikale Gesamtlast):	γ_{qv}	7,69	[-]

Wasserdruck + Unterdruck

Äußerer Wasserdruck:	p_a	23,50	kN/m ²
Unterdruck im Rohr:	p_{i-}	0,00	kN/m ²

Rohrsteifigkeit:	S_R	26.814	N/m ²
Systemsteifigkeit:	V_{RB}	0,0099	[-]
Mittlerer Radius zu Wanddicke:	$r_{m/s}$	7,92	[-]
Abminderungsfaktor aufgrund lokaler Vorverformung für Durchschlaglast bei äußerem Wasserdruck:	$\kappa_{a1,pa}$	1,00	[-]
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	3,08	%
Vorverformung Gesamt:	δ_v	3,08	%
Abminderungsfaktor:	$\kappa_{a2,pa}$	0,82	[-]
Abminderungsfaktor:	$\kappa_{a,pa}$	0,82	[-]
Durchschlagsbeiwert:	$\alpha_{D,pa}$	9,350	[-]
Kritischer Druck:	krit p_a	204,330	kN/m ²
Wasserdruck + Unterdruck im Rohr:	p_{a+i-}	23,50	kN/m ²
Beulsicherheitsbeiwert Druck:	$\gamma_{Stab,pa}$	8,695	[-]

Superposition

Sicherheit Stabilität, radial:

 $\gamma_{\text{Stab,rad}}$ 4,08 [-]

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität:

erf γ_{stab} 2,50 [-]

Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

1.2.6.6 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei minimalem Grundwasser)

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

1.2.6.7 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei maximalem Grundwasser)

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

1.2.6.8 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender Belastung

Nach Norm ist der dynamische Nachweis nicht notwendig (z.B. bei Straßenverkehrslasten $> 1,5 \text{ m}$).

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

Statische Berechnung

Bauvorhaben: A 070 "Juraleitung" Teilabschnitt Katzwang

Beschreibung: Erdverkabelungsabschnitt Wolkersdorf - Katzwang
Abschnitt: Erdkabelgraben, Baustelleneinrichtungsfläche / Baustraße
Baufeld: Ost / Katzwang

Auftraggeber: TenneT TSO GmbH
Bernecker Str. 70
95448 Bayreuth

Bearbeiter: Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel (IGKWT)
Moll-prd GmbH & Co. KG
Weststraße 2
57392 Schmallenberg

Dipl.-Ing. (FH) Philipp Dick

Statik-Nr.: 80-23-0269, Entwurfsstatik Erdkabelabschnitt

Datum: 22.01.2025

Inhaltsangabe

1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Entwurfsstatik der Kabelschutzrohre im erdverlegten Abschnitt Katzwang	4
1.1 Eingaben	4
1.1.1 Sicherheiten	4
1.1.2 Boden	4
1.1.3 Belastung	4
1.1.4 Einbau	5
1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr	5
1.1.5.1 Thermoplast	5
1.2 Ergebnisse	7
1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	7
1.2.1.1 Materialeigenschaften	7
1.2.1.2 Sicherheiten	7
1.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	7
1.2.2 Zwischenergebnisse bei minimalem Grundwasser	7
1.2.2.1 Silotheorie	7
1.2.2.2 Belastung	7
1.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB	7
1.2.2.4 Bodensteifigkeiten	8
1.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	8
1.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	8
1.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse	8
1.2.2.8 Beiwerte	8
1.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	8
1.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang	9
1.2.3 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser	9
1.2.3.1 Silotheorie	9
1.2.3.2 Belastung	9
1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB	9
1.2.3.4 Bodensteifigkeiten	9
1.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	9
1.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	9
1.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse	10
1.2.3.8 Beiwerte	10
1.2.3.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	10
1.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang	10
1.2.4 Schnittkräfte	10
1.2.4.1 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Kurzzeit	10
1.2.4.2 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Langzeit	11
1.2.4.3 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Kurzzeit	11
1.2.4.4 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Langzeit	12
1.2.5 Nachweise Kurzzeit	12
1.2.5.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)	12
1.2.5.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	13
1.2.5.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)	13
1.2.5.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	14
1.2.6 Nachweise Langzeit	14
1.2.6.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)	14

1.2.6.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	15
1.2.6.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)	15
1.2.6.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	15
1.2.6.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasser)	16
1.2.6.6 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei minimalem Grundwasser)	16
1.2.6.7 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei maximalem Grundwasser)	16
1.2.6.8 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender	16

1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Entwurfsstatik der Kabelschutzrohre im erdverlegten Abschnitt Katzwang

Titel der Teilstatik: Entwurfsstatik der Kabelschutzrohre im erdverlegten Abschnitt Katzwang

Annahmen: Die Vordimensionierung erfolgte auf Basis folgender Annahmen:

- Verlegung der Kabelschutzrohre im Regelgraben, geböscht mit 45°
- Minstdurchmesser entsprechend Handbuch Bauen und Errichten, Kapitel 2.2.1.1.7: 253 mm
- nachzuweisende Kabelschutzrohre DA 280, SDR 21
- Belastung der Kabelschutzrohre durch Befahrung, SLW 60, im Bau- und Betriebszustand
- keine Abminderung der Standfestigkeit aufgrund der Kabeltemperatur im Betriebszustand, da Rohre mit erhöhter Temperaturbeständigkeit eingesetzt werden.
- Grabenbreite in Scheitelhöhe angenommen mit 1,5 m
- Nenntiefe Rohrachse: 1,70 m zzgl. 10 cm Verlegetoleranz
- Baugrundinformationen aus Bericht Dr. Spang, 13.06.2024
- anstehender Boden: Schicht 2.2, Verwitterungsboden, gemischtkörnig

Schlussfolgerungen: Die Nachweise für den Bau- und Betriebszustand für die Kabelschutzrohre, DA 280, werden unter Berücksichtigung vorstehender Annahmen erbracht.

