

Statische Berechnung

Bauvorhaben: Musterstatik für Stahlbetonrohr DN 400, Rohrüberdeckung H = 0,70 - 3,30 m

Beschreibung: Stahlbetonrohre nach DIN EN 1916 mit DIN V 1201.
Verlegt nach DIN EN 1610, DWA-A 139 und den FBS-Verlegerichtlinien.

Auftraggeber: Josef Schnurrer GmbH & Co. KG, Weiden

Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Bernhard Graf
Josef Schnurrer GmbH & Co. KG
92637 Weiden

Statik-Nr.: DN 400

Datum: 01.12.2022

Inhaltsangabe

1 Bemerkungen	4
2 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Position 1: DN 400, H = 0,70 m	5
2.1 Eingaben	5
2.1.1 Sicherheiten	5
2.1.2 Boden	5
2.1.3 Belastung	6
2.1.4 Einbau	6
2.1.5 Stahlbeton-Rohr	6
2.2 Ergebnisse	8
2.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	8
2.2.1.1 Materialeigenschaften	8
2.2.1.2 Stahlbetonrohr	8
2.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	9
2.2.2 Zwischenergebnisse	9
2.2.2.1 Silotheorie	9
2.2.2.2 Belastung	9
2.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB	9
2.2.2.4 Bodensteifigkeiten	9
2.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	10
2.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	10
2.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse	10
2.2.2.8 Beiwerte	10
2.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	10
2.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang	10
2.2.3 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton	10
2.2.3.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse	10
2.2.3.2 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN EN 1916:2002 5.2.1)	11
2.2.3.3 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1)	11
2.2.3.4 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2)	11
2.2.4 Schnittkräfte , Langzeit	11
2.2.5 Bemessung Ringbewehrung	12
2.2.6 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08 5.2.5)	13
2.3 Vereinfachter Nachweis gegen Ermüden nach DIN EN 1992-1-1, 6.8.7	13
2.3.1 Nachweis der geschweißten Bewehrungskörbe	13
2.3.2 Nachweis Beton in der Druckzone	14
3 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Position 2: DN 400, H = 3,30 m	15
3.1 Eingaben	15
3.1.1 Sicherheiten	15
3.1.2 Boden	15

3.1.3 Belastung	16
3.1.4 Einbau	16
3.1.5 Stahlbeton-Rohr	16
3.2 Ergebnisse	18
3.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	18
3.2.1.1 Materialeigenschaften	18
3.2.1.2 Stahlbetonrohr	18
3.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	19
3.2.2 Zwischenergebnisse	19
3.2.2.1 Silotheorie	19
3.2.2.2 Belastung	19
3.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB	19
3.2.2.4 Bodensteifigkeiten	19
3.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	20
3.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	20
3.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse	20
3.2.2.8 Beiwerte	20
3.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	20
3.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang	20
3.2.3 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton	20
3.2.3.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse	20
3.2.3.2 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN EN 1916:2002 5.2.1)	21
3.2.3.3 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1)	21
3.2.3.4 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2)	21
3.2.4 Schnittkräfte , Langzeit	21
3.2.5 Bemessung Ringbewehrung	22
3.2.6 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08 5.2.5)	23
4 Anhänge	24
4.1 Verlegeanweisung	25
4.2 Hinweis mit Unterschrift	26

1 Bemerkungen

Vorbemerkungen:

- Verlegung der Rohre gemäß DIN EN 1610, DWA-A 139 und den FBS-Verlegevorschriften.
- Die in der statischen Berechnung getroffenen Annahmen sind bauseits an Ort und Stelle mit den tatsächlichen Verhältnissen zu vergleichen. Bei Abweichung ist eine Rücksprache mit dem Ersteller der Statik zu empfehlen. Änderungen an den Einbau- oder Lastbedingungen können eine neue statische Berechnung erforderlich machen.
- Die Rohrstatik betrifft nur die Beanspruchung quer zur Rohrachse. Eine fachgerechte gleichmäßige Auflagerung in Rohrlängsrichtung muss bauseits sichergestellt werden. (Siehe ATV-DVWK-A 127).
- Die statische Berechnung nach ATV-DVWK-A 127 setzt einen tragfähigen Baugrund voraus.
- Gegebenenfalls ist, besonders in der Leitungszone, das Eindringen des anstehenden Bodens oder die Verlagerung von Material der Leitungszone in den anstehenden Boden zu verhindern (DIN EN 1610 / 11.3).
- Bei Grundwasser im Rohrgraben sind besondere Maßnahmen zu treffen. Dies gilt besonders für das Rohraufleger (Rücksprache mit zuständiger Bauleitung). Während der Verlegearbeiten ist der Graben frei von Wasser zu halten.
- Bei Sonderausführungen ist die DIN EN 1610, Abschnitt 7.3 zu beachten.
- Wird ein Betonaufleger berechnet und nichts anderes angegeben, so ist als Auflagerbeton mindestens ein C 16/20 zu verwenden.
- Bei Ausführung von Betonaufleger bzw. -ummantelung darf mit der Seitenverfüllung erst begonnen werden, wenn der Auflagerbeton eine ausreichende Festigkeit erreicht hat.
- Zwischen Verbau und Betonaufleger in der Grabensohle darf kein Kraft- oder Formschluss bestehen. D.h. zwischen Betonaufleger und Verbau muss eine flexible Trennschicht (z.B. Polystyrol) vorgesehen werden, um Schäden beim Rückbau zu vermeiden.
- Bei Einsatz von Verdichtungsgeräten sind die erforderlichen Mindestüberdeckungen zu beachten. (Siehe DWA-A 139).
- Im Bereich der Abdeckung, bis 30 cm (im verdichteten Zustand) über der Rohrleitung darf nur mit Handstampfern oder mit leichten, geeigneten Verdichtungsgeräten verdichtet werden. Der dynamische Einsatz von Anbauverdichtern direkt über dem Rohr ist hier nicht zulässig.
- Anbauverdichter ersetzen nicht das sorgfältige Unterstopfen des Rohres und das manuelle Verdichten des Rohrzwickels
- Der nachfolgende Straßenbau ist über die Lage der Kanäle genau zu informieren.
- In Gebieten sehr enger Bebauung (z.B. Altstadt) können zu den Lasten aus Verkehr und Überdeckung zusätzliche Belastungen aus der angrenzenden Bebauung (Fundamente) auf den Kanal einwirken. Diese sind gesondert zu berücksichtigen. Außerdem wird empfohlen, die Baugrube zur Vermeidung von Gebäudeschäden durch Setzungen bis Oberkante Baugrube zwischen den Spundwänden mit Magerbeton zu verfüllen und die Spundwand nicht zu ziehen.

Bauseitige Angaben:

Durch MUSTERSTATIK

2 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Position 1: DN 400, H = 0,70 m

Titel der Teilstatik: Position 1: DN 400, H = 0,70 m

Annahmen: Einzelgraben mit Verbau. Rückbau des Verbau schrittweise beim Verfüllen und Verdichtung nach dem Ziehen sicherstellen!

