Raitersaich – Ludersheim – Sittling – Altheim 380-kV-Ersatzneubauprojekt

Juraleitung

Ltg.-Abschnitt A-Katzwang Raitersaich_West - Ludersheim_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-	Änderung:	Änderungsdatum:
historie:		

Statische Berechnung

Bauvorhaben: A 070 "Juraleitung" Teilabschnitt Katzwang

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

Auftraggeber: TenneT TSO GmbH

Bernecker Str. 70 95448 Bayreuth

Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel (IGKWT) Moll-prd GmbH & Co. KG Bearbeiter:

Weststraße 2

57392 Schmallenberg

Dipl.-Ing. (FH) Philipp Dick

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

Datum: 22.01.2025

1

Inhaltsangabe

Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Entwurfsstatik der Kabelschutzrohre im rdverlegten 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 1.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	7 7
1.2.2 Zwischenergebnisse bei minimalem Grundwasser	7
1.2.2.1 Silotheorie	7
1.2.2.2 Belastung 1.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB	7 7
1.2.2.4 Bodensteifigkeiten	8
1.2.2.5 Einfluss der Unterrammung 1.2.2.6 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	8 8
1.2.2.7 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	8
1.2.2.8 Steifigkeitsverhältnisse	8
1.2.2.9 Beiwerte 1.2.2.10 Konzentrationsfaktoren λR und λΒ	8 8
1.2.2.11 Druckverteilung am Rohrumfang	9
1.2.3 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser	9
1.2.3.1 Silotheorie 1.2.3.2 Belastung	9
1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB	9
1.2.3.4 Bodensteifigkeiten 1.2.3.5 Einfluss der Unterrammung	9 9
1.2.3.6 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	9
1.2.3.7 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	10
1.2.3.8 Steifigkeitsverhältnisse 1.2.3.9 Beiwerte	10 10
1.2.3.10 Konzentrationsfaktoren λR und λB	10
1.2.3.11 Druckverteilung am Rohrumfang 1.2.4 Schnittkräfte	10
1.2.4.1 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser. Kurzzeit	10 10
1.2.4.2 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Langzeit	11
1.2.4.3 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Kurzzeit 1.2.4.4 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Langzeit	11 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)1.2.5.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)	13 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

- Mindestdurchmesser 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 Kabelschuztrohre, DA 315, werden unter

Berücksichtigung vorstehender Annahmen erbracht.

Vollwand-/Profilrohr Berechnungsart:

Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck: Ja

1.1 Eingaben

1.1.1 Sicherheiten

Sicherheitsklasse: A (Regelfall)

Ohne Vorverformungen (2,5 / 2,0) Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13: 6% (Regelfall)

Zulässige Verformung:

Behandlung von Innendruck: Gemäß Fußnote des ATV-DVWK-A 127 Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:

G1

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:

ATV-DVWK-A 127:2000 (nach Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:

Rechenwert)

Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:

1.1.2 **Boden**

Bodengruppe Verfüllung:

Berechnung E1: Tabelle 8 (A127)

Bodengruppe Einbettung:

Berechnung E20: Tabelle 8 (A127) Bodengruppe anstehender Boden: G2

Berechnung E3: E-Modul F3 25.00 E-Modul E3:

N/mm² E4 = 10 · E1: Ja

Anwendung von Silotheorie: Nein K2 nach Norm: Ja

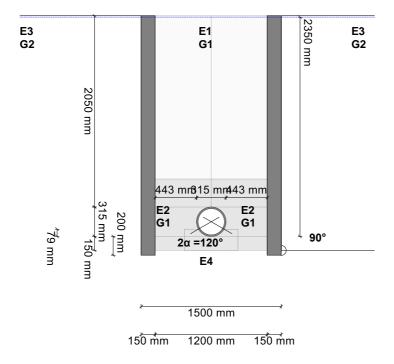
1.1.3 Belastung			
Überdeckungshöhe:	h	2,05	m
Minimaler Grundwasserstand über Sohle:	hw, _{min}	0,00	m
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,max}	2,35	m
Auftriebsnachweis führen:	Nein		
Wichte des Bodens:	γв	20,0	kN/m³
Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:	Nein		
Zusätzliche Flächenlast:	p ₀	40,0	kN/m²
Zusätzliche Flächenlast ist Dammschüttung:	Nein		
Innendruck, kurzzeitig wirkend:	P _{I,K}	0,00	bar
Innendruck, langzeitig:	Pı,L	0,00	bar
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):	Nein		
Verkehrslast:	Straße SLW 60	0.00	0/
Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:	$\alpha_{qhT,dyn}$	0,00	%
1.1.4 Einbau			
Einbauweise:	Graben		
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	b	1,50	m
Mindestgrabenbreite prüfen:	Nein	1,00	•••
Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:	Ja		
Böschungswinkel:	ß	90	0
Überschüttungsbedingung:	A2		
Einbettungsbedingung:	B2		
Berücksichtigung der Unterrammung nach Bericht der ATV-AG 1.5.5.:	Ja		
Tiefe der Unterrammung:	ts	0,20	m
Beiwert kS automatisch ermitteln:	Ja		
Dicke des Verbaus (einseitig):	bs	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:	$\delta_{V,A}$	1,0	%
Lokale Vorverformung:	$\delta_{\text{V,I}}$	0,0	%
Auswahl der Eingaben:	Da und s		
Außendurchmesser:	da	315,0	mm
Wandstärke:	S	18,7	mm
Perforation:	Ohne Perforation	า	
1.1.5.1 Thermoplast			

1.1.5.1 Thermoplast

Auswahl Material:

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

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



1.2 Ergebnisse

1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr				
Innendurchmesser: Außendurchmesser: Mittlerer Radius: Wanddicke: Verhältnis Radius zu Wanddicke: Korrekturfaktor Krümmung innen: Korrekturfaktor Krümmung außen:		di da r _m s r _m /s α _{ki} α _{ka}	277,6 315,0 148,15 18,70 7,922 1,042 0,958	mm mm mm [-] [-]
Lokale Vorverformung: Vorverformung (Ovalisierung vor Last):		$\begin{array}{l} \delta_{V,I} \\ \delta_{V,A} \end{array}$	0,00 1,00	% %
Radiale Profilfläche: Trägheitsabstand: Trägheitsmoment: Äußeres Widerstandsmoment: Inneres Widerstandsmoment: Flächenverhältnis:		A _{rad} e I Wa Wi KQ	18,70 9,35 544,93 58,28 58,28 1,2	mm²/mm mm mm^4/mm mm³/mm mm³/mm
1.2.1.1 Materialeigenschaften				
Wichte des Rohrwerkstoffs Querkontraktionszahl Elastizitätsmodul in Ringrichtung	γκ v E _{R,rad}	Kurzzeit 9,4 0,38 800,0	Langzeit 9,4 0,38 160,0	kN/m³ [-] N/mm²
Radiale Biegezugfestigkeit Radiale Biegedruckfestigkeit Ringzugfestigkeit	f _{t,fl} f _{c,rad} f _t	21,0 21,0 12,6	14,0 14,0 8,4	N/mm² N/mm² N/mm²
Schwingbreite bei 2·10^6 Lastspielen: Schwingbreite bei 5·10^6 Lastspielen: Schwingbreite bei 1·10^8 Lastspielen:		$\Delta\sigma_{rsk,2E6}$ $\Delta\sigma_{rsk,5E6}$ $\Delta\sigma_{rsk,1E8}$	n. def. n. def. n. def.	N/mm² N/mm² N/mm²
1.2.1.2 Sicherheiten				
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf γ _{RBZ} erf γ _{RBD} erf γ _{stab}	2,50 2,50 2,50	2,50 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 überprü	ft.			
1.2.2 Zwischenergebnisse bei minimalem Grundwasser				
1.2.2.1 Silotheorie				
Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): Erdlastbeiwert κ0 für Flächenlast (Silotheorie):		к к ₀	1,000 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:		hw,scheitel PErd PE PV ¢	0,00 41,00 81,00 29,19 1,20	m kN/m² kN/m² kN/m² [-]
1.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB				
E-Modul Verfüllung unter Last:		Ε1,σ	6,00	N/mm²

E-Modul anstehender Boden: E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung unter Last: Reduktionsfaktor für das Kriechen: Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):			E _{3,σ} E _{2,σ} E _{20,σ} f ₁ D _{pr,E20} f ₂ α _B	25,00 4,50 6,00 1,000 0,90 0,750 1,000	N/mm² N/mm² N/mm² [-] [-] [-]
Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die	Formel 6.03 immer de	n Wert 1,0.		
E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Boden unter dem Rohr:			E _{2,σ} E _{4,σ}	4,50 60,00	N/mm² N/mm²
1.2.2.4 Bodensteifigkeiten					
Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungsste Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit:	eifigkeit:		$egin{array}{l} \Delta_{f} \ \zeta \ S_{Bh} \ S_{Bv} \end{array}$	1,667 1,000 2,700 3,048	[-] [-] N/mm² N/mm²
1.2.2.5 Einfluss der Unterrammung					
Erhöhte Ausladung aufgrund Bodenauflocker Verhältnis: Lastkonzentration über dem Rohr (ks gemäß	J	A 1997 (44) Nr. 12)	as b _s /d _a : ks	0,23 1,33 1,00	[-] [-] [-]
1.2.2.6 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung	und Reibungs	<u>swinkel</u>			
Auflagerwinkel: Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Roh Höhe untere Bettungsschickt UK Rohr bis Gra Berechnete Ausladung: Erhöhte Ausladung aufgrund Bodenauflocker Wirksame Ausladung: Innerer Reibungswinkel: Wandreibungswinkel:	abensohle:		2α t _r h _{su} a a _S a' φ' δ	120 0,079 0,150 1,48 0,23 1,968 30,000 10,000	。 m m [-] [-]
		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
1.2.2.7 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteit	<u>figkeit</u>				
Elastizitätsmodul in Ringrichtung Radiale Biegezugfestigkeit Radiale Biegedruckfestigkeit	ER,rad f _{t,fl} f _{c,rad}	800,0 21,0 21,0	329,5 15,9 15,9	160,0 14,0 14,0	N/mm² N/mm² N/mm²
Rohrsteifigkeit	S _R	134.069	55.223	26.814	N/m²
1.2.2.8 Steifigkeitsverhältnisse					
Systemsteifigkeit, gewichtet Steifigkeitsverhältnis Beiwert für die vertikale Verformung	V _{RB,w} Vs c _v *	0,0497 1,0476 -0,042	0,0205 0,7114 -0,025	0,0099 	[-] [-] [-]
1.2.2.9 Beiwerte					
Erdruckbeiwert (Einbettung) Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck Resultierender Verformungsbeiwert Resultierender Verformungsbeiwert Beiwert für die vertikale Verformung	K ₂ K* c'h c' _{h,qh*} c _v *	0,400 0,769 0,0902 -0,0676 -0,042	0,400 1,024 0,0902 -0,0676 -0,025	 	[-] [-] [-] [-] [-]
1.2.2.10 Konzentrationsfaktoren λR und λB					
Maximaler Konzentrationsfaktor Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	max λ K' λ _R λ _{RG}	2,426 0,871 1,150 1,150	2,426 0,819 0,967 0,967	 	[-] [-] [-]

Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer	λ_{fo}	3,693	3,693		[-]
Grenzwert Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ_{fu}	0,260	0,260		[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ_{RG}	1,150	0,967		[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λΒ	0,950	1,011		[-]
1.2.2.11 Druckverteilung am Rohrumfang					
		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast ohne ks Vertikale Gesamtlast Seitendruck Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten) Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	qvo qv qh q*h q*hw	122,30 122,30 32,04 70,66 0,00	107,50 107,50 34,02 77,02 0,00	 	kN/m² kN/m² kN/m² kN/m² kN/m²
1.2.3 Zwischenergebnisse bei maximalem	Grundwasser				
1.2.3.1 Silotheorie					
Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): Erdlastbeiwert κ0 für Flächenlast (Silotheorie)):		К К0	1,000 1,000	[-] [-]
1.2.3.2 Belastung					
Grundwasserstand über Scheitel: Wichte Verfüllung unter Wasser: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Spannung aufgrund Verkehrslast: Enthaltener Stoßfaktor:	Flächenlast:		hw,scheitel Y' PErd PE Pv ¢	2,04 11,00 22,69 62,69 29,19 1,20	m kN/m³ kN/m² kN/m² kN/m² [-]
1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB					
E-Modul Verfüllung unter Last: E-Modul anstehender Boden: E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung unter Last: Reduktionsfaktor für das Kriechen: Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):			$E_{1,\sigma}$ $E_{3,\sigma}$ $E_{2,\sigma}$ $E_{20,\sigma}$ f_{1} $D_{pr,E20}$ f_{2} α_{B}	6,00 25,00 4,50 6,00 1,000 0,90 0,750 1,000	N/mm² N/mm² N/mm² N/mm² [-] [-] [-]
Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser	·) >= 4, ergibt die Fo	ormel 6.03 immer den	Wert 1,0.		
E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Boden unter dem Rohr:			Ε _{2,σ} Ε _{4,σ}	4,50 60,00	N/mm² N/mm²
1.2.3.4 Bodensteifigkeiten					
Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungsste Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit:	eifigkeit:		Δ _f ζ S _{Bh} S _{Bv}	1,667 1,000 2,700 3,048	[-] [-] N/mm² N/mm²
1.2.3.5 Einfluss der Unterrammung					
Erhöhte Ausladung aufgrund Bodenauflocker Verhältnis: Lastkonzentration über dem Rohr (ks gemäß		997 (44) Nr. 12):	as b _s /d _a ks	0,23 1,33 1,00	[-] [-] [-]
1.2.3.6 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung	und Reibungsw	inkel			
Auflagerwinkel:			2α	120	۰

Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr Höhe untere Bettungsschickt UK Rohr bis Gra Berechnete Ausladung: Erhöhte Ausladung aufgrund Bodenauflockeru Wirksame Ausladung: Innerer Reibungswinkel: Wandreibungswinkel:	bensohle:		t _r h _{su} a as a' φ' δ	0,079 0,150 1,48 0,23 1,968 30,000 10,000	m m [-] [-]
		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
1.2.3.7 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteif	<u>igkeit</u>				
Elastizitätsmodul in Ringrichtung Radiale Biegezugfestigkeit Radiale Biegedruckfestigkeit	ER,rad f _{t,fl} f _{c,rad}	800,0 21,0 21,0	363,3 16,2 16,2	160,0 14,0 14,0	N/mm² N/mm² N/mm²
Rohrsteifigkeit	SR	134.069	60.887	26.814	N/m²
1.2.3.8 Steifigkeitsverhältnisse					
Systemsteifigkeit, gewichtet Steifigkeitsverhältnis Beiwert für die vertikale Verformung	V _{RB,w} V _S c _v *	0,0497 1,0476 -0,042	0,0226 0,7396 -0,027	0,0099 	[-] [-] [-]
<u>1.2.3.9 Beiwerte</u>					
Erdruckbeiwert (Einbettung) Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck Resultierender Verformungsbeiwert Resultierender Verformungsbeiwert Beiwert für die vertikale Verformung	K ₂ K* c'h c' _{h,qh} * c _v *	0,400 0,769 0,0902 -0,0676 -0,042	0,400 1,001 0,0902 -0,0676 -0,027	 	[-] [-] [-] [-]
1.2.3.10 Konzentrationsfaktoren λR und λB					
Maximaler Konzentrationsfaktor Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	max λ K' λ _R λ _{RG}	2,426 0,871 1,150 1,150	2,426 0,827 0,985 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	λRG	1,150	0,985		[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λв	0,950	1,005		[-]
1.2.3.11 Druckverteilung am Rohrumfang					
		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast ohne ks Vertikale Gesamtlast Seitendruck Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten) Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	qv0 qv qh q*h q*hw	101,25 101,25 24,52 59,97 0,00	90,92 90,92 25,89 66,36 0,00	 	kN/m² kN/m² kN/m² kN/m² kN/m²
1.2.4 Schnittkräfte					
1.2.4.1 Schnittkräfte bei minimalem Grundwas	sser, Kurzzeit				
Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):		Scheitel	r Kämpfer	1,000 Sohle	[-]
LO. ft F Pic 0.00 4 00005 40 50 00	-				

Idittlerer Radius r _m Idoment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung Mqv Idoment aufgrund Seitendruck Mqh Idoment aufgrund horiz. M*qh Idoment aufgrund keitendruck Idoment aufgrund Eigengewicht Mg Idoment aufgrund Wasserfüllung Mw Idoment aufgrund Wasserdruck/Innendruck Mpw Idoment aufgrund Wasserdruck/Innendruck Mpw Idoment aufgrund Vertikaler Interest Radius Int	0,701 -0,176 -0,281 0,001 0,000 0,000 0,246 Scheitel 148,15	148,15 -0,711 0,176 0,323 -0,002 0,000 0,000 -0,215 Kämpfer	0,738 -0,176 -0,281 0,002 0,000 0,000	mm kNm/m kNm/m kNm/m kNm/m kNm/m kNm/m kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck Mqh Moment aufgrund horiz. M*qh Moment aufgrund horiz. M*qh ettungsreaktionsdruck Mg Ioment aufgrund Eigengewicht Mg Ioment aufgrund Wasserfüllung Mw Ioment aufgrund Wasserdruck/Innendruck Mpw Iumme der Momente ΣΜ Iittlerer Radius rm Iormalkraft aufgrund vertikaler Nqv Gesamtbelastung Nqv	-0,176 -0,281 0,001 0,000 0,000 0,246 Scheitel	0,176 0,323 -0,002 0,000 0,000 -0,215	-0,176 -0,281 0,002 0,000 0,000	kNm/m kNm/m kNm/m kNm/m kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck Mqh Moment aufgrund horiz. M*qh Moment aufgrund horiz. M*qh ettungsreaktionsdruck Mg Ioment aufgrund Eigengewicht Mg Ioment aufgrund Wasserfüllung Mw Ioment aufgrund Wasserdruck/Innendruck Mpw Iumme der Momente ΣΜ Iittlerer Radius rm Iormalkraft aufgrund vertikaler Nqv Gesamtbelastung Nqv	-0,176 -0,281 0,001 0,000 0,000 0,246 Scheitel	0,176 0,323 -0,002 0,000 0,000 -0,215	-0,176 -0,281 0,002 0,000 0,000	kNm/m kNm/m kNm/m kNm/m kNm/m
Ioment aufgrund horiz. M^*_{qh} ettungsreaktionsdruck Mg Ioment aufgrund Eigengewicht Mg Ioment aufgrund Wasserfüllung Mw Ioment aufgrund Wasserdruck/Innendruck Mpw Iumme der Momente ΣΜ Iittlerer Radius r_m Iormalkraft aufgrund vertikaler N_{qv} Gesamtbelastung	-0,281 0,001 0,000 0,000 0,246 Scheitel	0,323 -0,002 0,000 0,000 -0,215	-0,281 0,002 0,000 0,000	kNm/m kNm/m kNm/m kNm/m
ettungsreaktionsdruck floment aufgrund Eigengewicht floment aufgrund Wasserfüllung floment aufgrund Wasserdruck/Innendruck floment aufgrund wasserdruck/Innendruck/Innendruck/Innendruck/Innendruck/Innendruck/Innendruck/Innendruck/Innendruck/Innendruck/Innendruck/Innendruck/Innendruck/Innendruck/Innendruck/Innendruck/Innendru	0,001 0,000 0,000 0,246 Scheitel	-0,002 0,000 0,000 -0,215	0,002 0,000 0,000	kNm/m kNm/m kNm/m
Ioment aufgrund Eigengewicht Mg Ioment aufgrund Wasserfüllung Mw Ioment aufgrund Wasserdruck/Innendruck Mpw umme der Momente ΣΜ Iittlerer Radius rm Iormalkraft aufgrund vertikaler Nqv iesamtbelastung Nqv	0,000 0,000 0,246 Scheitel	0,000 0,000 -0,215	0,000 0,000	kNm/m kNm/m
$\begin{array}{llllllllllllllllllllllllllllllllllll$	0,000 0,000 0,246 Scheitel	0,000 0,000 -0,215	0,000 0,000	kNm/m kNm/m
Ioment aufgrund Wasserdruck/Innendruck Mpw umme der Momente ΣΜ littlerer Radius rm ormalkraft aufgrund vertikaler Nqv iesamtbelastung Nqv	0,000 0,246 Scheitel	-0,215	0,000	kNm/m
umme der Momente ΣM littlerer Radius r _m ormalkraft aufgrund vertikaler N _{qv} esamtbelastung	0,246 Scheitel	-0,215		
littlerer Radius r _m lormalkraft aufgrund vertikaler N _{qv} Sesamtbelastung	Scheitel		0,284	kNm/m
ormalkraft aufgrund vertikaler N _{qv} esamtbelastung		Kämpfer		
ormalkraft aufgrund vertikaler N _{qv} esamtbelastung	148,15		Sohle	
esamtbelastung		148,15	148,15	mm
esamtbelastung				
	0,489	-18,119	-0,489	kN/m
ormalkraft aufgrund Seitendruck Nah				
	-4,747	0,000	-4,747	kN/m
ormalkraft aufgrund horiz. N* _{qh}	-6,040	0,000	-6,040	kN/m
ettungsreaktionsdruck				
ormalkraft aufgrund Eigengewicht N _g	0,007	-0,041	-0,007	kN/m
ormalkraft aufgrund Wasserfüllung N _w	0,000	0,000	0,000	kN/m
ormalkraft aufgrund WasserdruckIInnendruck N _{pw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
ımme der Normalkräfte ΣN	-10,292	-18,160	-11,284	kN/m
2.4.2 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasser, Lang	zeit			
erounding-Faktor (Abminderung Momente):		r	1,000	[-]
stouriding traiter (Astrinadorang Montonio).	Scheitel	Kämpfer	Sohle	[]
ittlerer Radius r _m	148,15	148,15	148,15	mm
oment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung M _{qv}	0,616	-0,625	0,649	kNm/m
oment aufgrund Seitendruck	-0,187	0,187	-0,187	kNm/m
oment aufgrund horiz. M* _{qh}	-0,306	0,352	-0,306	kNm/m
ettungsreaktionsdruck	-0,500	0,002	-0,500	KINIII/III
oment aufgrund Eigengewicht Mg	0,001	-0,002	0,002	kNm/m
oment aufgrund Wasserfüllung M _w	0,000	0,000	0,002	kNm/m
	0,000	0,000	0,000	kNm/m
	0,000	0,000	0,000	
umme der Momente ΣM	0,125	-0,089	0,158	kNm/m
	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
littlerer Radius r _m	148,15	148,15	148,15	mm
anna allematta a referencia di constitue tono	0.400	45.000	0.400	LaN L/
ormalkraft aufgrund vertikaler N _{qv} esamtbelastung	0,430	-15,926	-0,430	kN/m
9	-5,040	0,000	-5,040	kN/m
ormalkraft aufgrund horiz. N* _{qh}	-6,584	0,000	-6,584	kN/m
ettungsreaktionsdruck	0.007	0.044	0.007	kN/m
ormalkraft aufgrund Eigengewicht Ng	0,007	-0,041	-0,007	kN/m
ormalkraft aufgrund Wasserfüllung N _w	0,000	0,000	0,000	kN/m
ormalkraft aufgrund WasserdruckIInnendruck N _{pw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
umme der Normalkräfte ΣN	-11,187	-15,967	-12,060	kN/m
2.4.3 Schnittkräfte bei maximalem Grundwasser, Kurz	zeit			
erounding-Faktor (Abminderung Momente):		r	1,000	[-]
s. s	Scheitel	Kämpfer	Sohle	r 1
ittlerer Radius r _m	148,15	148,15	148,15	mm
ittlerer Radius r _m	170,10	170,10	170,10	111111
oment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung M _{qv}	0,580	-0,589	0,611	kNm/m
oment aufgrund Seitendruck M _{qh}	-0,135	0,135	-0,135	kNm/m
	-0,238	0,274	-0,238	kNm/m
Ioment aufgrund horiz. M* _{qh}	-11/.11	U./ I +		