Berechnungsart: Vollwand-/Profilrohr
Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck: Ja

1.1 Eingaben

1.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse:	A (Regelfall)
Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13:	Ohne Vorverformungen (2,5 / 2,0)
Zulässige Verformung:	6% (Regelfall)
Behandlung von Innendruck:	Gemäß Fußnote des ATV-DVWK-A 127
Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:	Nein (ATV-DVWK-A 127)
Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:	Nach Regelwerk
Berücksichtigung von dyn pvh*:	Nach Norm
Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:	Ja
Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:	ATV-DVWK-A 127:2000 (nach Rechenwert)
Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:	Ja

1.1.2 Boden

Bodengruppe Verfüllung:	G1
Berechnung E1:	Tabelle 8 (A127)
Bodengruppe Einbettung:	G1
Berechnung E20:	Tabelle 8 (A127)
Bodengruppe anstehender Boden:	G2
Berechnung E3:	E-Modul
E-Modul E3:	E3
E4 = 10 · E1:	Ja
Anwendung von Silotheorie:	Nein
K2 nach Norm:	Ja

1.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:	h	1,65	m
Minimaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,min}	0,00	m
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,max}	1,95	m
Auftriebsnachweis führen:	Nein		
Wichte des Bodens:	γ _B	20,0	kN/m ³
Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:	Nein		
Zusätzliche Flächenlast:	p ₀	0,0	kN/m ²
Innendruck, kurzzeitig wirkend:	P _{I,K}	0,00	bar
Innendruck, langfristig:	P _{I,L}	0,00	bar
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):	Nein		
Verkehrslast:	Straße SLW 60		
Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:	α _{qhT,dyn}	0,00	%

1.1.4 Einbau

Einbauweise:	Graben		
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	b	1,50	m
Mindestgrabenbreite prüfen:	Nein		
Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:	Ja		
Böschungswinkel:	β	45	°
Überschüttungsbedingung:	A1		
Einbettungsbedingung:	B1		
Auflagerart:	Lose		
Auflagerwinkel:	180°		
Relative Ausladung automatisch ermitteln:	Ja		
Untere Sockelhöhe vorgeben:	Ja		
Höhe des unteren Teils des Sockels:	h _{s,u}	0,150	m

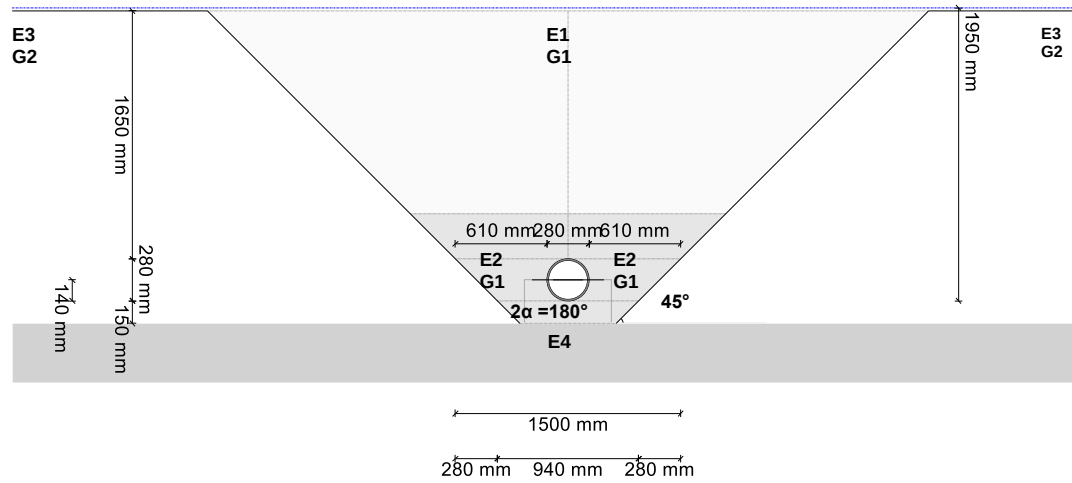
1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

Rohrauswahl:	Vollwand		
Material-Klasse:	Thermoplast		
Vorverformung Typ A:	δ _{v,A}	1,0	%
Lokale Vorverformung:	δ _{v,l}	0,0	%
Auswahl der Eingaben:	Da und s		
Außendurchmesser:	d _a	280,0	mm
Wandstärke:	s	13,4	mm
Perforation:	Ohne Perforation		

1.1.5.1 Thermoplast

Auswahl Material:	Nach ATV / DWA
Material:	PE-HD
Grund der Abminderung:	Keine

Verkehrslast: Straße SLW 60



1.2 Ergebnisse

1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d_i	253,2	mm
Außendurchmesser:	d_a	280,0	mm
Mittlerer Radius:	r_m	133,30	mm
Wanddicke:	s	13,40	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	9,948	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,034	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,966	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	1,00	%
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	13,40	mm ² /mm
Trägheitsabstand:	e	6,70	mm
Trägheitsmoment:	I	200,51	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	29,93	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	29,93	mm ³ /mm
Flächenverhältnis:	κ_Q	1,2	[-]

1.2.1.1 Materialeigenschaften

		Kurzzeit	Langzeit	
Wichte des Rohrwerkstoffs	γ_R	9,4	9,4	kN/m ³
Querkontraktionszahl	ν	0,38	0,38	[-]
Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_{R,rad}$	800,0	160,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl}$	21,0	14,0	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad}$	21,0	14,0	N/mm ²
Ringzugfestigkeit	f_t	12,6	8,4	N/mm ²
Schwingbreite bei $2 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$\Delta\sigma_{rsk,2E6}$	n. def.	N/mm ²
Schwingbreite bei $5 \cdot 10^6$ Lastspielen:		$\Delta\sigma_{rsk,5E6}$	n. def.	N/mm ²
Schwingbreite bei $1 \cdot 10^8$ Lastspielen:		$\Delta\sigma_{rsk,1E8}$	n. def.	N/mm ²

1.2.1.2 Sicherheiten

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen	erf γ_{RBZ}	2,50	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen	erf γ_{RBD}	2,50	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf γ_{stab}	2,50	2,50	[-]

1.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

Die Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610 / DWA-A 139 wird nicht überprüft.