H = 0,70 - 3,30 m Sand- oder Kies-Sand-Auflager $2\alpha' \geq 90^\circ$

Die Rohrstatik gilt alternativ auch ohne Verbau mit einem Böschungswinkel 60° .

Bodenarten: Hauptverfüllung G1 bis G4

Leitungszone G1

Anstehender Boden G1 bis G4

Bei Abweichungen in der Bauausführung bzw. den Baubedingungen kann ggf. ein neuer statischer Nachweis erforderlich sein mit dann anderen Auflagerbedingungen.

In der statischen Berechnung ist – gemäß ATV-DVWK A 127 Tabelle 8 – der Verdichtungsgrad in der Leitungszone und Hauptverfüllung mit 90 % angesetzt. Gemäß Vorgabe ist unter Straßen und Verkehrswegen eine Proctordichte von mindestens 97 % auszuführen.

Schlussfolgerungen: Die vorliegende Musterstatik ist eine typisierte Berechnung. Grabenbedingungen mit Verbau können auch ungünstige Einbau- und Überschüttungsbedingungen aufweisen (z.B. Stufengraben, Spundwand, usw.). Es ist vor Anwendung kundenseits genau zu prüfen, ob die getroffenen Annahmen mit den tatsächlichen Bedingungen vor Ort übereinstimmen. Bei Abweichungen ist eine an die örtlichen Verhältnisse angepasste Berechnung erforderlich.

Berechnungsart:

Stahlbeton

Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck:

Ja

2.1 Eingaben

2.1.1 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:

Nein

Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:

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

Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:

Ja

2.1.2 Boden

Bodengruppe Verfüllung:

G1

Berechnung E1:

Tabelle 8 (A127)

Bodengruppe Einbettung:

G1

Berechnung E20:

Tabelle 8 (A127)

Bodengruppe anstehender Boden:

G4

Berechnung E3:

Verdichtungsgrad

Verdichtungsgrad E3: E4 = 10 · E1: Anwendung von Silotheorie: K2 nach Norm:	DPr,E3 Ja Automatisch Ja	90,0	%
2.1.3 Belastung			
Überdeckungshöhe:	h	0,70	m
Minimaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,min}	1,00	m
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,max}	1,00	m
Auftriebsnachweis führen:	Nein		
Wichte des Bodens:	γ _B	20,0	kN/m ³
Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:	Nein		
Zusätzliche Flächenlast:	p ₀	0,0	kN/m ²
Innendruck, langfristig:	P _{I,L}	0,00	bar
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):	Ja		
Wichte Füllmedium:	γ _F	10,0	kN/m ³
Verkehrslast:	Straße SLW 60 (mit Straßenaufbau)		
Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:	α _{qhT,dyn}	0,00	%
2.1.4 Einbau			
Einbauweise:	Graben		
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	b	1,50	m
Mindestgrabenbreite prüfen:	Nein		
Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:	Ja		
Böschungswinkel:	β	90	°
Überschüttungsbedingung:	A2		
Einbettungsbedingung:	B2		
Berücksichtigung der Unterrammung nach Bericht der ATV-AG 1.5.5.:	Nein		
Dicke des Verbaus (einseitig):	b _s	0,10	m
Auflagerart:	Lose		
Auflagerwinkel:	90°		
Relative Ausladung automatisch ermitteln:	Ja		
Untere Sockelhöhe vorgeben:	Ja		
Höhe des unteren Teils des Sockels:	h _{s,u}	0,150	m
2.1.5 Stahlbeton-Rohr			
Auswahl der Eingaben:	Di und s		
Innendurchmesser:	d _i	400	mm
Wandstärke:	s	75	mm
Betongüte:	C35/45		
Betonstahl nach Norm:	Ja		
Nachweis der Rissbreite:	Nein		
Manuelle Vorgabe max f _R :	Nein		
Lastklasse ermitteln:	Nein		
Lastwechsel-Zahl manuell:	Nein		
Dyn. Nachweis für:	2·10 ⁶ Lastwechsel		
Verhältnis E-Moduli manuell:	Nein		
Bewehrungsführung:	Einlagig		
Expositionsklasse außen:	XA2: Chemisch mäßig angreifend		
Expositionsklasse innen:	XA2: Chemisch mäßig angreifend		
Besondere Maßnahmen:	Ja		
Abstand Längsbewehrung nach Norm:	Ja		
Durchmesser Ringbewehrung:	Ø _{rad}	6,0	mm
Achsabstand Ringbewehrung:	e	100	mm
Durchmesser Längsbewehrung:	Ø _{ax}	6,0	mm
Anzahl der Längsstäbe:	n _{ax}	6	[-]
Exzentrizität Scheitel:	Z _{s,Scheitel}	0,0	mm
Exzentrizität Kämpfer:	Z _{s,Kämpfer}	0,0	mm
Exzentrizität Sohle wie Scheitel:	Ja		

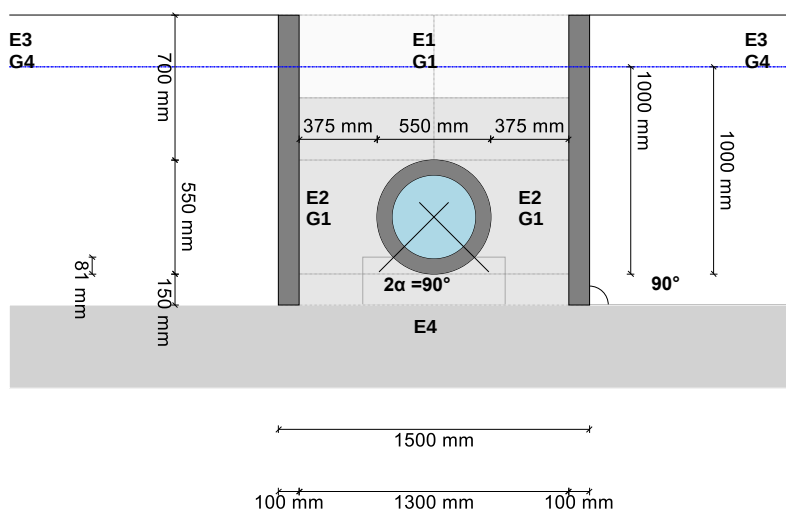
Teilsicherheiten manuell definieren:

Nein

Bewehrungsmenge ermitteln:

Nicht ermitteln

Verkehrslast: Straße SLW 60 (mit Straßenaufbau)



Hinweise Skizze:

Einzelgraben mit Verbau. Rückbau des Verbau schrittweise beim Verfüllen und Verdichtung nach dem Ziehen sicherstellen!

H = 0,70 - 3,30 m Sand- oder Kies-Sand-Auflager $2\alpha' \geq 90^\circ$

Dicke der oberen Bettungsschicht $b \geq 81 \text{ mm}$

Dicke der oberen Bettungsschicht $b \geq 81 \text{ mm}$
Dicke der unteren Bettungsschicht $a \geq 150 \text{ mm}$

Die Rohrstatik gilt alternativ auch ohne Verbau mit einem Böschungswinkel 60° .