Moment aufgrund Eigengewicht	Mq	0,001	-0,002	0,002	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	Mw	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	-0,001	-0,001	-0,001	kNm/m
umme der Momente	ΣΜ	0,208	-0,183	0,240	kNm/m
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
littlerer Radius	r_{m}	148,15	148,15	148,15	mm
ormalkraft aufgrund vertikaler esamtbelastung	N_{qv}	0,405	-15,000	-0,405	kN/m
ormalkraft aufgrund Seitendruck	N _{qh}	-3,632	0,000	-3,632	kN/m
ormalkraft aufgrund horiz. ettungsreaktionsdruck	N*qh	-5,126	0,000	-5,126	kN/m
ormalkraft aufgrund Eigengewicht	Ng	0,007	-0,041	-0,007	kN/m
ormalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_W	0,000	0,000	0,000	kN/m
ormalkraft aufgrund WasserdrucklInnendruck	N _{pw}	-3,701	-3,701	-3,701	kN/m
umme der Normalkräfte	ΣΝ	-12,048	-18,742	-12,871	kN/m
2.4.4 Schnittkräfte bei maximalem Grundwas	ser, Langzeit				
erounding-Faktor (Abminderung Momente):			r	1,000	[-]
,		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
ittlerer Radius	r_{m}	148,15	148,15	148,15	mm
loment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	0,521	-0,529	0,549	kNm/m
loment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,142	0,142	-0,142	kNm/m
loment aufgrund horiz.	M* _{qh}	-0,264	0,303	-0,264	kNm/m
ettungsreaktionsdruck					
loment aufgrund Eigengewicht	Mg	0,001	-0,002	0,002	kNm/m
loment aufgrund Wasserfüllung	Mw	0,000	0,000	0,000	kNm/m
loment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	-0,001	-0,001	-0,001	kNm/m
umme der Momente	ΣΜ	0,116	-0,086	0,144	kNm/m
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
littlerer Radius	r_{m}	148,15	148,15	148,15	mm
ormalkraft aufgrund vertikaler	N_{qv}	0,364	-13,470	-0,364	kN/m
esamtbelastung		0.000	0.000	0.000	1.51/
ormalkraft aufgrund Seitendruck	N _{qh}	-3,836	0,000	-3,836	kN/m
ormalkraft aufgrund horiz.	N^*_{qh}	-5,673	0,000	-5,673	kN/m
ettungsreaktionsdruck		2 227	0.044	0.00=	1.817
ormalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,007	-0,041	-0,007	kN/m
lormalkraft aufgrund Wasserfüllung	N _w	0,000	0,000	0,000	kN/m
lormalkraft aufgrund Wasserdrucklinnendruck	•	-3,701	-3,701	-3,701	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣΝ	-12,840	-17,212	-13,580	kN/m

1.2.5 Nachweise Kurzzeit

1.2.5.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

$$\sigma_{R,res} = \frac{|\sigma_{qv,qh,qh^*}| \cdot \bar{\sigma}_R + |\sigma_{sonst}| \cdot \sigma_{R,L}}{|\sigma_{qv,qh,qh^*}| + |\sigma_{sonst}|}$$
 (9.01c) Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen: erf γ_{RBZ} 2,50 [-] Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen: erf γ_{RBD} 2,50 [-] Anzusetzende Biegezugfestigkeit γ_{RBD} 2,50 [-] Anzusetzende Biegedruckfestigkeit γ_{RBD} 2,50 [-] Anzusetzende Biegedruckfestigkeit γ_{RBD} 2,700 21,00 N/mm²

innen

Korrekturfaktor Krümmung innen:			α_{ki}	1,042	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten Spannung aufgrund anderer Lasten Spannung gesamt	σ _{qv,qh,qh} * σsonst σ	Scheitel 3,813 0,027 3,839	Kämpfer -4,776 -0,033 -4,808	Sohle 4,432 0,036 4,468	N/mm² N/mm² N/mm²
Sicherheitsbeiwert Biegezug: Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBZ YBD	5,469 	4,367	4,700 	[-] [-]
außen					
Korrekturfaktor Krümmung außen:			α _{ka}	0,958	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten Spannung aufgrund anderer Lasten Spannung gesamt	σ _{qv,qh,qh} * σ _{sonst} σ	Scheitel -4,562 -0,024 -4,586	Kämpfer 2,531 0,026 2,556	Sohle -5,232 -0,033 -5,265	N/mm² N/mm² N/mm²
Sicherheitsbeiwert Biegezug: Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBZ YBD	 4,579	8,215 	3,988	[-] [-]
Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Sp	annungsnachwe	ises sind ausre	eichend.		
1.2.5.2 Spannungsnachweis (bei maximalem	<u>Grundwasser)</u>				
$\sigma_{\text{R,res}} = \frac{ \sigma_{\text{qv,qh,qh*}} \cdot \bar{\sigma}_{\text{R}} + \sigma_{\text{sonst}} \cdot \sigma_{\text{R,L}}}{ \sigma_{\text{qv,qh,qh*}} + \sigma_{\text{sonst}} }$					(9.01c
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugsp Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruck			erf γ_{RBZ} erf γ_{RBD}	2,50 2,50	[-] [-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\begin{array}{c} f_{t,fl,res} \\ f_{c,rad,res} \end{array}$	21,00 21,00	21,00 21,00	21,00 21,00	N/mm² N/mm²
innen					
Korrekturfaktor Krümmung innen:			αki	1,042	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten Spannung aufgrund anderer Lasten Spannung gesamt	σqv,qh,qh* σ _{sonst} σ	Scheitel 3,259 -0,184 3,075	Kämpfer -4,031 -0,243 -4,274	Sohle 3,772 -0,175 3,597	N/mm² N/mm² N/mm²
Sicherheitsbeiwert Biegezug: Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	Yвz YвD	6,829	 4,914	5,838 	[-] [-]
außen					
Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,958	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten Spannung aufgrund anderer Lasten Spannung gesamt	σ _{qv,qh,qh} * σ _{sonst} σ	Scheitel -3,853 -0,211 -4,063	Kämpfer 2,166 -0,161 2,005	Sohle -4,407 -0,220 -4,627	N/mm² N/mm² N/mm²
Sicherheitsbeiwert Biegezug: Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γBZ γBD	 5,168	10,474 	 4,538	[-] [-]
Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Sp	annungsnachwe	ises sind ausre	eichend.		
1.2.5.3 Verformungsnachweis (bei minimaler	m Grundwasser)				

		q _v		CI-	q _h *		
Verformungsbeiwert für Biegemomente	C _V	чν	-0.0893	q _h 0.0833	Чn	0.0640	[-]
Verformungsbeiwert für Normalkräfte	c ^N v		-0,6830	-0,6810		-0,2470	i-i
Verformungsbeiwert für Querkräfte	$c^{Q}{}_{V}$		-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	%
	1 1 1/ 6						

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.5.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

Rechenmodus: Verhältnis: Verhältnis 'I/(A·rm²)·κ~Q':				linear I/(A·rm²) I/(A·rm²)·κ _Q		0,00133 0,00159	
Verformungsbeiwert für Biegemomente Verformungsbeiwert für Normalkräfte Verformungsbeiwert für Querkräfte	c _v c ^N v c ^Q v	q _V	-0,0893 -0,6830 -0,3590	q _h 0,0833 -0,6810 0,3350	q _h *	0,0640 -0,2470 0,2430	[-] [-]
Resultierender Verformungsbeiwert Resultierender Verformungsbeiwert	C' _V C'h		-0,0918 0,0902	0,0839 -0,0857		0,0647 -0,0676	[-] [-]
Vertikale Durchmesseränderung: Horizontale Durchmesseränderung:				$\Delta d_V \ \Delta d_h$		7,41 6,58	mm mm
Relative vertikale Verformung (aus Belastung Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B)	, Тур А):	B):		$\begin{array}{l} \delta_{v,B} \\ \delta_{v,A} \\ \delta_{v,Ges} \end{array}$		2,50 1,00 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)

$\sigma_{R,res} = \frac{ \sigma_{qv,qh,qh^*} \cdot \sigma_R + \sigma_{sonst} \cdot \sigma_{R,L}}{ \sigma_{qv,qh,qh^*} + \sigma_{sonst} }$					(9.01c)
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugsparterforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedrucks	•		erf γ_{RBD}	2,50 2,50	[-] [-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	ft,fl,res fc,rad,res	15,82 15,84	15,83 15,78	15,82 15,84	N/mm² N/mm²
innen					
Korrekturfaktor Krümmung innen:			αki	1,042	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten Spannung aufgrund anderer Lasten Spannung gesamt	σqv,qh,qh* σsonst σ	Scheitel 1,604 0,027 1,631	Kämpfer -2,407 -0,033 -2,439	Sohle 2,149 0,036 2,184	N/mm² N/mm² N/mm²