1.2.2 Zwischenergebnisse bei minimalem Grundwasser

1.2.2.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	1,000	[-]
Erdlastbeiwert κ_0 für Flächenlast (Silotheorie):	κ_0	1,000	[-]

1.2.2.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	0,00	m
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	33,00	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	33,00	kN/m ²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	34,39	kN/m ²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,20	[-]

1.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:	$E_{1,\sigma}$	16,00	N/mm ²
--------------------------------	----------------	-------	-------------------

E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,\sigma}$	25,00	N/mm ²
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	16,00	N/mm ²
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	16,00	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:	$D_{pr,E20}$	0,95	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	1,000	[-]
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):	$E_{2,\sigma}$	16,00	N/mm ²
E-Modul Boden unter dem Rohr:	$E_{4,\sigma}$	160,00	N/mm ²

1.2.2.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δf	1,667	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	1,000	[-]
Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe die Grabenbreite in Kämpferhöhe einzusetzen.			
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	9,600	N/mm ²
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	10,419	N/mm ²

1.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	180	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,140	m
Höhe untere Bettungsschicht UK Rohr bis Grabensohle:	h_{su}	0,150	m
Berechnete Ausladung:	a	1,54	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	1,536	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	30,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	20,000	°

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

1.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_{R,rad}$	800,0	486,6	160,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl}$	21,0	17,6	14,0	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad}$	21,0	17,6	14,0	N/mm ²
Rohrsteifigkeit	S_R	67.722	41.191	13.544	N/m ²

1.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet	$V_{RB,w}$	0,0071	0,0043	0,0014	[-]
Steifigkeitsverhältnis	V_S	0,5590	0,4498	---	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung	c_v^*	-0,012	-0,009	---	[-]

1.2.2.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung)	K_2	0,400	0,400	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	K^*	1,135	1,179	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0839	0,0839	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_{h,qh^*}	-0,0669	-0,0669	---	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung	c_v^*	-0,012	-0,009	---	[-]

1.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	2,059	2,059	---	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor	K'	0,839	0,784	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	λ_R	0,874	0,788	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	λ_{RG}	0,874	0,788	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	λ_{fo}	3,753	3,753	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ_{fu}	0,284	0,284	---	[-]

Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ_{RG}	0,874	0,788	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λ_B	1,042	1,071	---	[-]
1.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang					
		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	q_v	63,22	60,38	---	kN/m ²
Seitendruck	q_h	14,88	15,25	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten)	q^*_{h}	54,68	53,01	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	q^*_{hw}	0,00	0,00	---	kN/m ²
1.2.3 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser					
1.2.3.1 Silotheorie					
Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):			κ	1,000	[-]
Erdlastbeiwert κ_0 für Flächenlast (Silotheorie):			κ_0	1,000	[-]
1.2.3.2 Belastung					
Grundwasserstand über Scheitel:			$h_{W,Scheitel}$	1,65	m
Wichte Verfüllung unter Wasser:			γ'	11,00	kN/m ³
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:			P_{Erd}	18,15	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:			P_E	18,15	kN/m ²
Spannung aufgrund Verkehrslast:			P_V	34,39	kN/m ²
Enthaltener Stoßfaktor:			ϕ	1,20	[-]
1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB					
E-Modul Verfüllung unter Last:			$E_{1,\sigma}$	16,00	N/mm ²
E-Modul anstehender Boden:			$E_{3,\sigma}$	25,00	N/mm ²
E-Modul Einbettung (abgemindert):			$E_{2,\sigma}$	16,00	N/mm ²
E-Modul Einbettung unter Last:			$E_{20,\sigma}$	16,00	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:			f_1	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:			$D_{pr,E20}$	0,95	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):			f_2	1,000	[-]
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):			$E_{2,\sigma}$	16,00	N/mm ²
E-Modul Boden unter dem Rohr:			$E_{4,\sigma}$	160,00	N/mm ²
1.2.3.4 Bodensteifigkeiten					
Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:			Δ_f	1,667	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:			ζ	1,000	[-]
Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe die Grabenbreite in Kämpferhöhe einzusetzen.					
Horizontale Bettungssteifigkeit:			S_{Bh}	9,600	N/mm ²
Vertikale Bettungssteifigkeit:			S_{Bv}	10,419	N/mm ²
1.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel					
Auflagerwinkel:			2α	180	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:			t_r	0,140	m
Höhe untere Bettungsschicht UK Rohr bis Grabensohle:			h_{su}	0,150	m
Berechnete Ausladung:			a	1,54	[-]
Wirksame Ausladung:			a'	1,536	[-]
Innerer Reibungswinkel:			φ'	30,000	°
Wandreibungswinkel:			δ	20,000	°
		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	

1.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung	$E_{R,rad}$	800,0	578,9	160,0	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl}$	21,0	18,6	14,0	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad}$	21,0	18,6	14,0	N/mm ²
Rohrsteifigkeit	S_R	67.722	49.006	13.544	N/m ²

1.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet	$V_{RB,w}$	0,0071	0,0051	0,0014	[-]
Steifigkeitsverhältnis	V_S	0,5590	0,4875	---	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung	c_v^*	-0,012	-0,010	---	[-]

1.2.3.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung)	K_2	0,400	0,400	---	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck	K^*	1,135	1,165	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'h$	0,0839	0,0839	---	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	$c'h_{qh^*}$	-0,0669	-0,0669	---	[-]
Beiwert für die vertikale Verformung	c_v^*	-0,012	-0,010	---	[-]

1.2.3.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor	$\max \lambda$	2,059	2,059	---	[-]
Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor	K'	0,839	0,804	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert	λ_R	0,874	0,819	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	λ_{RG}	0,874	0,819	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert	λ_{fo}	3,753	3,753	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ_{fu}	0,284	0,284	---	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ_{RG}	0,874	0,819	---	[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λ_B	1,042	1,060	---	[-]