Bodenarten: Hauptverfüllung G1 bis G4

Leitungszone G1

Anstehender Boden G1 bis G4

Die Bettung mit Sand- oder Kies-Sand-Auflager ist besonders sorgfältig auszuführen. Vor allem muss der Zwickelbereich der Bettung (obere Bettungsschicht b) mindestens so gut verdichtet sein wie die untere Bettungsschicht a.

Der Bodenaustausch in der Leitungszone mit Boden der Gruppe G1 ist zwingend einzuhalten.

Bei Abweichungen in der Bauausführung bzw. den Baubedingungen kann ggf. ein neuer statischer Nachweis erforderlich sein mit dann anderen Auflagerbedingungen.

In der statischen Berechnung ist – gemäß ATV-DVWK A 127 Tabelle 8 – der Verdichtungsgrad in der Leitungszone und Hauptverfüllung mit 90 % angesetzt. Gemäß Vorgabe ist unter Straßen und Verkehrswegen eine Proctordichte von mindestens 97 % auszuführen.

2.2 Ergebnisse

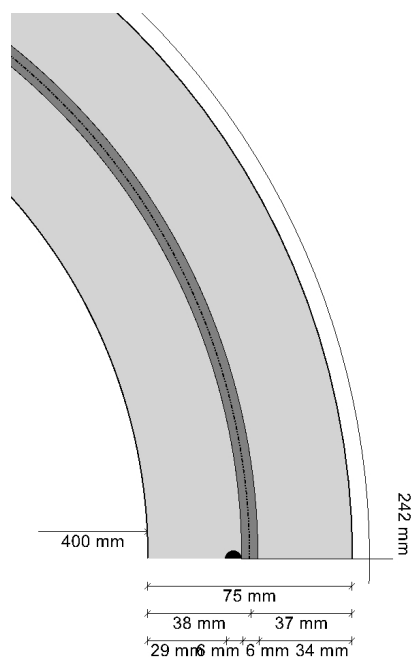
2.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d_i	400,0	mm
Außendurchmesser:	d_a	550,0	mm
Mittlerer Radius:	r_m	237,50	mm
Wanddicke:	s	75,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	3,167	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,105	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,895	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	0,00	%
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	75,00	mm ² /mm
Trägheitsabstand:	e	37,50	mm
Trägheitsmoment:	I	35.156,25	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	937,50	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	937,50	mm ³ /mm
Flächenverhältnis:	K_Q	1,2	[-]

2.2.1.1 Materialeigenschaften

Wichte des Rohrwerkstoffs:	γ_R	25,0	kN/m ³
Querkontraktionszahl:	ν	0,15	[-]
Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:	$f_{ck,cyl}$	35,0	N/mm ²
Charakteristische Würfeldruckfestigkeit:	$f_{ck,cube}$	45,0	N/mm ²
Druckfestigkeit:	f_{cm}	43,0	N/mm ²
Mittlere Zugfestigkeit:	f_{ctm}	3,2	N/mm ²
Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):	E_{cm}	34.077	N/mm ²

2.2.1.2 Stahlbetonrohr



Durchmesser Längsbewehrung:	$\varnothing_{ax}$	6,0	mm
Anzahl der Längsstäbe:	n_{ax}	6	[-]
Durchmesser Ringbewehrung:	$\varnothing_{rad}$	6,0	mm

Achsabstand Ringbewehrung:		e	100	mm
Exzentrizität Scheitel:		Z _{s,Scheitel}	0,0	mm
Exzentrizität Kämpfer:		Z _{s,Kämpfer}	0,0	mm
Exzentrizität Sohle wie Scheitel:		Ja		
		Kämpfer	Sohle	
Profilhöhe	h	75,00	75,00	75,00 mm
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	Z _{s1}	0,0	0,0	0,0 mm
Statische Höhe innen	d _{s,i}	37,5	37,5	37,5 mm
Statische Höhe außen	d _{s,e}	37,5	37,5	37,5 mm
Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton nach DIN V 1201:2004-08:		n	15,0	[-]
	Z _{id}	0,0	0,0	0,0 mm
Ideelle Querschnittsfläche	A _{id}	792,41	792,41	792,41 cm²/m
Ideeles Trägheitsmoment	I _{id}	35.156,3	35.156,3	35.156,3 mm⁴/mm
Ideeles Widerstandsmoment, außen	W _{id,a}	937,50	937,50	937,50 mm³/mm
Ideeles Widerstandsmoment, innen	W _{id,i}	937,50	937,50	937,50 mm³/mm
Vorhandene Betondeckung, innen	C _{nom,i}	28,5	28,5	28,5 mm
Vorhandene Betondeckung, außen	C _{nom,e}	34,5	34,5	34,5 mm

2.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

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

2.2.2 Zwischenergebnisse

2.2.2.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	1,000	[-]
Erdlastbeiwert κ ₀ für Flächenlast (Silotheorie):	κ ₀	1,000	[-]

κ₀ und κ wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.

2.2.2.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	h _{W,Scheitel}	0,45	m
Wichte Verfüllung unter Wasser:	γ'	11,00	kN/m³
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P _{Erd}	9,95	kN/m²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P _E	9,95	kN/m²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P _V	80,77	kN/m²
Enthaltener Stoßfaktor:	φ	1,20	[-]
Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert:	p _T	54,03	kN/m²

2.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:	E _{1,σ}	6,00	N/mm²
--------------------------------	------------------	------	-------

$$E_{3,\sigma} = \frac{40}{4} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})} \quad 3.01$$

E-Modul anstehender Boden:	E _{3,σ}	1,53	N/mm²
E-Modul Einbettung unter Last:	E _{20,σ}	6,00	N/mm²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f ₁	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:	D _{pr,E20}	0,90	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f ₂	0,750	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	α _{B0}	0,333	[-]
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	α _B	0,717	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	E _{2,σ}	3,23	N/mm²
E-Modul Boden unter dem Rohr:	E _{4,σ}	60,00	N/mm²

2.2.2.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δ _f	1,174	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,752	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S _{Bh}	1,456	N/mm²

Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	2,536	N/mm ²
--------------------------------	----------	-------	-------------------

2.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	90	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,081	m
Höhe untere Bettungsschicht UK Rohr bis Grabensohle:	h_{su}	0,150	m
Berechnete Ausladung:	a	1,27	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	2,366	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	20,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	6,667	°

2.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung:	E_R	34.077,1	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit:	σ_{RBZ}	5,5	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit:	σ_{RBD}	35,0	N/mm ²

Rohrsteifigkeit:	S_R	89.428	kN/m ²
------------------	-------	--------	-------------------

2.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	61,4015	[-]
Steifigkeitsverhältnis:	V_S	316,8276	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_v	-0,1113	[-]

2.2.2.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,500	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck:	K^*	0,002	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_h	0,1011	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_{h,qh^*}	-0,0757	[-]

2.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor:	$\max \lambda$	1,632	[-]
---------------------------------	----------------	-------	-----

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

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert:	λ_R	1,632	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss:	λ_{RG}	1,364	[-]

Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert:	λ_{fo}	3,895	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert:	λ_{fu}	0,800	[-]

Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert:	λ_{RG}	1,364	[-]
Konzentrationsfaktor Boden:	λ_B	0,789	[-]

2.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

Vertikale Gesamtlast:	q_v	94,34	kN/m ²
Seitendruck:	q_h	5,44	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung):	q^*_{hw}	0,00	kN/m ²

2.2.3 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton

2.2.3.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse

Mindestbetongüte, Außen:	C35/45
Mindestbetongüte, Innen:	C35/45
Betongüte:	C35/45

Die Mindestbetongüte wird eingehalten.