Sicherheitsbeiwert Biegezug: Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YвZ YвD	9,704	 6,489	7,245 	[-] [-]
außen					
Korrekturfaktor Krümmung außen:			α _{ka}	0,958	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten Spannung aufgrund anderer Lasten Spannung gesamt	σqν,qh,qh* σsonst σ	Scheitel -2,623 -0,024 -2,647	Kämpfer 0,578 0,026 0,604	Sohle -3,212 -0,033 -3,246	N/mm² N/mm² N/mm²
Sicherheitsbeiwert Biegezug: Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBZ YBD	 5,983	26,131 	 4,879	[-] [-]
Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Sp	annungsnachw	eises sind ausre	eichend.		
1.2.6.2 Spannungsnachweis (bei maximalem	Grundwasser)				
$\sigma_{R,res} = \frac{ \sigma_{qv,qh,qh^*} \cdot \sigma_R + \sigma_{sonst} \cdot \sigma_{R,L}}{ \sigma_{qv,qh,qh^*} + \sigma_{sonst} }$					(9.01c)
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugsp Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruck			erf γ_{RBZ} erf γ_{RBD}	2,50 2,50	[-] [-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	ft,fl,res fc,rad,res	15,99 16,04	16,00 15,79	16,05 16,07	N/mm² N/mm²
innen					
Korrekturfaktor Krümmung innen:			α_{ki}	1,042	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten Spannung aufgrund anderer Lasten Spannung gesamt	σ _{qv,qh,qh} * σ _{sonst} σ	Scheitel 1,570 -0,184 1,386	Kämpfer -2,219 -0,243 -2,461	Sohle 2,030 -0,175 1,856	N/mm² N/mm² N/mm²
Sicherheitsbeiwert Biegezug: Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YВZ YBD	11,537 	 6,503	8,648 	[-] [-]
außen					
Korrekturfaktor Krümmung außen:			α _{ka}	0,958	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten Spannung aufgrund anderer Lasten Spannung gesamt	σ _{qv,qh,qh} * σ _{sonst} σ	Scheitel -2,381 -0,211 -2,592	Kämpfer 0,657 -0,161 0,496	Sohle -2,880 -0,220 -3,100	N/mm² N/mm² N/mm²
Sicherheitsbeiwert Biegezug: Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YвZ YвD	 6,190	31,835 	 5,183	[-] [-]
Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Sp	annungsnachw	eises sind ausre	eichend.		
1.2.6.3 Verformungsnachweis (bei minimaler	n Grundwasser	·)			
Rechenmodus: Verhältnis: Verhältnis 'I/(A·rm²)·к~Q':			linear I/(A·rm²) I/(A·rm²)·кQ	0,0013 0,0015	
Verformungsbeiwert für Biegemomente Verformungsbeiwert für Normalkräfte Verformungsbeiwert für Querkräfte	c _V c ^N v c ^Q v	q _v -0,0893 -0,6830 -0,3590	qh 0,0833 -0,6810 0,3350	0,0640 -0,2470 0,2430	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert Resultierender Verformungsbeiwert	c' _v c' _h	-0,0918 0,0902	0,0839 -0,0857	0,0647 -0,0676	

Vertikale Durchmesseränderung: Horizontale Durchmesseränderung:	$\Delta d_V \ \Delta d_h$	10,88 8,45	mm mm
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B): Vorverformung (z.B. aus Fertigung, plastisch, Typ A): Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\begin{array}{l} \delta_{v,B} \\ \delta_{v,A} \\ \delta_{v,Ges} \end{array}$	3,67 1,00 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: Verhältnis: Verhältnis 'I/(A·rm²)·κ~Q':	linear I/(A·rm²) I/(A·rm²)⋅κ _Q	0,00133 0,00159	
Verformungsbeiwert für Normalkräfte c ^N _V -0,	q _h 0893 0,0833 6830 -0,6810 3590 0,3350	-0,2470	[-] [-] [-]
	0,0839 0902 -0,0857		[-] [-]
Vertikale Durchmesseränderung: Horizontale Durchmesseränderung:	$\Delta d_V \ \Delta d_h$	9,14 7,28	mm mm
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B): Vorverformung (z.B. aus Fertigung, plastisch, Typ A): Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\begin{array}{l} \delta_{V,B} \\ \delta_{V,A} \\ \delta_{V,Ges} \end{array}$	3,08 1,00 4,08	% % %
Zulässige Verformung:	zul δ_{V}	6,00	%
Zulässige Verformung: Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.	zul δ _v	6,00	%
Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.		6,00	%
		60.887 2,700 0,0226 0,86 35,000 699,5 90,92	% N/m² N/mm² [-] [-] kN/m² kN/m²
Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung. 1.2.6.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasse Erd- und Verkehrslasten Rohrsteifigkeit: Horizontale Bettungssteifigkeit: Systemsteifigkeit, gewichtet: Abminderungsfaktor Beullast bei Erd-/Verkehrslasten: Reibungswinkel in der Leitungszone: Kritische vertikale Gesamtlast: Vertikale Gesamtlast: Beulsicherheitsbeiwert (vertikale Gesamtlast):	SR SBh VRB,w κν2 φ'2 krit q _v qv	60.887 2,700 0,0226 0,86 35,000 699,5 90,92	N/m² N/mm² [-] [-] kN/m² kN/m²
Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung. 1.2.6.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasse Erd- und Verkehrslasten Rohrsteifigkeit: Horizontale Bettungssteifigkeit: Systemsteifigkeit, gewichtet: Abminderungsfaktor Beullast bei Erd-/Verkehrslasten: Reibungswinkel in der Leitungszone: Kritische vertikale Gesamtlast: Vertikale Gesamtlast: Beulsicherheitsbeiwert (vertikale Gesamtlast): Wasserdruck + Unterdruck Äußerer Wasserdruck:	SR SBh VRB,w Kv2	60.887 2,700 0,0226 0,86 35,000 699,5 90,92 7,69 23,50 0,00 26.814 0,0099 7,92	N/m² N/mm² [-] [-] kN/m² kN/m² [-]

krit pa

γStab,pa

p_{a+l}-

204,330

23,50 8,695 kN/m²

 kN/m^2

[-]

Wasserdruck + Unterdruck im Rohr:

Beulsicherheitsbeiwert Druck:

Kritischer Druck:

Superposition

Sicherheit Stabilität, radial: YStab,rad 4,08 [-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität: erf ystab 2,50 [-]

Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

1.2.6.6 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei minimalem Grundwasser)

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

1.2.6.7 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei maximalem Grundwasser)

Der nichtlineare Stabilitätsnachweis entfällt, da 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 m).

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

Statische Berechnung

Bauvorhaben: A 070 "Juraleitung" Teilabschnitt Katzwang

Beschreibung: Erdverkabelungsabschnitt Wolkersdorf - Katzwang

Abschnitt: Erdkabelgraben, Baustelleneinrichtungsfläche / Baustraße

1

Baufeld: Ost / Katzwang

Auftraggeber: TenneT TSO GmbH

Bernecker Str. 70 95448 Bayreuth

Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel (IGKWT) Moll-prd GmbH & Co. KG Bearbeiter:

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

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°

- Mindestdurchmesser 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 Kabelschuztrohre, 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

G1

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:

1.1.2 **Boden**

Bodengruppe Verfüllung:

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 25,00 N/mm² E4 = 10 · E1: Ja

Anwendung von Silotheorie:

K2 nach Norm:

Nein

Ja

1.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:	h	1,65	m
Minimaler Grundwasserstand über Sohle:	hw, _{min}	0,00	m
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,max}	1,95	m
Auftriebsnachweis führen:	Nein		
Wichte des Bodens:	γв	20,0	kN/m³
Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:	Nein		
Zusätzliche Flächenlast:	p ₀	0,0	kN/m²
Innendruck, kurzzeitig wirkend:	$P_{I,K}$	0,00	bar
Innendruck, langzeitig:	P _{I,L}	0,00	bar
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):	Nein		
Verkehrslast:	Straße SLW 60		
Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:	$\alpha_{qhT,dyn}$	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:	ß	45	0
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:	$\delta_{V,A}$	1,0	%
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,0	%
Auswahl der Eingaben:	Da und s		
Außendurchmesser:	da	280,0	mm
Wandstärke:	S	13,4	mm

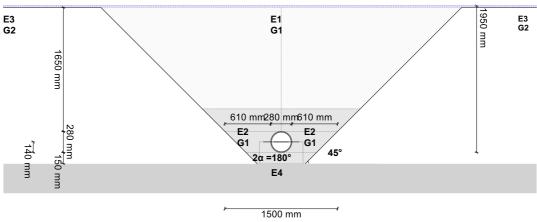
Perforation: Ohne Perforation

1.1.5.1 Thermoplast

Nach ATV / DWA PE-HD Auswahl Material:

Material: Grund der Abminderung: Keine

Verkehrslast: Straße SLW 60



280 mm 940 mm 280 mm

1.2 Ergebnisse

1.2.1 Zwischenergebnisse Rohr				
Innendurchmesser: Außendurchmesser: Mittlerer Radius: Wanddicke: Verhältnis Radius zu Wanddicke: Korrekturfaktor Krümmung innen: Korrekturfaktor Krümmung außen:		d _i da r _m s r _m /s α _{ki} α _{ka}	253,2 280,0 133,30 13,40 9,948 1,034 0,966	mm mm mm [-] [-]
Lokale Vorverformung: Vorverformung (Ovalisierung vor Last):		$\begin{array}{l} \delta_{V,I} \\ \delta_{V,A} \end{array}$	0,00 1,00	% %
Radiale Profilfläche: Trägheitsabstand: Trägheitsmoment: Äußeres Widerstandsmoment: Inneres Widerstandsmoment: Flächenverhältnis:		A _{rad} e I Wa Wi KQ	13,40 6,70 200,51 29,93 29,93 1,2	mm²/mm mm mm^4/mm mm³/mm mm³/mm
1.2.1.1 Materialeigenschaften				
Wichte des Rohrwerkstoffs Querkontraktionszahl Elastizitätsmodul in Ringrichtung	γR v E _{R,rad}	Kurzzeit 9,4 0,38 800,0	Langzeit 9,4 0,38 160,0	kN/m³ [-] N/mm²
Radiale Biegezugfestigkeit Radiale Biegedruckfestigkeit Ringzugfestigkeit	f _{t,fl} f _{c,rad} f _t	21,0 21,0 12,6	14,0 14,0 8,4	N/mm² N/mm² N/mm²
Schwingbreite bei 2·10^6 Lastspielen: Schwingbreite bei 5·10^6 Lastspielen: Schwingbreite bei 1·10^8 Lastspielen:		$\Delta\sigma_{rsk,2E6}$ $\Delta\sigma_{rsk,5E6}$ $\Delta\sigma_{rsk,1E8}$	n. def. n. def. n. def.	N/mm² N/mm² N/mm²
1.2.1.2 Sicherheiten				
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität	erf γ_{RBZ} erf γ_{RBD} erf γ_{Stab}	2,50 2,50 2,50	2,50 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 überprüf	t.			
1.2.2 Zwischenergebnisse bei minimalem Grundwasser				
1.2.2.1 Silotheorie				
Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): Erdlastbeiwert κ0 für Flächenlast (Silotheorie):		κ κ ₀	1,000 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:		hw,scheitel PErd PE P∨ φ	0,00 33,00 33,00 34,39 1,20	m kN/m² kN/m² kN/m² [-]
1.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB				
E-Modul Verfüllung unter Last:		Ε _{1,σ}	16,00	N/mm²