1.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang

		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast	q_v	50,24	49,25	---	kN/m ²
Seitendruck	q_h	8,18	8,31	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten)	q^*_h	47,63	47,61	---	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	q^*_{hw}	0,00	0,00	---	kN/m ²

1.2.4 Schnittkräfte

1.2.4.1 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Kurzzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			r	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	133,30	133,30	133,30	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	0,281	-0,281	0,281	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,066	0,066	-0,066	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-0,176	0,202	-0,176	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,001	-0,001	0,001	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	0,040	-0,014	0,040	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	133,30	133,30	133,30	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	0,000	-8,427	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-1,983	0,000	-1,983	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-4,205	0,000	-4,205	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,003	-0,026	-0,003	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-6,186	-8,453	-6,191	kN/m

1.2.4.2 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			r	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	133,30	133,30	133,30	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	0,268	-0,268	0,268	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,068	0,068	-0,068	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-0,170	0,196	-0,170	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,001	-0,001	0,001	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	0,031	-0,005	0,031	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	133,30	133,30	133,30	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	0,000	-8,049	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-2,033	0,000	-2,033	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N^*_{qh}	-4,077	0,000	-4,077	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,003	-0,026	-0,003	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-6,108	-8,076	-6,113	kN/m

1.2.4.3 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Kurzzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			r	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	133,30	133,30	133,30	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	0,223	-0,223	0,223	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,036	0,036	-0,036	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	-0,153	0,176	-0,153	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,001	-0,001	0,001	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	0,034	-0,012	0,034	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	133,30	133,30	133,30	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	0,000	-6,697	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-1,091	0,000	-1,091	kN/m

Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N_{qh}^*	-3,663	0,000	-3,663	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,003	-0,026	-0,003	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	-2,730	-2,730	-2,730	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-7,481	-9,454	-7,487	kN/m

1.2.4.4 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			r	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	133,30	133,30	133,30	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	0,219	-0,219	0,219	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,037	0,037	-0,037	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M_{qh}^*	-0,153	0,176	-0,153	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,001	-0,001	0,001	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	0,029	-0,007	0,029	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	133,30	133,30	133,30	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	0,000	-6,565	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-1,108	0,000	-1,108	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N_{qh}^*	-3,662	0,000	-3,662	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,003	-0,026	-0,003	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	-2,730	-2,730	-2,730	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-7,497	-9,322	-7,503	kN/m

1.2.5 Nachweise Kurzzeit

1.2.5.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

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

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:			erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBD}	2,50	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl,res}$	21,00	21,00	21,00	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad,res}$	21,00	21,00	21,00	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:			α_{ki}	1,034	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	0,881	-1,066	0,881	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,027	-0,032	0,034	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	0,908	-1,098	0,915	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	23,126	---	22,949	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	19,120	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,966	[-]
---------------------------------	--	--	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-1,718	-0,220	-1,718	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,025	0,026	-0,032	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-1,742	-0,194	-1,750	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	---	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	12,052	108,434	12,001	[-]
Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.					

1.2.5.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

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

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:		erf YRBZ	2,50	[-]	
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:		erf YRBD	2,50	[-]	
Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl,res}$	21,00	21,00	21,00	N/mm²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad,res}$	21,00	21,00	21,00	N/mm²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:		α_{ki}	1,034	[-]
---------------------------------	--	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	0,808	-0,873	0,808	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,187	-0,246	-0,180	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	0,621	-1,119	0,628	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	33,831	---	33,454	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	---	18,763	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:		α_{ka}	0,966	[-]
---------------------------------	--	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-1,442	-0,151	-1,442	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,219	-0,168	-0,226	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-1,661	-0,319	-1,668	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	YBZ	---	---	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBD	12,644	65,904	12,588	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.5.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Rechenmodus:	linear	
Verhältnis:	$I/(A \cdot \text{rm}^2)$	0,00084 [-]
Verhältnis $I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa \sim Q'$:	$I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_Q$	0,00101 [-]

		q _v	q _h	q _h [*]	
Verformungsbeiwert für Biegemomente	c _v	-0,0833	0,0833	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	c _v ^N	-0,6480	-0,6810	-0,2470	[-]
Verformungsbeiwert für Querkkräfte	c _v ^Q	-0,3350	0,3350	0,2430	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c' _v	-0,0848	0,0837	0,0645	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c' _h	0,0839	-0,0848	-0,0669	[-]
Vertikale Durchmesseränderung:			Δd _v	2,32	mm
Horizontale Durchmesseränderung:			Δd _h	1,52	mm
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):			δ _{v,B}	0,87	%
Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):			δ _{v,A}	1,00	%
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):			δ _{v,Ges}	1,87	%

Zulässige Verformung:	zul δ_v	6,00	%
-----------------------	----------------	------	---

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.5.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Rechenmodus:	linear	
Verhältnis:	$I/(A \cdot \text{rm}^2)$	0,00084 [-]
Verhältnis ' $I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa \sim Q$ ':	$I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_Q$	0,00101 [-]

		q_v	q_h	q_h^*	
Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	-0,0833	0,0833	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	c_v^N	-0,6480	-0,6810	-0,2470	[-]
Verformungsbeiwert für Querkkräfte	c_v^Q	-0,3350	0,3350	0,2430	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0848	0,0837	0,0645	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0839	-0,0848	-0,0669	[-]

Vertikale Durchmesseränderung:	Δd_v	1,99	mm
Horizontale Durchmesseränderung:	Δd_h	1,32	mm

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	0,74	%
Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):	$\delta_{v,A}$	1,00	%
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	1,74	%

Zulässige Verformung:	zul δ_v	6,00	%
-----------------------	----------------	------	---

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.6 Nachweise Langzeit

1.2.6.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

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

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	2,50	[-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl,res}$	17,41	17,43	17,37	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad,res}$	17,51	17,38	17,49	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,034	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	0,580	-0,758	0,580	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	0,027	-0,032	0,034	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	0,607	-0,790	0,614	N/mm ²

Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	28,711	---	28,320	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	22,047	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,966	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-1,425	-0,454	-1,425	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,025	0,026	-0,032	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-1,449	-0,427	-1,457	N/mm ²

Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	---	---	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	12,083	40,683	12,010	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.6.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

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

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:	erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:	erf γ_{RBD}	2,50	[-]

Anzusetzende Biegezugfestigkeit	$f_{t,fl,res}$	17,54	17,38	17,57	N/mm ²
Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$f_{c,rad,res}$	17,91	16,94	17,89	N/mm ²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,034	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	0,636	-0,694	0,636	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,187	-0,246	-0,180	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	0,450	-0,940	0,457	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	39,019	---	38,487	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	---	18,496	---	[-]

außen

Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,966	[-]
---------------------------------	---------------	-------	-----

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten	σ_{qv,qh,qh^*}	-1,284	-0,299	-1,284	N/mm ²
Spannung aufgrund anderer Lasten	σ_{sonst}	-0,219	-0,168	-0,226	N/mm ²
Spannung gesamt	σ	-1,503	-0,467	-1,510	N/mm ²
Sicherheitsbeiwert Biegezug:	γ_{BZ}	---	---	---	[-]
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γ_{BD}	11,918	36,237	11,847	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.6.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Rechenmodus:	linear	
Verhältnis:	$I/(A \cdot \text{rm}^2)$	0,00084 [-]
Verhältnis ' $I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa \sim Q$ ':	$I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_Q$	0,00101 [-]

		q_v	q_h	q_{h^*}	
Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	-0,0833	0,0833	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	c_v^N	-0,6480	-0,6810	-0,2470	[-]
Verformungsbeiwert für Querkkräfte	c_v^Q	-0,3350	0,3350	0,2430	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0848	0,0837	0,0645	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0839	-0,0848	-0,0669	[-]

Vertikale Durchmesseränderung:	Δd_v	2,75	mm
Horizontale Durchmesseränderung:	Δd_h	1,47	mm

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	1,03	%
Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):	$\delta_{v,A}$	1,00	%
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	2,03	%

Zulässige Verformung:	zul δ_v	6,00	%
-----------------------	----------------	------	---

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.6.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Rechenmodus:	linear	
Verhältnis:	$I/(A \cdot \text{rm}^2)$	0,00084 [-]

Verhältnis $I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa \sim Q$:		$I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_Q$		0,00101 [-]	
		q_v	q_h	q_h^*	
Verformungsbeiwert für Biegemomente	c_v	-0,0833	0,0833	0,0640	[-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	c_v^N	-0,6480	-0,6810	-0,2470	[-]
Verformungsbeiwert für Querkkräfte	c_v^Q	-0,3350	0,3350	0,2430	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_v	-0,0848	0,0837	0,0645	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c'_h	0,0839	-0,0848	-0,0669	[-]
Vertikale Durchmesseränderung:		Δd_v	2,23		mm
Horizontale Durchmesseränderung:		Δd_h	1,32		mm
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):		$\delta_{v,B}$	0,84		%
Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):		$\delta_{v,A}$	1,00		%
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):		$\delta_{v,Ges}$	1,84		%
Zulässige Verformung:		zul δ_v	6,00		%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.6.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasser)

Erd- und Verkehrslasten

Rohrsteifigkeit:	$\bar{S}_R$	49.006	N/m ²
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	9,600	N/mm ²
Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	0,0051	[-]
Abminderungsfaktor Beullast bei Erd-/Verkehrslasten:	κ_{v2}	0,87	[-]
Reibungswinkel in der Leitungszone:	ϕ'^2	35,000	°
Kritische vertikale Gesamtlast:	krit q_v	1.197,3	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast:	q_v	49,25	kN/m ²
Beulsicherheitsbeiwert (vertikale Gesamtlast):	γ_{qv}	24,31	[-]

Wasserdruck + Unterdruck

Äußerer Wasserdruck:	p_a	19,50	kN/m ²
Unterdruck im Rohr:	p_{I-}	0,00	kN/m ²

Rohrsteifigkeit:	S_R	13.544	N/m ²
Systemsteifigkeit:	V_{RB}	0,0014	[-]
Mittlerer Radius zu Wanddicke:	$r_{m/s}$	9,95	[-]
Abminderungsfaktor aufgrund lokaler Vorverformung für Durchschlaglast bei äußerem Wasserdruck:	$\kappa_{a1,pa}$	1,00	[-]
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):	$\delta_{v,B}$	0,84	%
Vorverformung Gesamt:	δ_v	0,84	%
Abminderungsfaktor:	$\kappa_{a2,pa}$	0,95	[-]
Abminderungsfaktor:	$\kappa_{a,pa}$	0,95	[-]
Durchschlagsbeiwert:	$\alpha_{D,pa}$	14,511	[-]
Kritischer Druck:	krit p_a	186,019	kN/m ²
Wasserdruck + Unterdruck im Rohr:	p_{a+I-}	19,50	kN/m ²
Beulsicherheitsbeiwert Druck:	$\gamma_{Stab,pa}$	9,539	[-]

Superposition

Sicherheit Stabilität, radial:	$\gamma_{Stab,rad}$	6,85	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität:	erf γ_{stab}	2,50	[-]

Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

1.2.6.6 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei minimalem Grundwasser)

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

1.2.6.7 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei maximalem Grundwasser)

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

1.2.6.8 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender Belastung

Nach Norm ist der dynamische Nachweis nicht notwendig (z.B. bei Straßenverkehrslasten > 1,5 m).