2.2.3.2 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN EN 1916:2002 5.2.1)

Vorhandene Ringbewehrung:			vorh. a_{sring}	2,83	cm ² /m
Mindest-Ringbewehrung DIN EN 1916:			min. a_s	1,88	cm ² /m
Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	Scheitel	Kämpfer	Sohle	cm ² /m
Mindestbewehrung	min. a_s	2,83	2,83	2,83	cm ² /m
Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN)	U min. a_s	1,88	1,88	1,88	cm ² /m
		66,3	66,3	66,3	%

Die Mindestbewehrung nach DIN EN 1916:2002, 5.2.1 wird eingehalten bzw. übertroffen.

2.2.3.3 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1)

Maximaler Soll-Abstand Längsbewehrung:	$e_{L,max}$	450	mm
Anzahl der Längsstäbe:	n_{ax}	6	[-]
Angesetzter Radius:	r	235	mm
Vorhandener Umfang Längsbewehrung:	$U_{L,vor}$	1.455	mm
Vorhandener Abstand Längsbewehrung:	$e_{L,vor}$	242	mm
Vorhandene Längsbewehrung:	vorh $a_{s,L}$	1,17	cm ² /m

Der Abstand der Längsstäbe ist ausreichend klein.

2.2.3.4 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2)

Es wird ein Vorhaltemaß von 10 mm angesetzt (Rohr nach DIN V 1201).
Die erforderliche Betonüberdeckung wurde aufgrund 'besonderer Maßnahmen' um 5 mm reduziert.

Erf. Betondeckung außen	erf. $c_{nom,e}$	Scheitel	Kämpfer	Sohle	mm
Vorhandene Betondeckung, außen	$c_{nom,e}$	25,0	25,0	25,0	mm
		34,5	34,5	34,5	mm

Die Betondeckung (außen) ist ausreichend.

Erf. Betondeckung innen	erf. $c_{nom,i}$	25,0	25,0	25,0	mm
Vorhandene Betondeckung, innen	$c_{nom,i}$	28,5	28,5	28,5	mm

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

2.2.4 Schnittkräfte , Langzeit

Mittlerer Radius	r_m	Scheitel	Kämpfer	Sohle	mm
		237,50	237,50	237,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	1,458	-1,485	1,671	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,077	0,077	-0,077	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,044	-0,051	0,068	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,028	-0,033	0,043	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	-0,005	-0,005	-0,005	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	1,449	-1,496	1,701	kNm/m

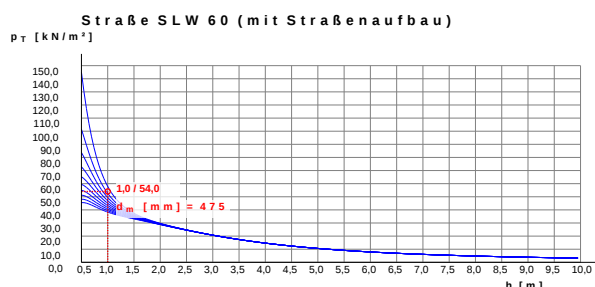
Mittlerer Radius	r_m	Scheitel	Kämpfer	Sohle	mm
		237,50	237,50	237,50	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	1,188	-22,406	-1,188	kN/m

Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-1,292	0,000	-1,292	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz.	N^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Bettungsreaktionsdruck					
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt.	N^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
(Wasserfüllung)					
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,148	-0,700	-0,148	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,376	0,121	0,752	kN/m
Normalkraft aufgrund WasserdruckInnenendruck	N_{pw}	-2,750	-2,750	-2,750	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-2,330	-25,734	-4,626	kN/m

Enthaltener Stoßfaktor:

ϕ 1,20 [-]

Die vertikalen Spannungen im Boden infolge von Straßenverkehrslasten dürfen beim Ermüdungsnachweis ohne besonderen Nachweis mit einer um 0,30 m erhöhten Überdeckungshöhe berechnet werden. Dadurch wird berücksichtigt, dass für häufige Lastwechsel immer ein Straßenoberbau mit einer günstigen Lastverteilung vorhanden ist.



Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert:

p_T 54,03 kN/m²

Abminderungsfaktor α_V nach Tabelle 14 für Verkehrslasten:

α_V 0,50 [-]

Abgeminderte vertikale Bodenspannung für Ermüdung:

dyn p_V 27,015 kN/m²

Die stützende Wirkung des Bettungsreaktionsdruckes dyn p_{Vh}^* wird nicht angesetzt, da sich das Rohr-Boden-System biegesteif verhält.

	m_{qv}	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
		0,274	-0,279	0,314	[-]
Moment aufgrund vertikaler Bodenspannung	dyn M_{qv}	0,418	-0,425	0,478	kNm/m
aufgrund dynamischer Last					
Summe der Momente aufgrund Verkehrslast	$M_{QK,dyn}$	0,418	-0,425	0,478	kNm/m
	n_{pv}	0,053	-1,000	-0,053	[-]
Normalkraft aufgrund vertikaler	dyn N_{qv}	0,340	-6,416	-0,340	kN/m
Bodenspannung aufgrund dynamischer Last					
Summe der Normalkräfte aufgrund	$N_{QK,dyn}$	0,340	-6,416	-0,340	kN/m
Verkehrslast					

2.2.5 Bemessung Ringbewehrung

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:

γ_{RC} 1,50 [-]

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:

γ_{RS} 1,15 [-]

Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:

$f_{ck,cyl}$ 35,0 N/mm²

Bemessungswert Beton:

f_{cd} 19,83 N/mm²

Nennstreckgrenze:

f_{yk} 500 N/mm²

Bemessungswert Betonstahl:

f_{yd} 434,78 N/mm²

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Summe der Momente	M_E	1,449	-1,496	1,701	kNm/m
Summe der Momente inkl.	$M_{E,d}$	1,956	-2,020	2,296	kNm/m
Teilssicherheitsbeiwert					
Summe Normalkraft	N_E	-2,330	-25,734	-4,626	kN/m
Summe der Normalkräfte inkl.	$N_{E,d}$	-3,145	-34,741	-6,245	kN/m
Teilssicherheitsbeiwert					