E-Modul anstehender Boden: E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung unter Last: Reduktionsfaktor für das Kriechen: Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):			$E_{3,\sigma}$ $E_{2,\sigma}$ $E_{20,\sigma}$ f_1 $D_{pr,E20}$ f_2 α_B	25,00 16,00 16,00 1,000 0,95 1,000 1,000	N/mm² N/mm² N/mm² [-] [-] [-]
Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser)	>= 4, ergibt die	Formel 6.03 immer de	en Wert 1,0.		
E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Boden unter dem Rohr:			Ε _{2,σ} Ε _{4,σ}	16,00 160,00	N/mm² N/mm²
1.2.2.4 Bodensteifigkeiten					
Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungsste Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit:		die Grabenbreite in K	$\Delta_{ m f}$ ζ (ämpferhöhe einzust SBh SBv	1,667 1,000 tetzen. 9,600 10,419	[-] [-] N/mm² N/mm²
1.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung u	und Reibungs	winkel			
Auflagerwinkel: Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Roh Höhe untere Bettungsschickt UK Rohr bis Gra Berechnete Ausladung: Wirksame Ausladung: Innerer Reibungswinkel: Wandreibungswinkel:	nr:		2α t _r h _{su} a a' φ' δ	180 0,140 0,150 1,54 1,536 30,000 20,000	o m m [-] [-]
		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
1.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteif	<u>igkeit</u>				
Elastizitätsmodul in Ringrichtung Radiale Biegezugfestigkeit Radiale Biegedruckfestigkeit	E _{R,rad} f _{t,fl} f _{c,rad}	800,0 21,0 21,0	486,6 17,6 17,6	160,0 14,0 14,0	N/mm² N/mm² N/mm²
Rohrsteifigkeit	SR	67.722	41.191	13.544	N/m²
1.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse					
Systemsteifigkeit, gewichtet Steifigkeitsverhältnis Beiwert für die vertikale Verformung	V _{RB,w} V _S c _v *	0,0071 0,5590 -0,012	0,0043 0,4498 -0,009	0,0014 	[-] [-] [-]
<u>1.2.2.8 Beiwerte</u>					
Erdruckbeiwert (Einbettung) Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck Resultierender Verformungsbeiwert Resultierender Verformungsbeiwert Beiwert für die vertikale Verformung	K2 K* c'h c'h,qh* c _V *	0,400 1,135 0,0839 -0,0669 -0,012	0,400 1,179 0,0839 -0,0669 -0,009	 	[-] [-] [-] [-]
1.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λR und λB					
Maximaler Konzentrationsfaktor Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	max λ K' λ _R λ _{RG}	2,059 0,839 0,874 0,874	2,059 0,784 0,788 0,788	 	[-] [-] [-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer	λ_{fo}	3,753	3,753		[-]
Grenzwert					

Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert Konzentrationsfaktor Boden λB 1.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang Vertikale Gesamtlast qv Seitendruck qh Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten) q*h Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung) q*hw 1.2.3 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser 1.2.3.1 Silotheorie Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): 1.2.3.2 Belastung Grundwasserstand über Scheitel: Wichte Verfüllung unter Wasser: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast: Spannung aufgrund Verkehrslast: Enthaltener Stoßfaktor: 1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB E-Modul Verfüllung unter Last: E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung unter Last: Reduktionsfaktor für das Kriechen: Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Foton der Steiner Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: -Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Boden unter dem Rohr: 1.2.3.4 Bodensteifigkeiten Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe di Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit: 1.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungsw	0,874 1,042 Kurzzeit alle Lasten 63,22 14,88 54,68 0,00	0,788 1,071 Langzeit Erdlasten Verkehrslast 60,38 15,25 53,01 0,00 K K0 hw,Scheitel Y' PErd PE PV \$\phi\$	Langzeit sonstige Lasten 1,000 1,000 1,65 11,00 18,15 18,15 34,39 1,20	[-] kN/m² kN/m² kN/m² kN/m² [-] [-] m kN/m³ kN/m² kN/m² kN/m²
Konzentrationsfaktor Boden 1.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang Vertikale Gesamtlast Seitendruck Seitendruck Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten) Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung) 1.2.3 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser 1.2.3.1 Silotheorie Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): 1.2.3.2 Belastung Grundwasserstand über Scheitel: Wichte Verfüllung unter Wasser: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast: Spannung aufgrund Verkehrslast: Enthaltener Stoßfaktor: 1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB E-Modul Verfüllung unter Last: E-Modul Binbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung (at as Kriechen: Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Foten in Scheitelhöhe die Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe die Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit:	Kurzzeit alle Lasten 63,22 14,88 54,68	Langzeit Erdlasten Verkehrslast 60,38 15,25 53,01 0,00 K K K0 hW,Scheitel Y' PErd PE PV \$\psi\$	Langzeit sonstige Lasten 1,000 1,000 1,65 11,00 18,15 18,15 34,39	kN/m² kN/m² kN/m² kN/m² [-] [-] m kN/m³ kN/m² kN/m² kN/m²
Vertikale Gesamtlast Seitendruck Seitendruck Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten) Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung) 1.2.3 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser 1.2.3.1 Silotheorie Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): 1.2.3.2 Belastung Grundwasserstand über Scheitel: Wichte Verfüllung unter Wasser: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast: Spannung aufgrund Verkehrslast: Enthaltener Stoßfaktor: 1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB E-Modul Verfüllung unter Last: E-Modul Binbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung unter Last: Reduktionsfaktor für das Kriechen: Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Foten in der Stein sich iher anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe die Horizontale Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe die Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit:	63,22 14,88 54,68	Erdlasten Verkehrslast 60,38 15,25 53,01 0,00 K K K0 hw,scheitel Y' PErd PE PV \$\phi\$	sonstige Lasten 1,000 1,000 1,65 11,00 18,15 18,15 34,39	kN/m² kN/m² kN/m²
Seitendruck Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten) Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung) 1.2.3 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser 1.2.3.1 Silotheorie Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): Erdlastbeiwert κ für Flächenlast (Silotheorie): I.2.3.2 Belastung Grundwasserstand über Scheitel: Wichte Verfüllung unter Wasser: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast: Spannung aufgrund Verkehrslast: Enthaltener Stoßfaktor: 1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB E-Modul Verfüllung unter Last: E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung unter Last: Reduktionsfaktor für das Kriechen: Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Foten im Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Foten im Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Foten im Verhältnis (Breite Graben/Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe di Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit:	63,22 14,88 54,68	Erdlasten Verkehrslast 60,38 15,25 53,01 0,00 K K K0 hw,scheitel Y' PErd PE PV \$\phi\$	sonstige Lasten 1,000 1,000 1,65 11,00 18,15 18,15 34,39	kN/m² kN/m² kN/m²
Seitendruck Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten) Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung) 1.2.3 Zwischenergebnisse bei maximalem Grundwasser 1.2.3.1 Silotheorie Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): Erdlastbeiwert κ für Flächenlast (Silotheorie): I.2.3.2 Belastung Grundwasserstand über Scheitel: Wichte Verfüllung unter Wasser: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast: Spannung aufgrund Verkehrslast: Enthaltener Stoßfaktor: 1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB E-Modul Verfüllung unter Last: E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung unter Last: Reduktionsfaktor für das Kriechen: Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Foten im Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Foten im Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Foten im Verhältnis (Breite Graben/Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe di Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit:	14,88 54,68	15,25 53,01 0,00 κ κ κο hw,scheitel γ' PErd PE PV φ	1,000 1,000 1,000 1,65 11,00 18,15 18,15 34,39	kN/m² kN/m² kN/m²
1.2.3.1 Silotheorie Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): Erdlastbeiwert κ0 für Flächenlast (Silotheorie): 1.2.3.2 Belastung Grundwasserstand über Scheitel: Wichte Verfüllung unter Wasser: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast: Spannung aufgrund Verkehrslast: Enthaltener Stoßfaktor: 1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB E-Modul Verfüllung unter Last: E-Modul Sinbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung unter Last: Reduktionsfaktor für das Kriechen: Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Foten E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Boden unter dem Rohr: 1.2.3.4 Bodensteifigkeiten Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit:		k0 hw,scheitel γ' PErd PE P∨ φ	1,000 1,65 11,00 18,15 18,15 34,39	m kN/m³ kN/m² kN/m² kN/m²
Erdlastbeiwert x für Grabenlast (Silotheorie): Erdlastbeiwert x0 für Flächenlast (Silotheorie): 1.2.3.2 Belastung Grundwasserstand über Scheitel: Wichte Verfüllung unter Wasser: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast: Spannung aufgrund Verkehrslast: Enthaltener Stoßfaktor: 1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB E-Modul Verfüllung unter Last: E-Modul anstehender Boden: E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung unter Last: Reduktionsfaktor für das Kriechen: Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Foten Fermannen von den kohr: 1.2.3.4 Bodensteifigkeiten Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe di Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit:		k0 hw,scheitel γ' PErd PE P∨ φ	1,000 1,65 11,00 18,15 18,15 34,39	m kN/m³ kN/m² kN/m² kN/m²
Erdlastbeiwert k0 für Flächenlast (Silotheorie): 1.2.3.2 Belastung Grundwasserstand über Scheitel: Wichte Verfüllung unter Wasser: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast: Spannung aufgrund Verkehrslast: Enthaltener Stoßfaktor: 1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB E-Modul Verfüllung unter Last: E-Modul anstehender Boden: E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung unter Last: Reduktionsfaktor für das Kriechen: Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Foten Fellower verhältnis (Breite Graben): E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Boden unter dem Rohr: 1.2.3.4 Bodensteifigkeiten Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe di Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit:		k0 hw,scheitel γ' PErd PE P∨ φ	1,000 1,65 11,00 18,15 18,15 34,39	m kN/m³ kN/m² kN/m² kN/m²
Grundwasserstand über Scheitel: Wichte Verfüllung unter Wasser: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast: Spannung aufgrund Verkehrslast: Enthaltener Stoßfaktor: 1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB E-Modul Verfüllung unter Last: E-Modul anstehender Boden: E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung unter Last: Reduktionsfaktor für das Kriechen: Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Breite) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben/Breite) >= 4, ergibt d		Y' PErd PE PV φ	11,00 18,15 18,15 34,39	kN/m³ kN/m² kN/m² kN/m²
Wichte Verfüllung unter Wasser: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast: Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast: Spannung aufgrund Verkehrslast: Enthaltener Stoßfaktor: 1.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB E-Modul Verfüllung unter Last: E-Modul anstehender Boden: E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung unter Last: Reduktionsfaktor für das Kriechen: Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (Breite Graben): 1.2.3.4 Bodensteifigkeiten Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe di Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit:		Y' PErd PE PV φ	11,00 18,15 18,15 34,39	kN/m³ kN/m² kN/m² kN/m²
E-Modul Verfüllung unter Last: E-Modul anstehender Boden: E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung unter Last: Reduktionsfaktor für das Kriechen: Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Follower bei einem Verhältnis (abgemindert): E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Boden unter dem Rohr: 1.2.3.4 Bodensteifigkeiten Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe di Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit: 1.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswerten.		,		
E-Modul anstehender Boden: E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Einbettung unter Last: Reduktionsfaktor für das Kriechen: Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): Bei einem Verhältnis (Breite Graben/Außendurchmesser) >= 4, ergibt die Folgen einem Verhältnis (abgemindert): E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Boden unter dem Rohr: 1.2.3.4 Bodensteifigkeiten Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe die Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit: 1.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungsweiten der Grabenbreite in Scheitelnessen.		,		
E-Modul Einbettung (abgemindert): E-Modul Boden unter dem Rohr: 1.2.3.4 Bodensteifigkeiten Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe di Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit: 1.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungsweiten.		$\begin{array}{l} E_{3,\sigma} \\ E_{2,\sigma} \\ E_{20,\sigma} \\ f_1 \\ D_{pr,E20} \\ f_2 \\ \alpha_B \end{array}$	16,00 25,00 16,00 16,00 1,000 0,95 1,000 1,000	N/mm² N/mm² N/mm² N/mm² [-] [-] [-]
E-Modul Boden unter dem Rohr: 1.2.3.4 Bodensteifigkeiten Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe di Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit: 1.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungsweiten wirksame Ausladung und Reibungsweiten der Rohren von der Roh	rmel 6.03 immer de	en Wert 1,0.		
Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe di Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit: 1.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungsweiten wirksame Ausladung und Reibungsweiten die Korrektungssteifigkeit:		E _{2,σ} E _{4,σ}	16,00 160,00	N/mm² N/mm²
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: Bei geböschten Gräben ist hier anstelle der Grabenbreite in Scheitelhöhe di Horizontale Bettungssteifigkeit: Vertikale Bettungssteifigkeit: 1.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungsweiten wirksame Ausladung und Reibungsweiten der Grabenbreite in Scheitelhöhe di Horizontale Bettungssteifigkeit:				
	e Grabenbreite in K	$\Delta_{ m f}$ ζ (ämpferhöhe einzuste SBh SBv	1,667 1,000 tzen. 9,600 10,419	[-] [-] N/mm² N/mm²
Auflagerwinkel:				
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr: Höhe untere Bettungsschickt UK Rohr bis Grabensohle: Berechnete Ausladung: Wirksame Ausladung: Innerer Reibungswinkel: Wandreibungswinkel:	nkel	2α t _r	180 0,140 0.150	。 m m [-]
	<u>nkel</u>	h _{su} a a' φ' δ	0,150 1,54 1,536 30,000 20,000	[-]