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

Statische Berechnung

Bauvorhaben: A 070 "Juraleitung" Teilabschnitt Katzwang

Beschreibung: Erdverkabelungsabschnitt Wolkersdorf - Katzwang
Abschnitt: Straßenquerung (Haimendorfstrasse)
Baufeld: West / Wolkersdorf

Auftraggeber: TenneT TSO GmbH
Bernecker Str. 70
95448 Bayreuth

Bearbeiter: Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel (IGKWT)
Moll-prd GmbH & Co. KG
Weststraße 2
57392 Schmallenberg

Dipl.-Ing. (FH) Philipp Dick

Statik-Nr.: 80-23-0269, Entwurfsstatik Erdkabelabschnitt, Straße

Datum: 22.01.2025

1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Entwurfsstatik der Leerrohre im erdverlegten Abschnitt Wolkersdorf

Titel der Teilstatik: Entwurfsstatik der Leerrohre im erdverlegten Abschnitt Wolkersdorf

Annahmen: Die Vordimensionierung erfolgte auf Basis folgender Annahmen:

- Verlegung der Leerrohre im Regelgraben, verbaut
- nachzuweisende Leerrohre DA 50, SDR 17
- Belastung der Leerrohre durch Befahrung, SLW 60, im Bau- und Betriebszustand
- zusätzliche Flächenlast durch Zwischenlagerung Aushub
- Abminderung der Standfestigkeit aufgrund der Temperatur im Betriebszustand
- Grabenbreite in Scheitelhöhe angenommen mit 1,5 m
- Baugrundinformationen aus Bericht Dr. Spang, 13.06.2024
- anstehender Boden: Schicht 2.2, Verwitterungsboden, gemischtkörnig

Schlussfolgerungen: Die Nachweise für den Bau- und Betriebszustand für die Kabelschutzhohre, DA 50, SDR 17, werden unter Berücksichtigung vorstehender Annahmen nicht erbracht.

Es wurde daher ein Leerrohr mit der Konfiguration DA 63, SDR 11 (Wandstärke 5,8 mm) gewählt. Der Einbau erfolgt auf kompletter Länge im Abschnitt Wolkersdorf.

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

A (Regelfall)
Ohne Vorverformungen (2,5 / 2,0)
6% (Regelfall)
Gemäß Fußnote des ATV-DVWK-A 127
Nein (ATV-DVWK-A 127)
Nach Regelwerk
Nach Norm
Ja
ATV-DVWK-A 127:2000 (nach
Rechenwert)
Ja

Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:

1.1.2 Boden

Bodengruppe Verfüllung:
Berechnung E1:
Bodengruppe Einbettung:
Berechnung E20:
Bodengruppe anstehender Boden:
Berechnung E3:
E-Modul E3:
E4 = 10 · E1:
Anwendung von Silotheorie:

G1
Tabelle 8 (A127)
G1
Tabelle 8 (A127)
G2
E-Modul
E3 25,00 N/mm²
Ja
Nein

K2 nach Norm:

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:
Zusätzliche Flächenlast ist Dammschüttung:
Innendruck, kurzzeitig wirkend:
Innendruck, langfristig:
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):
Verkehrslast:
Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:

h	2,05	m
h _{W,min}	0,00	m
h _{W,max}	2,35	m
Nein		
γ _B	20,0	kN/m ³
Nein		
p ₀	40,0	kN/m ²
Nein		
P _{I,K}	0,00	bar
P _{I,L}	0,00	bar
Nein		
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:
Berücksichtigung der Unterrammung nach Bericht der ATV-AG 1.5.5.:
Tiefe der Unterrammung:
Beiwert k_S automatisch ermitteln:
Dicke des Verbaus (einseitig):
Auflagerart:
Auflagerwinkel:
Relative Ausladung automatisch ermitteln:
Untere Sockelhöhe vorgeben:
Höhe des unteren Teils des Sockels:

Graben		
b	1,50	m
Nein		
Ja		
β	90	°
A2		
B2		
Ja		
t _s	0,20	m
Ja		
b _s	0,15	m
Lose		
120°		
Ja		
Ja		
h _{s,u}	0,150	m

1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

Rohrauswahl:

Vollwand

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

Thermoplast		
δ _{v,A}	1,0	%
δ _{v,I}	0,0	%
Da und s		
d _a	63,0	mm
s	5,8	mm

Perforation:

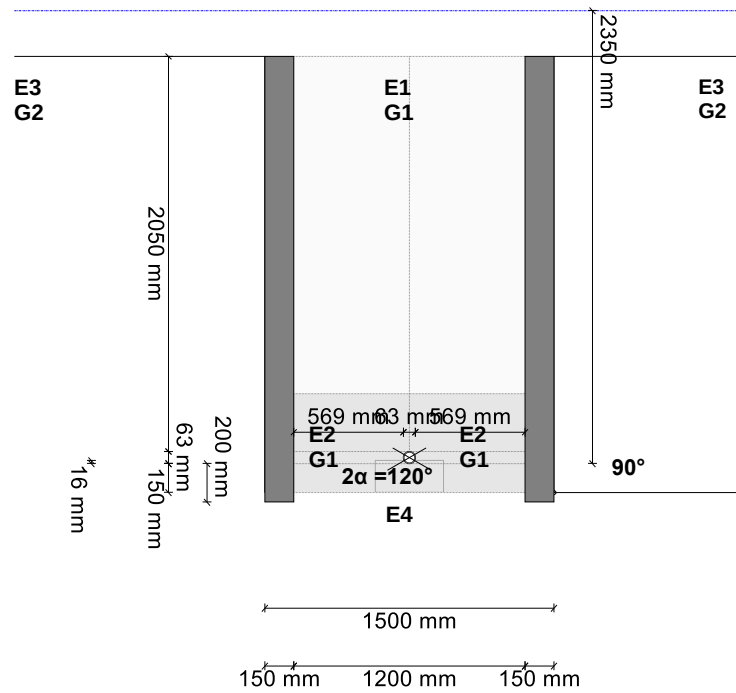
Ohne Perforation

1.1.5.1 Thermoplast

Auswahl Material:
Material:
Grund der Abminderung:
Temperatureinfluss:

Nach ATV / DWA
PE-HD
Temperatur
20 > A=1,00

Verkehrslast: Straße SLW 60 + 40,0 kN/m²



1.2 Ergebnisse

1.2.1 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

Die Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610 / DWA-A 139 wird nicht überprüft.