Bemessung:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	Z _{s1}	0,0	0,0	0,0	mm
Auslegungsmoment Plattenbemessung	M _{Ed,s}	1,956	2,020	2,296	kNm/m
Statische Höhe	d	0,038	0,038	0,038	m
Normiertes Auslegungsmoment	μ _{Ed,s}	0,0701	0,0724	0,0823	[-]
Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad	ω	0,0730	0,0754	0,0861	[-]
Rechenwert der Stahlgrenzspannung	σ _{s,d}	434,78	434,78	434,78	N/mm ²
Vorhandene Bewehrung	vorh. a _s	2,83	2,83	2,83	cm ² /m
Erforderliche Bewehrung (Bemessung)	a _{s,calc}	1,18	0,49	1,33	cm ² /m
Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)	U a _{s,calc}	41,6	17,4	47,0	%

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

2.2.6 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08 5.2.5)

Ideelles Widerstandsmoment, Zugseite	W _{id}	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
		937,50	937,50	937,50	mm ³ /mm
Biegespannungsanteil aus Biegemomenten	σ _{M,E}	1,5458	1,5962	1,8139	N/mm ²
Spannungsanteil aus Normalkräften	σ _{N,E}	-0,0294	-0,3248	-0,0584	N/mm ²
Maßgebliche Biegezugspannung	σ _{bz}	1,5164	1,2714	1,7555	N/mm ²
Spannungsverhältnis	σ _N /σ _M	-0,0190	-0,2035	-0,0322	[-]
Profilhöhe	h	75,00	75,00	75,00	mm
Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9	f _R	0,94	0,90	0,93	[-]
Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I	σ _{VR}	1,43	1,14	1,64	N/mm ²

Mittlere Zugfestigkeit:		f _{ctm}	3,2	N/mm ²
Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201:		max σ _{VR}	5,50	N/mm ²

Ausnutzung Rohrvergleichsspannung	U σ _{VR}	25,9	20,8	29,8	%
-----------------------------------	-------------------	------	------	------	---

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

2.3 Vereinfachter Nachweis gegen Ermüden nach DIN EN 1992-1-1, 6.8.7

Teilsicherheitsbeiwert dynamische Einwirkung:	Y _{Ed,fat}	1,00	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:	Y _{s,fat}	1,15	[-]
Beiwert nach DIN 1055-100, Tabelle A.2:	ψ ₁	1,00	[-]
Elastizitätsmodul Betonstahl:	E _s	200.000	N/mm ²
Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):	E _{cm}	34.077	N/mm ²
Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton:	n	5,87	[-]
Querschnittsbreite:	b	1,00	m
Schwingbreite für 2·10 ⁶ Zyklen:	Δσ _{Rsk} (N*)	74,00	N/mm ²
Modifizierte Betondruckfestigkeit:	f _{cd,fat}	17,06	N/mm ²

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Moment aufgrund ständiger Lasten	M _G	0,201	-0,225	0,270	kNm/m
Normalkraft aufgrund ständiger Lasten	N _G	-3,346	-6,552	-3,609	kN/m
Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment aufgrund ständiger Lasten	M _{Gs}	0,201	0,225	0,270	kNm/m
Bemessungsmoment, ständig	M' _{Gs,min}	0,201	0,225	0,270	kNm/m
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	Z _{s1}	0,0	0,0	0,0	mm
Moment für Ermüdungsnachweis	M _{Q,dyn}	0,418	-0,425	0,478	kNm/m
Normalkraft für Ermüdungsnachweis	N _{Q,dyn}	0,340	-6,416	-0,340	kN/m
Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment aufgrund dynamischer Lasten	M _{Qs,dyn}	0,418	0,425	0,478	kNm/m
Bemessungsmoment, dynamisch	M' _{Qs,dyn}	0,418	0,425	0,478	kNm/m

2.3.1 Nachweis der geschweißten Bewehrungskörbe

Statische Höhe	d	0,038	0,038	0,038	m
Höhe der Betondruckzone	x	0,010	0,010	0,010	m
Höhe der Zugzone	d-x	0,028	0,028	0,028	m
Innerer Hebelarm	z	0,034	0,034	0,034	m
Betonspannung	$\sigma_{c,dyn}$	2,531	2,578	2,901	N/mm ²
Spannung in der Zugbewehrung	$\sigma_{s,dyn}$	44,263	21,154	48,144	N/mm ²
Kontrolle	$\sigma_{s,dyn,kon}$	44,263	21,154	48,144	N/mm ²
Ermittelter Wert	$\Delta\sigma_{s,eq}$	44,263	21,154	48,144	N/mm ²
Maximalwert (abgeminderte Schwingbreite)	$\Delta\sigma_{Rsk}/\gamma_{s,fat}$	64,348	64,348	64,348	N/mm ²
Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	2,83	2,83	2,83	cm ² /m
Erforderliche Bewehrung aus Ermüden	erf. a_s	1,94	0,93	2,12	cm ² /m
Ausnutzung Ermüden Stahl	$U \sigma_{s,dyn}$	68,8	32,9	74,8	%

Der Nachweis gegen Ermüden der Bewehrung ist erbracht.

2.3.2 Nachweis Beton in der Druckzone

Bemessungsmoment, ständig+dynamisch	$M^{Ed,dyn}$	0,618	0,650	0,748	kNm/m
Maximale Betondruckspannung	$\sigma'_{c,max}$	3,749	3,944	4,538	N/mm ²
Minimale Betondruckspannung	$\sigma'_{c,min}$	1,218	1,366	1,637	N/mm ²
Ausnutzung bei maximaler Betondruckspannung	$U \sigma'_{c,max,eff}$	0,220	0,231	0,266	[-]
Ausnutzung Ermüden maximale Spannung	$U \sigma_{s,max,dyn}$	41,3	43,1	49,0	%
Ausnutzung bei minimaler Betondruckspannung	$U \sigma'_{c,min,eff}$	0,532	0,536	0,543	[-]
Ausnutzung Ermüden minimale Spannung	$U \sigma_{s,min,dyn}$	59,1	59,6	60,4	%
Ausnutzung Ermüden Beton	$U \sigma_{c,dyn}$	59,1	59,6	60,4	%

Der Nachweis gegen Ermüden des Betons ist erbracht.

Alle Nachweise für die Bemessung des Stahlbetons wurden erbracht.

3 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Position 2: DN 400, H = 3,30 m

Titel der Teilstatik: Position 2: DN 400, H = 3,30 m

Annahmen: Einzelgraben mit Verbau. Rückbau des Verbau schrittweise beim Verfüllen und Verdichtung nach dem Ziehen sicherstellen!

H = 0,70 - 3,30 m Sand- oder Kies-Sand-Auflager $2\alpha' \geq 90^\circ$

Die Rohrstatik gilt alternativ auch ohne Verbau mit einem Böschungswinkel 60° .

Bodenarten: Hauptverfüllung G1 bis G4

Leitungszone G1

Anstehender Boden G1 bis G4

Bei Abweichungen in der Bauausführung bzw. den Baubedingungen kann ggf. ein neuer statischer Nachweis erforderlich sein mit dann anderen Auflagerbedingungen.