1.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifi	gkeit				
Elastizitätsmodul in Ringrichtung Radiale Biegezugfestigkeit Radiale Biegedruckfestigkeit	ER,rad f _{t,fl} f _{c,rad}	800,0 21,0 21,0	578,9 18,6 18,6	160,0 14,0 14,0	N/mm² N/mm² N/mm²
Rohrsteifigkeit	S _R	67.722	49.006	13.544	N/m²
1.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse					
Systemsteifigkeit, gewichtet Steifigkeitsverhältnis Beiwert für die vertikale Verformung	V _{RB,w} V _S c _v *	0,0071 0,5590 -0,012	0,0051 0,4875 -0,010	0,0014 	[-] [-] [-]
<u>1.2.3.8 Beiwerte</u>					
Erdruckbeiwert (Einbettung) Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck Resultierender Verformungsbeiwert Resultierender Verformungsbeiwert Beiwert für die vertikale Verformung	K ₂ K* c'h c'h,qh* c _v *	0,400 1,135 0,0839 -0,0669 -0,012	0,400 1,165 0,0839 -0,0669 -0,010	 	[-] [-] [-] [-]
1.2.3.9 Konzentrationsfaktoren λR und λB					
Maximaler Konzentrationsfaktor Beiwert für maximalen Konzentrationsfaktor Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss	max λ K' λR λ _{RG}	2,059 0,839 0,874 0,874	2,059 0,804 0,819 0,819	 	[-] [-] [-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer	λ_{fo}	3,753	3,753		[-]
Grenzwert Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert	λ_{fu}	0,284	0,284		[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert	λ_{RG}	0,874	0,819		[-]
Konzentrationsfaktor Boden	λΒ	1,042	1,060		[-]
1.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang					
		Kurzzeit alle Lasten	Langzeit Erdlasten Verkehrslast	Langzeit sonstige Lasten	
Vertikale Gesamtlast Seitendruck Bettungsreaktionsdruck (Erdlasten) Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung)	qv qh q*h q*hw	50,24 8,18 47,63 0,00	49,25 8,31 47,61 0,00	 	kN/m² kN/m² kN/m² kN/m²
1.2.4 Schnittkräfte					
1.2.4.1 Schnittkräfte bei minimalem Grundwas	ser, Kurzzeit				
Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):		0-111	r	1,000	[-]
Mittlerer Radius	rm	Scheitel 133,30	Kämpfer 133,30	Sohle 133,30	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung Moment aufgrund Seitendruck Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M _{qv} M _{qh} M* _{qh}	0,281 -0,066 -0,176	-0,281 0,066 0,202	0,281 -0,066 -0,176	kNm/m kNm/m kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht Moment aufgrund Wasserfüllung	M _g M _w	0,001 0,000	-0,001 0,000	0,001 0,000	kNm/m kNm/m
Moment aufgrund Wasserdung Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M _{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Summe der Momente	ΣΜ	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 Sesamtbelastung	N_{qv}	0,000	-8,427	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-1,983	0,000	-1,983	kN/m
	N* _{qh}	-4,205	0,000	-4,205	kN/m
Bettungsreaktionsdruck Iormalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,003	-0,026	-0,003	kN/m
	N _w	0,003	0,000	0,003	kN/m
Jormalkraft aufgrund WasserdrucklInnendruck		0,000	0,000	0,000	kN/m
	ΣΝ	-6,186	-8,453	-6,191	kN/m
.2.4.2 Schnittkräfte bei minimalem Grundwasse	er, Langzeit				
Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			r	1,000	[-]
3 (3 /		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
littlerer Radius	r_{m}	133,30	133,30	133,30	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	0,268	-0,268	0,268	kNm/m
Noment aufgrund Seitendruck	Mqh	-0,068	0,068	-0,068	kNm/m
	M* _{qh}	-0,170	0,196	-0,170	kNm/m
Bettungsreaktionsdruck //oment aufgrund Eigengewicht	M	0,001	-0,001	0,001	kNm/m
	M_g M_w	0,000	0,000	0,001	kNm/m
	M _{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
	ΣΜ	0,031	-0,005	0,031	kNm/m
diffille del Montente	ZIVI	0,031	-0,003	0,031	KINIII/III
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
/littlerer Radius	r_{m}	133,30	133,30	133,30	mm
lormalkraft aufgrund vertikaler	N_{qv}	0,000	-8,049	0,000	kN/m
Gesamtbelastung		0,000	0,010	0,000	
	N_{qh}	-2,033	0,000	-2,033	kN/m
	N* _{qh}	-4,077	0,000	-4,077	kN/m
Settungsreaktionsdruck	NI	0.003	0.026	0.003	kN/m
	Ng Nw	0,003 0,000	-0,026 0,000	-0,003 0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdrucklinnendruck		0,000	0,000	0,000	kN/m
	ΣΝ	-6,108	-8,076	-6,113	kN/m
		3,.00	3,0.0	3,	
I.2.4.3 Schnittkräfte bei maximalem Grundwass	oci, Muizzell		_	4 000	
Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):		Scheitel	r Kämpfer	1,000 Sohle	[-]
∕littlerer Radius	r _m	133,30	133,30	5onie 133,30	mm
	Mgv	0,223	-0,223	0,223	kNm/m
	M _{qh}	-0,036	0,036	-0,036	kNm/m
	M* _{qh}	-0,153	0,176	-0,153	kNm/m
Bettungsreaktionsdruck	di.			-, -,	
	M_g	0,001	-0,001	0,001	kNm/m
	Mw	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	ΣΜ	0,034	-0,012	0,034	kNm/m
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Aittlewen Dedice	rm	133,30	133,30	133,30	mm
viittierer Radius					
	Nav	0.000	-6.697	0.000	kN/m
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv} N_{qh}	0,000 -1,091	-6,697 0,000	0,000 -1,091	kN/m kN/m

Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	N* _{qh}	-3,663	0,000	-3,663	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	Ng	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	ΣΝ	-7,481	-9,454	-7,487	kN/m
1.2.4.4 Schnittkräfte bei maximalem Grundwas	sser, 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	Mgh	-0,037	0,037	-0,037	kNm/m
Moment aufgrund horiz.	M* _{qh}	-0,153	0,176	-0,153	kNm/m
Bettungsreaktionsdruck	·				
Moment aufgrund Eigengewicht	Mg	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	ΣΜ	0,029	-0,007	0,029	kNm/m
			1611		
APOL D. P.		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.	N* ⁱ qh	-3,662	0,000	-3,662	kN/m
Bettungsreaktionsdruck					
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	Ng	0,003	-0,026	-0,003	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	Nw	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	ΣΝ	-7,497	-9,322	-7,503	kN/m
1.2.5 Nachweise Kurzzeit					
1.2.5.1 Spannungsnachweis (bei minimalem C	Grundwasser)				
$\sigma_{R,res} = \frac{ \sigma_{qv,qh,qh^*} \cdot \overline{\sigma}_{R} + \sigma_{sonst} \cdot \sigma_{R,L}}{ \sigma_{qv,qh,qh^*} + \sigma_{sonst} }$					(9.01c)
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspa Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedrucks			erf γ _{RBZ} erf γ _{RBD}	2,50 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
innon	, ,	-	•	•	

Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruck	spannungen:		erf γ _{RBD}	2,50	[-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\begin{array}{c} f_{t,fl,res} \\ f_{c,rad,res} \end{array}$	21,00 21,00	21,00 21,00	21,00 21,00	N/mm² N/mm²
innen					
Korrekturfaktor Krümmung innen:			α_{ki}	1,034	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten Spannung aufgrund anderer Lasten Spannung gesamt Sicherheitsbeiwert Biegezug:	σ _{qv,qh,qh*} σ _{sonst} σ	Scheitel 0,881 0,027 0,908 23,126	Kämpfer -1,066 -0,032 -1,098	Sohle 0,881 0,034 0,915 22,949	N/mm² N/mm² N/mm²
Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γBD		19,120		[-]
außen					

Korrekturfaktor Krümmung außen:

0,966 [-]

 α_{ka}

Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten Spannung aufgrund anderer Lasten Spannung gesamt	σqv,qh,qh* σsonst σ	Scheitel -1,718 -0,025 -1,742	Kämpfer -0,220 0,026 -0,194	Sohle -1,718 -0,032 -1,750	N/mm² N/mm² N/mm²				
Sicherheitsbeiwert Biegezug: Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBZ YBD	 12,052	 108,434	 12,001	[-] [-]				
Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Sp	annungsnachwe	eises sind ausre	eichend.						
1.2.5.2 Spannungsnachweis (bei maximalem	1.2.5.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)								
$\sigma_{R,res} = \frac{ \sigma_{qv,qh,qh^*} \cdot \overline{\sigma}_R + \sigma_{sonst} \cdot \sigma_{R,L}}{ \sigma_{qv,qh,qh^*} + \sigma_{sonst} }$					(9.01c)				
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspreforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruck			erf γ_{RBZ} erf γ_{RBD}	2,50 2,50	[-] [-]				
Anzusetzende Biegezugfestigkeit Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	f _{t,fl,res} f _{c,rad,res}	21,00 21,00	21,00 21,00	21,00 21,00	N/mm² N/mm²				
innen									
Korrekturfaktor Krümmung innen:			αki	1,034	[-]				
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten Spannung aufgrund anderer Lasten Spannung gesamt	σqv,qh,qh* σsonst σ	Scheitel 0,808 -0,187 0,621	Kämpfer -0,873 -0,246 -1,119	Sohle 0,808 -0,180 0,628	N/mm² N/mm² N/mm²				
Sicherheitsbeiwert Biegezug: Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBZ YBD	33,831 	 18,763	33,454 	[-] [-]				
außen									
Korrekturfaktor Krümmung außen:			α _{ka}	0,966	[-]				
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten Spannung aufgrund anderer Lasten Spannung gesamt	σ _{qv,qh,qh} * σ _{sonst} σ	Scheitel -1,442 -0,219 -1,661	Kämpfer -0,151 -0,168 -0,319	Sohle -1,442 -0,226 -1,668	N/mm² N/mm² N/mm²				
Sicherheitsbeiwert Biegezug: Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γBZ γBD	 12,644	 65,904	 12,588	[-] [-]				
Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Sp	annungsnachwe	eises sind ausre	eichend.						
1.2.5.3 Verformungsnachweis (bei minimaler	m Grundwasser)							
Rechenmodus: Verhältnis: Verhältnis 'I/(A·rm²)·κ~Q':			linear I/(A·rm²) I/(A·rm²)·kQ	0,00084 0,0010					
Verformungsbeiwert für Biegemomente Verformungsbeiwert für Normalkräfte Verformungsbeiwert für Querkräfte	c _V c ^N v c ^Q v	qv -0,0833 -0,6480 -0,3350	qh 0,0833 -0,6810 0,3350	qh* 0,0640 -0,2470 0,2430	[-] [-] [-]				
Resultierender Verformungsbeiwert Resultierender Verformungsbeiwert	C' _V C'h	-0,0848 0,0839	0,0837 -0,0848	0,0645 -0,0669	[-] [-]				
Vertikale Durchmesseränderung: Horizontale Durchmesseränderung:			$\Delta d_V \ \Delta d_h$	2,32 1,52	mm mm				