1.2.2 Nachweise Kurzzeit

1.2.2.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Sicherheitsbeiwert außen	Y	-3,251	4,315	-3,006	[-]
Sicherheitsbeiwert innen	Y	3,068	-2,584	2,873	[-]
(Sicherheitsbeiwerte gegen Biegedruckbeanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeichen gekennzeichnet)					
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:			erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBD}	2,50	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.2.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Sicherheitsbeiwert außen	Y	-3,966	5,543	-3,675	[-]
Sicherheitsbeiwert innen	Y	3,924	-3,156	3,670	[-]
(Sicherheitsbeiwerte gegen Biegedruckbeanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeichen gekennzeichnet)					
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:			erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBD}	2,50	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.2.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	4,03	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.2.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	3,43	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.3 Nachweise Langzeit

1.2.3.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Sicherheitsbeiwert außen	Y	-3,895	6,465	-3,525	[-]
Sicherheitsbeiwert innen	Y	4,109	-3,244	3,743	[-]
(Sicherheitsbeiwerte gegen Biegedruckbeanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeichen gekennzeichnet)					
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:			erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBD}	2,50	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.3.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Sicherheitsbeiwert außen	Y	-4,488	7,806	-4,089	[-]
Sicherheitsbeiwert innen	Y	5,003	-3,713	4,565	[-]
(Sicherheitsbeiwerte gegen Biegedruckbeanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeichen gekennzeichnet)					
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:			erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBD}	2,50	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.3.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	5,43	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.3.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	4,46	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.3.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasser)

Erd- und Verkehrslasten

Kritische vertikale Gesamtlast:	krit q_v	1.406,0	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast:	q_v	161,94	kN/m ²
Beulsicherheitsbeiwert (vertikale Gesamtlast):	γ_{qv}	8,68	[-]

Wasserdruck + Unterdruck

Äußerer Wasserdruck:	p_a	23,50	kN/m ²
Unterdruck im Rohr:	p_i	0,00	kN/m ²
Kritischer Druck:	krit p_a	258,350	kN/m ²
Wasserdruck + Unterdruck im Rohr:	$p_a + p_i$	23,50	kN/m ²
Beulsicherheitsbeiwert Druck:	$\gamma_{Stab,pa}$	10,994	[-]

Superposition

Sicherheit Stabilität, radial:	$\gamma_{Stab,rad}$	4,85	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität:	erf γ_{stab}	2,50	[-]

Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

1.2.3.6 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei minimalem Grundwasser)

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

1.2.3.7 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei maximalem Grundwasser)

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

1.2.3.8 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender Belastung

Nach Norm ist der dynamische Nachweis nicht notwendig (z.B. bei Straßenverkehrslasten $> 1,5$ m).

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

Statische Berechnung

Bauvorhaben: A 070 "Juraleitung" Teilabschnitt Katzwang

Beschreibung: Erdverkabelungsabschnitt Wolkersdorf - Katzwang
Abschnitt: Erdkabelgraben, Baustelleneinrichtungsfläche
Baufeld: Ost / Katzwang

Auftraggeber: TenneT TSO GmbH
Bernecker Str. 70
95448 Bayreuth

Bearbeiter: Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel (IGKWT)
Moll-prd GmbH & Co. KG
Weststraße 2
57392 Schmallenberg

Dipl.-Ing. (FH) Philipp Dick

Statik-Nr.: 80-23-0269, Entwurfsstatik Erdkabelabschnitt

Datum: 22.01.2025

1 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Entwurfsstatik der Leerrohre im erdverlegten Abschnitt Katzwang

Titel der Teilstatik: Entwurfsstatik der Leerrohre im erdverlegten Abschnitt Katzwang

Annahmen: Die Vordimensionierung erfolgte auf Basis folgender Annahmen:

- Verlegung der Leerrohre im Regelgraben, geböscht mit 45°
- nachzuweisende Leerrohre DA 63, SDR 11
- Belastung der Leerrohre durch Befahrung, SLW 60, im Bau- und Betriebszustand
- Abminderung der Standfestigkeit aufgrund der Temperatur im Betriebszustand
- Grabenbreite in Scheitelhöhe angenommen mit 1,5 m
- Baugrundinformationen aus Bericht Dr. Spang, 13.06.2024
- anstehender Boden: Schicht 2.2, Verwitterungsboden, gemischtkörnig

Schlussfolgerungen: Die Nachweise für den Bau- und Betriebszustand für die Leerrohre, DA 63, SDR 11, werden unter Berücksichtigung vorstehender Annahmen erbracht.

Berechnungsart: Vollwand-/Profilrohr
Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck: Ja

1.1 Eingaben

1.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse:	A (Regelfall)
Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13:	Ohne Vorverformungen (2,5 / 2,0)
Zulässige Verformung:	6% (Regelfall)
Behandlung von Innendruck:	Gemäß Fußnote des ATV-DVWK-A 127
Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:	Nein (ATV-DVWK-A 127)
Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:	Nach Regelwerk
Berücksichtigung von dyn pvh*:	Nach Norm
Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis:	Ja
Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:	ATV-DVWK-A 127:2000 (nach Rechenwert)
Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:	Ja

1.1.2 Boden

Bodengruppe Verfüllung:	G1
Berechnung E1:	Tabelle 8 (A127)
Bodengruppe Einbettung:	G1
Berechnung E20:	Tabelle 8 (A127)
Bodengruppe anstehender Boden:	G2
Berechnung E3:	E-Modul
E-Modul E3:	E3
E4 = 10 · E1:	25,00
Anwendung von Silotheorie:	N/mm²
K2 nach Norm:	Ja
	Nein
	Ja

1.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:	h	1,65	m
-------------------	---	------	---

Minimaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,min}	0,00	m
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,max}	1,95	m
Auftriebsnachweis führen:	Nein		
Wichte des Bodens:	γ _B	20,0	kN/m ³
Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:	Nein		
Zusätzliche Flächenlast:	p ₀	0,0	kN/m ²
Innendruck, kurzzeitig wirkend:	P _{I,K}	0,00	bar
Innendruck, langfristig:	P _{I,L}	0,00	bar
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):	Nein		
Verkehrslast:	Straße SLW 60		
Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:	α _{qhT,dyn}	0,00	%