In der statischen Berechnung ist – gemäß ATV-DVWK A 127 Tabelle 8 – der Verdichtungsgrad in der Leitungszone und Hauptverfüllung mit 90 % angesetzt. Gemäß Vorgabe ist unter Straßen und Verkehrswegen eine Proctordichte von mindestens 97 % auszuführen.

Schlussfolgerungen: Die vorliegende Musterstatik ist eine typisierte Berechnung. Grabenbedingungen mit Verbau können auch ungünstige Einbau- und Überschüttungsbedingungen aufweisen (z.B. Stufengraben, Spundwand, usw.). Es ist vor Anwendung kundenseits genau zu prüfen, ob die getroffenen Annahmen mit den tatsächlichen Bedingungen vor Ort übereinstimmen. Bei Abweichungen ist eine an die örtlichen Verhältnisse angepasste Berechnung erforderlich.

Berechnungsart:

Stahlbeton

Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck:

Ja

3.1 Eingaben

3.1.1 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:

Nein

Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:

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

Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:

Ja

3.1.2 Boden

Bodengruppe Verfüllung:

G1

Berechnung E1:

Tabelle 8 (A127)

Bodengruppe Einbettung:

G1

Berechnung E20:

Tabelle 8 (A127)

Bodengruppe anstehender Boden:

G4

Berechnung E3:

Verdichtungsgrad

Verdichtungsgrad E3: E4 = 10 · E1: Anwendung von Silotheorie: K2 nach Norm:	DPr,E3 Ja Automatisch Ja	90,0	%
3.1.3 Belastung			
Überdeckungshöhe:	h	3,30	m
Minimaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,min}	1,00	m
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,max}	1,00	m
Auftriebsnachweis führen:	Nein		
Wichte des Bodens:	γ _B	20,0	kN/m ³
Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:	Nein		
Zusätzliche Flächenlast:	p ₀	0,0	kN/m ²
Innendruck, langfristig:	P _{I,L}	0,00	bar
Wasserfüllung (z.B. Staukanal):	Ja		
Wichte Füllmedium:	γ _F	10,0	kN/m ³
Verkehrslast:	Straße SLW 60 (mit Straßenaufbau)		
Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:	α _{qhT,dyn}	0,00	%
3.1.4 Einbau			
Einbauweise:	Graben		
Grabenbreite in Scheitelhöhe:	b	1,50	m
Mindestgrabenbreite prüfen:	Nein		
Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:	Ja		
Böschungswinkel:	β	90	°
Überschüttungsbedingung:	A2		
Einbettungsbedingung:	B2		
Berücksichtigung der Unterrammung nach Bericht der ATV-AG 1.5.5.:	Nein		
Dicke des Verbaus (einseitig):	b _s	0,10	m
Auflagerart:	Lose		
Auflagerwinkel:	90°		
Relative Ausladung automatisch ermitteln:	Ja		
Untere Sockelhöhe vorgeben:	Ja		
Höhe des unteren Teils des Sockels:	h _{s,u}	0,150	m
3.1.5 Stahlbeton-Rohr			
Auswahl der Eingaben:	Di und s		
Innendurchmesser:	d _i	400	mm
Wandstärke:	s	75	mm
Betongüte:	C35/45		
Betonstahl nach Norm:	Ja		
Nachweis der Rissbreite:	Nein		
Manuelle Vorgabe max f _R :	Nein		
Lastklasse ermitteln:	Nein		
Lastwechsel-Zahl manuell:	Nein		
Dyn. Nachweis für:	2·10 ⁶ Lastwechsel		
Verhältnis E-Moduli manuell:	Nein		
Bewehrungsführung:	Einlagig		
Expositionsklasse außen:	XA2: Chemisch mäßig angreifend		
Expositionsklasse innen:	XA2: Chemisch mäßig angreifend		
Besondere Maßnahmen:	Ja		
Abstand Längsbewehrung nach Norm:	Ja		
Durchmesser Ringbewehrung:	Ø _{rad}	6,0	mm
Achsabstand Ringbewehrung:	e	100	mm
Durchmesser Längsbewehrung:	Ø _{ax}	6,0	mm
Anzahl der Längsstäbe:	n _{ax}	6	[-]
Exzentrizität Scheitel:	Z _{s,Scheitel}	0,0	mm
Exzentrizität Kämpfer:	Z _{s,Kämpfer}	0,0	mm
Exzentrizität Sohle wie Scheitel:	Ja		

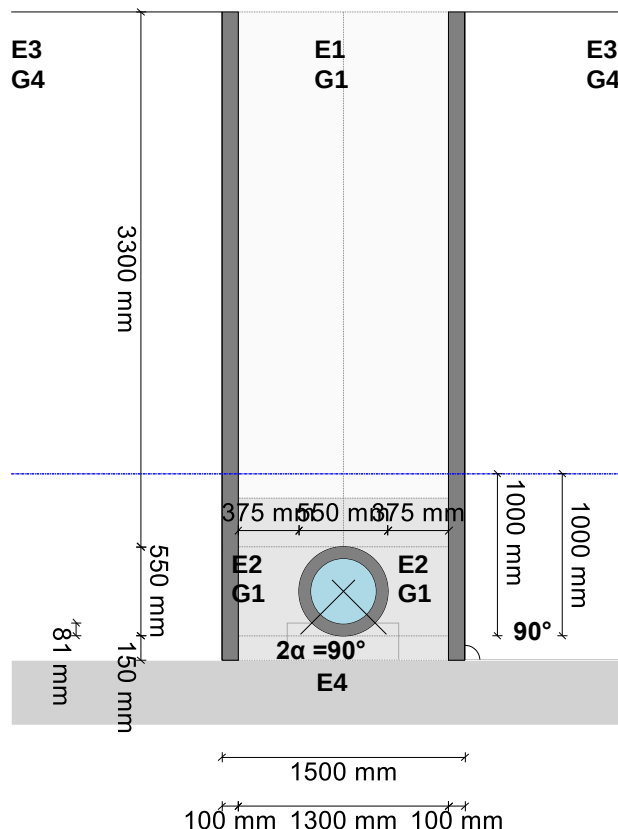
Teilsicherheiten manuell definieren:

Nein

Bewehrungsmenge ermitteln:

Nicht ermitteln

Verkehrslast: Straße SLW 60 (mit Straßenaufbau)



Hinweise Skizze:

Einzelgraben mit Verbau. Rückbau des Verbau schrittweise beim Verfüllen und Verdichtung nach dem Ziehen sicherstellen!

$H = 0,70 - 3,30 \text{ m}$ Sand- oder Kies-Sand-Auflager $2\alpha' \geq 90^\circ$

Dicke der oberen Bettungsschicht $b \geq 81 \text{ mm}$

Dicke der unteren Bettungsschicht $a \geq 150 \text{ mm}$

Die Rohrstatik gilt alternativ auch ohne Verbau mit einem Böschungswinkel 60° .