 $\delta_{V,B}$

 $\delta_{V,A}$

 $\delta_{v,\text{Ges}}$

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B): Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A): Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):

%

% %

0,87

1,00

1,87

Zulässige Verformung:			zul δ_{V}		6,00	%	
Die errechnete Verformung ist kleiner als die	zulässige Verform	ung.					
1.2.5.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)							
Rechenmodus: Verhältnis: Verhältnis 'I/(A·rm²)·κ~Q':			linear I/(A·rm²) I/(A·rm²)⋅κ _Q		0,00084 0,00101		
Verformungsbeiwert für Biegemomente Verformungsbeiwert für Normalkräfte Verformungsbeiwert für Querkräfte	$\begin{matrix} c_v \\ c^N_v \\ c^Q_v \end{matrix}$	-0,0833 -0,6480 -0,3350	qh 0,0833 -0,6810 0,3350	qh*	0,0640 -0,2470 0,2430	[-] [-] [-]	
Resultierender Verformungsbeiwert Resultierender Verformungsbeiwert	c' _v c' _h	-0,0848 0,0839	0,0837 -0,0848		0,0645 -0,0669	[-] [-]	
Vertikale Durchmesseränderung: Horizontale Durchmesseränderung:			$\Delta d_V \ \Delta d_h$		1,99 1,32	mm mm	
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B): Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A): Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):			$\begin{array}{l} \delta_{V,B} \\ \delta_{V,A} \\ \delta_{V,Ges} \end{array}$		0,74 1,00 1,74	% % %	
Zulässige Verformung:			$zul\;\delta_{v}$		6,00	%	
Die errechnete Verformung ist kleiner als die	zulässige Verformi	ung.					

1.2.6 Nachweise Langzeit

1.2.6.1 Spannungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

$\sigma_{R,res} = \frac{ \sigma_{qv,qh,qh^*} \cdot \overline{\sigma}_{R} + \sigma_{sonst} \cdot \sigma_{R,L}}{ \sigma_{qv,qh,qh^*} + \sigma_{sonst} }$					(9.01c)	
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugspannungen: Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruckspannungen:			erf γ_{RBZ} erf γ_{RBD}	2,50 2,50	[-] [-]	
Anzusetzende Biegezugfestigkeit Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$\begin{array}{l} f_{t,fl,res} \\ f_{c,rad,res} \end{array}$	17,41 17,51	17,43 17,38	17,37 17,49	N/mm² N/mm²	
innen						
Korrekturfaktor Krümmung innen:			α_{ki}	1,034	[-]	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten Spannung aufgrund anderer Lasten Spannung gesamt	σ _{qv,qh,qh*} σ _{sonst} σ	Scheitel 0,580 0,027 0,607	Kämpfer -0,758 -0,032 -0,790	Sohle 0,580 0,034 0,614	N/mm² N/mm² N/mm²	
Sicherheitsbeiwert Biegezug: Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γBZ γBD	28,711 	 22,047	28,320 	[-] [-]	
außen						
Korrekturfaktor Krümmung außen:			α _{ka}	0,966	[-]	
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten Spannung aufgrund anderer Lasten Spannung gesamt	σqv,qh,qh* σsonst σ	Scheitel -1,425 -0,025 -1,449	Kämpfer -0,454 0,026 -0,427	Sohle -1,425 -0,032 -1,457	N/mm² N/mm² N/mm²	
Sicherheitsbeiwert Biegezug: Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	YBZ YBD	12,083	 40,683	 12,010	[-] [-]	
Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.						

1.2.6.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

$\sigma_{\text{R,res}} = \frac{ \sigma_{\text{qv,qh,qh*}} \cdot \bar{\sigma}_{\text{R}} + \sigma_{\text{sonst}} \cdot \sigma_{\text{R,L}}}{ \sigma_{\text{qv,qh,qh*}} + \sigma_{\text{sonst}} }$					(9.01c)
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegezugsp Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Biegedruck			erf γRBZ erf γRBD	2,50 2,50	[-] [-]
Anzusetzende Biegezugfestigkeit Anzusetzende Biegedruckfestigkeit	$f_{t,fl,res} \\ f_{c,rad,res}$	17,54 17,91	17,38 16,94	17,57 17,89	N/mm² N/mm²
innen					
Korrekturfaktor Krümmung innen:			αki	1,034	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten Spannung aufgrund anderer Lasten Spannung gesamt	σ_{qv,qh,qh^*} σ_{sonst} σ	Scheitel 0,636 -0,187 0,450	Kämpfer -0,694 -0,246 -0,940	Sohle 0,636 -0,180 0,457	N/mm² N/mm² N/mm²
Sicherheitsbeiwert Biegezug: Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γBZ γBD	39,019 	 18,496	38,487 	[-] [-]
außen					
Korrekturfaktor Krümmung außen:			α_{ka}	0,966	[-]
Spannung aufgrund Erd- u. Verkehrslasten Spannung aufgrund anderer Lasten Spannung gesamt	σ _{qv,qh,qh*} σ _{sonst} σ	Scheitel -1,284 -0,219 -1,503	Kämpfer -0,299 -0,168 -0,467	Sohle -1,284 -0,226 -1,510	N/mm² N/mm² N/mm²
Sicherheitsbeiwert Biegezug: Sicherheitsbeiwert Biegedruck:	γBZ γBD	 11,918	 36,237	 11,847	[-] [-]
Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Sp	annungsnachw	eises sind ausre	eichend.		
1.2.6.3 Verformungsnachweis (bei minimaler	m Grundwasse	r)			
Rechenmodus: Verhältnis: Verhältnis 'I/(A·rm²)·ĸ~Q':		•	linear I/(A·rm²) I/(A·rm²)·ĸ _Q	0,0008- 0,0010	
Verformungsbeiwert für Biegemomente Verformungsbeiwert für Normalkräfte Verformungsbeiwert für Querkräfte	c _v c ^N v c ^Q v	q _v -0,0833 -0,6480 -0,3350	qh 0,0833 -0,6810 0,3350	qh* 0,0640 -0,2470 0,2430	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert	c' _V	-0,0848	0,0837	0,0645	[-]

0,0839

-0,0848

 Δd_{V}

 Δd_h

 $\delta_{V,B}$

 $\delta_{V,A}$

 $\delta_{v,\text{Ges}}$

zul δ_{V}

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B):

Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Typ A):

Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):

1.2.6.4 Verformungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

C'h

Resultierender Verformungsbeiwert

Horizontale Durchmesseränderung:

Vertikale Durchmesseränderung:

Zulässige Verformung:

-0,0669 [-]

mm

mm

%

%

%

%

2,75

1,47

1,03

1,00

2,03

6,00

Verhältnis 'I/(A·rm²)⋅κ~Q':			$I/(A \cdot rm^2) \cdot \kappa_Q$		0,00101	[-]
Verformungsbeiwert für Biegemomente Verformungsbeiwert für Normalkräfte Verformungsbeiwert für Querkräfte	$\begin{matrix} c_v \\ c^N_v \\ c^Q_v \end{matrix}$	-0,0833 -0,6480 -0,3350	qh 0,0833 -0,6810 0,3350	q _h *	0,0640 -0,2470 0,2430	[-] [-] [-]
Resultierender Verformungsbeiwert Resultierender Verformungsbeiwert	C'v C'h	-0,0848 0,0839	0,0837 -0,0848		0,0645 -0,0669	[-] [-]
Vertikale Durchmesseränderung: Horizontale Durchmesseränderung:			$\Delta d_V \ \Delta d_h$		2,23 1,32	mm mm
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, Vorverformung (z. B. aus Fertigung, plastisch, Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):			$\begin{array}{l} \delta_{v,B} \\ \delta_{v,A} \\ \delta_{v,Ges} \end{array}$		0,84 1,00 1,84	% % %
Zulässige Verformung:			zul δ_{v}		6,00	%
D: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1						

Die errechnete Verformung ist kleiner als die zulässige Verformung.

1.2.6.5 Nachweis Stabilität radial, linear (bei maximalem Grundwasser)

Erd- und Verkehrslasten Rohrsteifigkeit: Horizontale Bettungssteifigkeit: Systemsteifigkeit, gewichtet: Abminderungsfaktor Beullast bei Erd-/Verkehrslasten: Reibungswinkel in der Leitungszone: Kritische vertikale Gesamtlast: Vertikale Gesamtlast: Beulsicherheitsbeiwert (vertikale Gesamtlast):	S̄ _R S _{Bh} V _{RB,w} κ _{v2} φ'2 krit q _v q _v Y _{qv}	49.006 9,600 0,0051 0,87 35,000 1.197,3 49,25 24,31	N/m² N/mm² [-] [-] kN/m² kN/m²
Wasserdruck + Unterdruck Äußerer Wasserdruck: Unterdruck im Rohr:	pa pı-	19,50 0,00	kN/m² kN/m²
Rohrsteifigkeit: Systemsteifigkeit: Mittlerer Radius zu Wanddicke: Abminderungsfaktor aufgrund lokaler Vorverformung für Durchschlaglast bei äußerem Wasserdruck:	S _R V _{RB} r _m /s _{Ka1,pa}	13.544 0,0014 9,95 1,00	N/m² [-] [-]
Relative vertikale Verformung (aus Belastung, elastisch, Typ B): Vorverformung Gesamt: Abminderungsfaktor: Abminderungsfaktor: Durchschlagsbeiwert:	δv,B δv Ka2,pa Ka,pa αD,pa	0,84 0,84 0,95 0,95 14,511	% % [-] [-]
Kritischer Druck: Wasserdruck + Unterdruck im Rohr: Beulsicherheitsbeiwert Druck:	krit p _a pa+l- γStab,pa	186,019 19,50 9,539	kN/m² kN/m² [-]
Superposition Sicherheit Stabilität, radial: Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität:	γStab,rad erf γstab	6,85 2,50	[-] [-]

Der Stabilitätsnachweis ist erbracht.

1.2.6.6 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei minimalem Grundwasser)

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

1.2.6.7 Stabilitätsnachweis, nichtlinear (bei maximalem Grundwasser)

Der nichtlineare Stabilitätsnachweis entfällt, da 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 m).

Alle notwendigen Nachweise sind erbracht.

Statische Berechnung

Bauvorhaben: A 070 "Juraleitung" Teilabschnitt Katzwang

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

Auftraggeber: TenneT TSO GmbH

Bernecker Str. 70 95448 Bayreuth

Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel (IGKWT) Moll-prd GmbH & Co. KG Bearbeiter:

Weststraße 2

57392 Schmallenberg

Dipl.-Ing. (FH) Philipp Dick

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

Datum: 22.01.2025

1

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 Kabelschuztrohre, 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.