1.1.4 Einbau

Einbauweise:	Graben		
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	b	1,50	m
Mindestgrabenbreite prüfen:	Nein		
Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:	Ja		
Böschungswinkel:	β	45	°
Überschüttungsbedingung:	A1		
Einbettungsbedingung:	B1		
Auflagerart:	Lose		
Auflagerwinkel:	120°		
Relative Ausladung automatisch ermitteln:	Ja		
Untere Sockelhöhe vorgeben:	Ja		
Höhe des unteren Teils des Sockels:	h _{s,u}	0,150	m

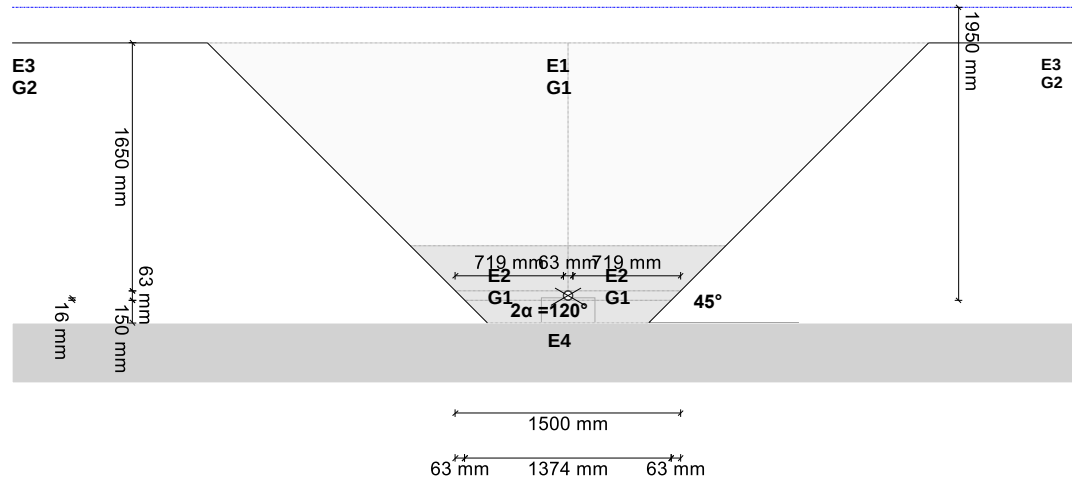
1.1.5 Vollwand/Profil-Rohr

Rohrauswahl:	Vollwand		
Material-Klasse:	Thermoplast		
Vorverformung Typ A:	δ _{v,A}	1,0	%
Lokale Vorverformung:	δ _{v,l}	0,0	%
Auswahl der Eingaben:	SDR und Da		
Außendurchmesser:	d _a	63,0	mm
SDR:	SDR	11,0	[-]
Perforation:	Ohne Perforation		

1.1.5.1 Thermoplast

Auswahl Material:	Nach ATV / DWA
Material:	PE-HD
Grund der Abminderung:	Temperatur
Temperatureinfluss:	20 > A=1,00

Verkehrslast: Straße SLW 60



1.2 Ergebnisse

1.2.1 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

Die Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610 / DWA-A 139 wird nicht überprüft.

1.2.2 Nachweise Kurzzeit

1.2.2.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Sicherheitsbeiwert außen	Y	-11,900	23,548	-10,619	[-]
Sicherheitsbeiwert innen	Y	13,514	-10,309	12,055	[-]
(Sicherheitsbeiwerte gegen Biegedruckbeanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeichen gekennzeichnet)					
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:			erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBD}	2,50	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.2.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Sicherheitsbeiwert außen	Y	-15,191	37,311	-13,683	[-]
Sicherheitsbeiwert innen	Y	20,394	-13,121	18,035	[-]
(Sicherheitsbeiwerte gegen Biegedruckbeanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeichen gekennzeichnet)					
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:			erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBD}	2,50	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.2.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	1,77	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.2.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	1,57	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.3 Nachweise Langzeit

1.2.3.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Sicherheitsbeiwert außen	Y	-13,124	38,468	-11,446	[-]
Sicherheitsbeiwert innen	Y	17,215	-12,038	14,715	[-]
(Sicherheitsbeiwerte gegen Biegedruckbeanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeichen gekennzeichnet)					
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:			erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBD}	2,50	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.3.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Sicherheitsbeiwert außen	Y	-15,321	50,324	-13,671	[-]
Sicherheitsbeiwert innen	Y	23,177	-13,644	19,950	[-]
(Sicherheitsbeiwerte gegen Biegedruckbeanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeichen gekennzeichnet)					
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen:			erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBD}	2,50	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.3.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	1,91	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.3.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{v,Ges}$	1,64	%
Zulässige Verformung:	zul δ_v	6,00	%

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.3.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasser)

Erd- und Verkehrslasten

Kritische vertikale Gesamtlast:	krit q_v	3.304,7	kN/m ²
Vertikale Gesamtlast:	q_v	65,08	kN/m ²
Beulsicherheitsbeiwert (vertikale Gesamtlast):	γ_{qv}	50,78	[-]

Wasserdruck + Unterdruck

Äußerer Wasserdruck:	p_a	19,50	kN/m ²
Unterdruck im Rohr:	p_i	0,00	kN/m ²
Kritischer Druck:	krit p_a	793,876	kN/m ²
Wasserdruck + Unterdruck im Rohr:	$p_a + p_i$	19,50	kN/m ²
Beulsicherheitsbeiwert Druck:	$\gamma_{Stab,pa}$	40,712	[-]

Superposition

Sicherheit Stabilität, radial:	$\gamma_{Stab,rad}$	22,60	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität:	erf γ_{stab}	2,50	[-]

Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

1.2.3.6 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei minimalem Grundwasser)

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

1.2.3.7 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei maximalem Grundwasser)

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

1.2.3.8 Nachweis der Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender Belastung

Nach Norm ist der dynamische Nachweis nicht notwendig (z.B. bei Straßenverkehrslasten $> 1,5$ m).

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.