Bodenarten: Hauptverfüllung G1 bis G4

Leitungszone G1

Anstehender Boden G1 bis G4

Die Bettung mit Sand- oder Kies-Sand-Auflager ist besonders sorgfältig auszuführen. Vor allem muss der Zwickelbereich der Bettung (obere Bettungsschicht b) mindestens so gut verdichtet sein wie die untere Bettungsschicht a.

Der Bodenaustausch in der Leitungszone mit Boden der Gruppe G1 ist zwingend einzuhalten.

Bei Abweichungen in der Bauausführung bzw. den Baubedingungen kann ggf. ein neuer statischer Nachweis erforderlich sein mit dann anderen Auflagerbedingungen.

In der statischen Berechnung ist – gemäß ATV-DVWK A 127 Tabelle 8 – der Verdichtungsgrad in der Leitungszone und Hauptverfüllung mit 90 % angesetzt. Gemäß Vorgabe ist unter Straßen und Verkehrswegen eine Proctordichte von mindestens 97 % auszuführen.

3.2 Ergebnisse

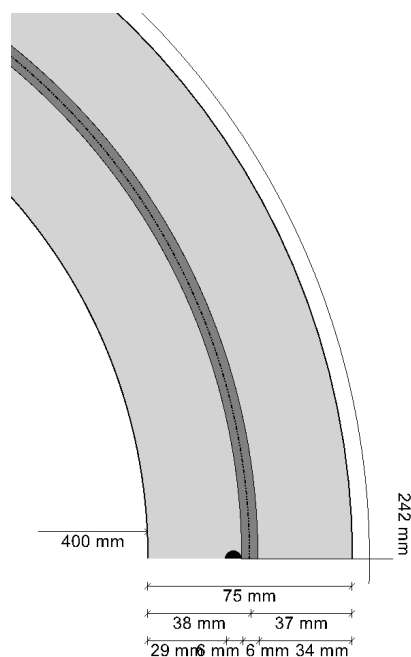
3.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d_i	400,0	mm
Außendurchmesser:	d_a	550,0	mm
Mittlerer Radius:	r_m	237,50	mm
Wanddicke:	s	75,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	3,167	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,105	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,895	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	0,00	%
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	75,00	mm ² /mm
Trägheitsabstand:	e	37,50	mm
Trägheitsmoment:	I	35.156,25	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	937,50	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	937,50	mm ³ /mm
Flächenverhältnis:	K_Q	1,2	[-]

3.2.1.1 Materialeigenschaften

Wichte des Rohrwerkstoffs:	γ_R	25,0	kN/m ³
Querkontraktionszahl:	ν	0,15	[-]
Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:	$f_{ck,cyl}$	35,0	N/mm ²
Charakteristische Würfeldruckfestigkeit:	$f_{ck,cube}$	45,0	N/mm ²
Druckfestigkeit:	f_{cm}	43,0	N/mm ²
Mittlere Zugfestigkeit:	f_{ctm}	3,2	N/mm ²
Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):	E_{cm}	34.077	N/mm ²

3.2.1.2 Stahlbetonrohr



Durchmesser Längsbewehrung:	$\varnothing_{ax}$	6,0	mm
Anzahl der Längsstäbe:	n_{ax}	6	[-]
Durchmesser Ringbewehrung:	$\varnothing_{rad}$	6,0	mm

Achsabstand Ringbewehrung:		e	100	mm
Exzentrizität Scheitel:		Z _{s,Scheitel}	0,0	mm
Exzentrizität Kämpfer:		Z _{s,Kämpfer}	0,0	mm
Exzentrizität Sohle wie Scheitel:		Ja		
		Kämpfer	Sohle	
Profilhöhe	h	75,00	75,00	75,00 mm
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	Z _{s1}	0,0	0,0	0,0 mm
Statische Höhe innen	d _{s,i}	37,5	37,5	37,5 mm
Statische Höhe außen	d _{s,e}	37,5	37,5	37,5 mm
Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton nach DIN V 1201:2004-08:		n	15,0	[-]
	Z _{id}	0,0	0,0	0,0 mm
Ideelle Querschnittsfläche	A _{id}	792,41	792,41	792,41 cm²/m
Ideeles Trägheitsmoment	I _{id}	35.156,3	35.156,3	35.156,3 mm⁴/mm
Ideeles Widerstandsmoment, außen	W _{id,a}	937,50	937,50	937,50 mm³/mm
Ideeles Widerstandsmoment, innen	W _{id,i}	937,50	937,50	937,50 mm³/mm
Vorhandene Betondeckung, innen	C _{nom,i}	28,5	28,5	28,5 mm
Vorhandene Betondeckung, außen	C _{nom,e}	34,5	34,5	34,5 mm

3.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

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

3.2.2 Zwischenergebnisse

3.2.2.1 Silotheorie

Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie):	κ	1,000	[-]
Erdlastbeiwert κ ₀ für Flächenlast (Silotheorie):	κ ₀	1,000	[-]

κ₀ und κ wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.

3.2.2.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	h _{W,Scheitel}	0,45	m
Wichte Verfüllung unter Wasser:	γ'	11,00	kN/m³
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P _{Erd}	61,95	kN/m²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P _E	61,95	kN/m²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P _V	18,76	kN/m²
Enthaltener Stoßfaktor:	φ	1,20	[-]
Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert:	p _T	16,90	kN/m²

3.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:	E _{1,σ}	6,00	N/mm²
--------------------------------	------------------	------	-------

$$E_{3,\sigma} = \frac{40}{4} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr})} \quad 3.01$$

E-Modul anstehender Boden:	E _{3,σ}	1,53	N/mm²
E-Modul Einbettung unter Last:	E _{20,σ}	6,00	N/mm²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f ₁	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:	D _{pr,E20}	0,90	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f ₂	0,750	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	α _{B0}	0,333	[-]
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	α _B	0,717	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	E _{2,σ}	3,23	N/mm²
E-Modul Boden unter dem Rohr:	E _{4,σ}	60,00	N/mm²

3.2.2.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δ _f	1,174	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,752	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S _{Bh}	1,456	N/mm²

Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	2,536	N/mm ²
--------------------------------	----------	-------	-------------------

3.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	90	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,081	m
Höhe untere Bettungsschicht UK Rohr bis Grabensohle:	h_{su}	0,150	m
Berechnete Ausladung:	a	1,27	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	2,366	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	20,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	6,667	°

3.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung:	E_R	34.077,1	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit:	σ_{RBZ}	5,5	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit:	σ_{RBD}	35,0	N/mm ²

Rohrsteifigkeit:	S_R	89.428	kN/m ²
------------------	-------	--------	-------------------

3.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	61,4015	[-]
Steifigkeitsverhältnis:	V_S	316,8276	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_v	-0,1113	[-]

3.2.2.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,500	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck:	K^*	0,002	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_h	0,1011	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_{h,qh^*}	-0,0757	[-]

3.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor:	$\max \lambda$	2,663	[-]
---------------------------------	----------------	-------	-----

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

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert:	λ_R	2,663	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss:	λ_{RG}	1,957	[-]

Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert:	λ_{fo}	3,505	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert:	λ_{fu}	0,406	[-]

Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert:	λ_{RG}	1,957	[-]
Konzentrationsfaktor Boden:	λ_B	0,446	[-]

3.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

Vertikale Gesamtlast:	q_v	140,01	kN/m ²
Seitendruck:	q_h	15,32	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung):	q^*_{hw}	0,00	kN/m ²

3.2.3 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton

3.2.3.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse

Mindestbetongüte, Außen:	C35/45
Mindestbetongüte, Innen:	C35/45
Betongüte:	C35/45

Die Mindestbetongüte wird eingehalten.