.la

Der Einbau erfolgt auf kompletter Länge im Abschnitt Wolkersdorf.

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

ATV DVANK A 127/2000 (nach

Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:

ATV-DVWK-A 127:2000 (nach Rechenwert)

Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:

1.1.2 **Boden**

Bodengruppe Verfüllung: G1

Berechnung E1: Tabelle 8 (A127)

Bodengruppe Einbettung: G1

Berechnung E20: Tabelle 8 (A127)

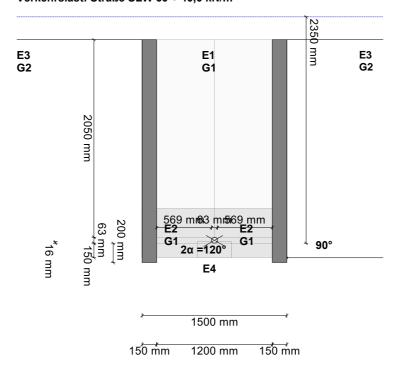
Bodengruppe anstehender Boden: G2
Berechnung E3: E-Modul

E-Modul E3: E3 25,00 N/mm²

E4 = 10 · E1: Ja Anwendung von Silotheorie: Nein

K2 nach Norm:	Ja		
1.1.3 Belastung			
Überdeckungshöhe: Minimaler Grundwasserstand über Sohle: Maximaler Grundwasserstand über Sohle: Auftriebsnachweis führen:	h hw _{,min} hw _{,max} Nein	2,05 0,00 2,35	m m m
Wichte des Bodens: Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:	γ _B Nein	20,0	kN/m³
Zusätzliche Flächenlast: Zusätzliche Flächenlast ist Dammschüttung:	p ₀ Nein	40,0	kN/m²
Innendruck, kurzzeitig wirkend: Innendruck, langzeitig: Wasserfüllung (z.B. Staukanal): Verkehrslast:	PI,K PI,L Nein Straße SLW 60	0,00	bar bar
Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:	αqhT,dyn	0,00	%
1.1.4 Einbau Einbauweise: Grabenbreite in Scheitelhöhe:	Graben b	1,50	m
Mindestgrabenbreite prüfen: Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln: Böschungswinkel: Überschüttungsbedingung:	Nein Ja ß A2	90	0
Einbettungsbedingung: Berücksichtigung der Unterrammung nach Bericht der ATV-AG 1.5.5.: Tiefe der Unterrammung: Beiwert kS automatisch ermitteln:	B2 Ja t _s Ja	0,20	m
Dicke des Verbaus (einseitig): Auflagerart: Auflagerwinkel:	bs Lose 120°	0,15	m
Relative Ausladung automatisch ermitteln: Untere Sockelhöhe vorgeben: Höhe des unteren Teils des Sockels:	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:	Thermoplast $\delta_{v,A}$ $\delta_{v,I}$ Da und s	1,0 0,0	% %
Außendurchmesser: Wandstärke:	d _a s	63,0 5,8	mm mm
Perforation:	Ohne Perforation	l	
1.1.5.1 Thermoplast			
Auswahl Material: Material: Grund der Abminderung: Temperatureinfluss:	Nach ATV / DWA PE-HD Temperatur 20 > A=1,00	Λ.	

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	
γ	-3,251	4,315	-3,006	[-]
Υ	3,068	-2,584	2,873	[-]
kbeanspruchungen sind	durch ein nega	atives Vorzeiche	n gekennzeic	hnet)
ezugspannungen:		erf γ _{RBZ}	2,50	[-]
edruckspannungen:		erf γ _{RBD}	2,50	[-]
	ezugspannungen:	γ -3,251 γ 3,068 kbeanspruchungen sind durch ein nega ezugspannungen:	γ -3,251 4,315 γ 3,068 -2,584 kbeanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeiche ezugspannungen: erf γ _{RBZ}	γ -3,251 4,315 -3,006 γ 3,068 -2,584 2,873 kbeanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeichen gekennzeic ezugspannungen: erf γRBZ 2,50

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.2.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Sicherheitsbeiwert außen	γ	-3,966	5,543	-3,675	[-]
Sicherheitsbeiwert innen	Υ	3,924	-3,156	3,670	[-]
(Sicherheitsbeiwerte gegen Biegedruckbeanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeichen gekennzeic				hnet)	
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Bieg	gezugspannungen:		erf γ _{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Bieg	gedruckspannungen:		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:	$zul \delta_V$	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	γ	-3,895	6,465	-3,525	[-]
Sicherheitsbeiwert innen	γ	4,109	-3,244	3,743	[-]
(Sicherheitsbeiwerte gegen Biegedruckbeanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeichen gekennzeichnet)					hnet)
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Bieg	ezugspannungen:		erf γ _{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Bieg	edruckspannungen:		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	γ	-4,488	7,806	-4,089	[-]
Sicherheitsbeiwert innen	γ	5,003	-3,713	4,565	[-]
(Sicherheitsbeiwerte gegen Biegedruckbeanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeichen gekennzeichnet					hnet)
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Bieg	ezugspannungen:		erf γ _{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Bieg	edruckspannungen:		erf γ _{RBD}	2,50	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausre	ichend.		
40001/4			
1.2.3.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)			
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{\text{V},\text{Ges}}$	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:	$zul \delta_v$	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/m²
Vertikale Gesamtlast:	q_{V}	161,94	kN/m²
Beulsicherheitsbeiwert (vertikale Gesamtlast):	Yqv	8,68	[-]
Wasserdruck + Unterdruck			
Äußerer Wasserdruck:	pa	23,50	kN/m²
Unterdruck im Rohr:	рі-	0,00	kN/m²
Kritischer Druck:	krit pa	258,350	kN/m²
Wasserdruck + Unterdruck im Rohr:	p _{a+I} -	23,50	kN/m²
Beulsicherheitsbeiwert Druck:	γStab,pa	10,994	[-]
Superposition			
Sicherheit Stabilität, radial:	γ 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

1

Baufeld: Ost / Katzwang

Auftraggeber: TenneT TSO GmbH

Bernecker Str. 70 95448 Bayreuth

Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel (IGKWT) Moll-prd GmbH & Co. KG Bearbeiter:

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

Rohrsteifigkeit nach Regelwerk: Rechenwert)

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 25,00 N/mm²

E4 = 10 · E1: Ja
Anwendung von Silotheorie: Nein
K2 nach Norm: Ja

1.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe: h 1,65 m

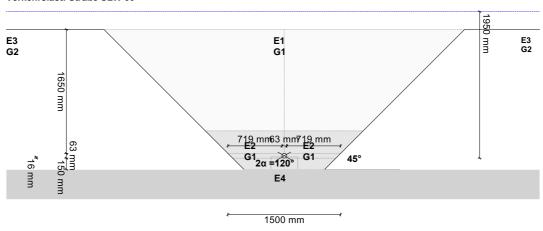
Minimaler Grundwasserstand über Sohle: Maximaler Grundwasserstand über Sohle: Auftriebsnachweis führen: Wichte des Bodens: Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb: Zusätzliche Flächenlast: Innendruck, kurzzeitig wirkend: Innendruck, langzeitig: Wasserfüllung (z.B. Staukanal): Verkehrslast: Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:	hw,min hw,max Nein γB Nein po PI,K PI,L Nein Straße SLW 60 αqhT,dyn	0,00 1,95 20,0 0,0 0,00 0,00	m m kN/m³ kN/m² bar bar
1.1.4 Einbau			
Einbauweise: Grabenbreite in Scheitelhöhe: Mindestgrabenbreite prüfen: Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:	Graben b Nein Ja	1,50	m
Böschungswinkel: Überschüttungsbedingung: Einbettungsbedingung: Auflagerart: Auflagerwinkel: Relative Ausladung automatisch ermitteln: Untere Sockelhöhe vorgeben:	ß A1 B1 Lose 120° Ja Ja	45	•
Höhe des unteren Teils des Sockels:	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: SDR:	Thermoplast $\delta_{V,A}$ $\delta_{V,I}$ SDR und Da d_a SDR	1,0 0,0 63,0 11,0	% % mm [-]
Perforation:	Ohne Perforation	1	

1.1.5.1 Thermoplast

Auswahl Material:

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

Verkehrslast: Straße SLW 60



1374 mm

63 mm

63 mm

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	γ	-11,900	23,548	-10,619	[-]
Sicherheitsbeiwert innen	γ	13,514	-10,309	12,055	[-]
(Sicherheitsbeiwerte gegen Biegedruckbeanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeichen gekennzeichr				hnet)	
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Bieg	ezugspannungen:		erf γ _{RBZ}	2,50	[-]
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Bieg	edruckspannungen:		erf γ _{RBD}	2,50	[-]

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.2.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
γ	-15,191	37,311	-13,683	[-]
γ	20,394	-13,121	18,035	[-]
eanspruchungen sind	d durch ein nega	atives Vorzeiche	n gekennzeich	nnet)
ugspannungen:		erf γ _{RBZ}	2,50	[-]
ruckspannungen:		erf γ _{RBD}	2,50	[-]
	ıgspannungen:	γ -15,191 γ 20,394 eanspruchungen sind durch ein nega ugspannungen:	γ -15,191 37,311 γ 20,394 -13,121 eanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeiche ugspannungen: erf γRBZ	γ -15,191 37,311 -13,683 γ 20,394 -13,121 18,035 eanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeichen gekennzeich ugspannungen: erf γRBZ 2,50

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.2.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)

Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B):	$\delta_{ m v,Ges}$	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	Υ	-13,124	38,468	-11,446	[-]	
Sicherheitsbeiwert innen	γ	17,215	-12,038	14,715	[-]	
(Sicherheitsbeiwerte gegen Biegedruckbeanspruchungen sind durch ein negatives Vorzeichen gekennzeichnet)						
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Bieg	jezugspannungen:		erf γ _{RBZ}	2,50	[-]	
Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Bieg	jedruckspannungen:		erf yrbd	2,50	[-]	

Alle errechneten Sicherheitsbeiwerte des Spannungsnachweises sind ausreichend.

1.2.3.2 Spannungsnachweis (bei maximalem Grundwasser)

		Scheitel	Kämpfer	Sohle			
Sicherheitsbeiwert außen	γ	-15,321	50,324	-13,671	[-]		
Sicherheitsbeiwert innen	γ	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 ausrei	chend.		
1.2.3.3 Verformungsnachweis (bei minimalem Grundwasser)			
Vertikale Gesamtverformung (Typ A + Typ B): Zulässige Verformung:	$\begin{array}{c} \delta_{v,Ges} \\ zul \ \delta_v \end{array}$	1,91 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): Zulässige Verformung:	$\begin{array}{c} \delta_{v,Ges} \\ zul \ \delta_v \end{array}$	1,64 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: Vertikale Gesamtlast: Beulsicherheitsbeiwert (vertikale Gesamtlast):	krit q _v q _v Yqv	3.304,7 65,08 50,78	kN/m² kN/m² [-]
Wasserdruck + Unterdruck Äußerer Wasserdruck: Unterdruck im Rohr: Kritischer Druck: Wasserdruck + Unterdruck im Rohr: Beulsicherheitsbeiwert Druck:	Pa pı- krit pa pa+ι- YStab,pa	19,50 0,00 793,876 19,50 40,712	kN/m² kN/m² kN/m² kN/m² [-]
Superposition Sicherheit Stabilität, radial: Erforderlicher Sicherheitsbeiwert, Instabilität:	γStab,rad erf γ _{stab}	22,60 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.