3.2.3.2 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN EN 1916:2002 5.2.1)

Vorhandene Ringbewehrung:			vorh. a_{sring}	2,83	cm ² /m
Mindest-Ringbewehrung DIN EN 1916:			min. a_s	1,88	cm ² /m
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	2,83	2,83	2,83	cm ² /m
Mindestbewehrung	min. a_s	1,88	1,88	1,88	cm ² /m
Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN)	U min. a_s	66,3	66,3	66,3	%

Die Mindestbewehrung nach DIN EN 1916:2002, 5.2.1 wird eingehalten bzw. übertroffen.

3.2.3.3 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1)

Maximaler Soll-Abstand Längsbewehrung:		$e_{L,max}$	450	mm
Anzahl der Längsstäbe:		n_{ax}	6	[-]
Angesetzter Radius:		r	235	mm
Vorhandener Umfang Längsbewehrung:		$U_{L,vor}$	1.455	mm
Vorhandener Abstand Längsbewehrung:		$e_{L,vor}$	242	mm
Vorhandene Längsbewehrung:		vorh $a_{s,L}$	1,17	cm ² /m

Der Abstand der Längsstäbe ist ausreichend klein.

3.2.3.4 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2)

Es wird ein Vorhaltemaß von 10 mm angesetzt (Rohr nach DIN V 1201).
Die erforderliche Betonüberdeckung wurde aufgrund 'besonderer Maßnahmen' um 5 mm reduziert.

Erf. Betondeckung außen	erf. $c_{nom,e}$	Scheitel 25,0	Kämpfer 25,0	Sohle 25,0	mm
Vorhandene Betondeckung, außen	$c_{nom,e}$	34,5	34,5	34,5	mm

Die Betondeckung (außen) ist ausreichend.

Erf. Betondeckung innen	erf. $c_{nom,i}$	25,0	25,0	25,0	mm
Vorhandene Betondeckung, innen	$c_{nom,i}$	28,5	28,5	28,5	mm

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

3.2.4 Schnittkräfte , Langzeit

Mittlerer Radius	r_m	Scheitel 237,50	Kämpfer 237,50	Sohle 237,50	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	2,164	-2,203	2,480	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,216	0,216	-0,216	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck	M^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	M^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,044	-0,051	0,068	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,028	-0,033	0,043	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	-0,005	-0,005	-0,005	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	2,016	-2,076	2,370	kNm/m

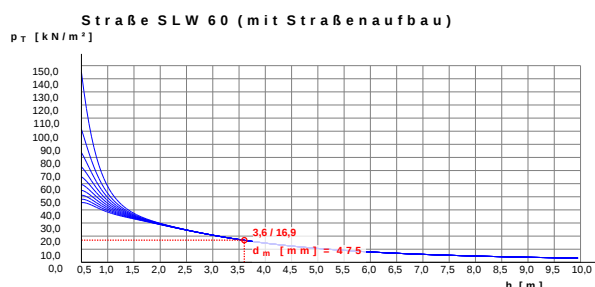
Mittlerer Radius	r_m	Scheitel 237,50	Kämpfer 237,50	Sohle 237,50	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	1,762	-33,252	-1,762	kN/m

Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-3,639	0,000	-3,639	kN/m
Normalkraft aufgrund horiz.	N^*_{qh}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Bettungsreaktionsdruck					
Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung)	N^*_{qw}	0,000	0,000	0,000	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,148	-0,700	-0,148	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,376	0,121	0,752	kN/m
Normalkraft aufgrund WasserdruckInnenendruck	N_{pw}	-2,750	-2,750	-2,750	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-4,102	-36,580	-7,548	kN/m

Enthaltener Stoßfaktor:

ϕ 1,20 [-]

Die vertikalen Spannungen im Boden infolge von Straßenverkehrslasten dürfen beim Ermüdungsnachweis ohne besonderen Nachweis mit einer um 0,30 m erhöhten Überdeckungshöhe berechnet werden. Dadurch wird berücksichtigt, dass für häufige Lastwechsel immer ein Straßenoberbau mit einer günstigen Lastverteilung vorhanden ist.



Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert:

p_T 16,90 kN/m²

Abminderungsfaktor α_V nach Tabelle 14 für Verkehrslasten:

α_V 0,50 [-]

Abgeminderte vertikale Bodenspannung für Ermüdung:

dyn p_V 8,452 kN/m²

Die stützende Wirkung des Bettungsreaktionsdruckes dyn p_{Vh}^* wird nicht angesetzt, da sich das Rohr-Boden-System biegesteif verhält.

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
	m_{qv}	0,274	-0,279	0,314	[-]
Moment aufgrund vertikaler Bodenspannung	dyn M_{qv}	0,131	-0,133	0,150	kNm/m
aufgrund dynamischer Last					
Summe der Momente aufgrund Verkehrslast	$M_{QK,dyn}$	0,131	-0,133	0,150	kNm/m
	n_{pv}	0,053	-1,000	-0,053	[-]
Normalkraft aufgrund vertikaler	dyn N_{qv}	0,106	-2,007	-0,106	kN/m
Bodenspannung aufgrund dynamischer Last					
Summe der Normalkräfte aufgrund	$N_{QK,dyn}$	0,106	-2,007	-0,106	kN/m
Verkehrslast					

3.2.5 Bemessung Ringbewehrung

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:

γ_{RC} 1,50 [-]

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:

γ_{RS} 1,15 [-]

Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:

$f_{ck,cyl}$ 35,0 N/mm²

Bemessungswert Beton:

f_{cd} 19,83 N/mm²

Nennstreckgrenze:

f_{yk} 500 N/mm²

Bemessungswert Betonstahl:

f_{yd} 434,78 N/mm²

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Summe der Momente	M_E	2,016	-2,076	2,370	kNm/m
Summe der Momente inkl.	$M_{E,d}$	2,721	-2,802	3,200	kNm/m
Teilssicherheitsbeiwert					
Summe Normalkraft	N_E	-4,102	-36,580	-7,548	kN/m
Summe der Normalkräfte inkl.	$N_{E,d}$	-5,538	-49,384	-10,189	kN/m
Teilssicherheitsbeiwert					

Bemessung:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	Z_{s1}	0,0	0,0	0,0	mm
Auslegungsmoment Plattenbemessung	$M_{Ed,s}$	2,721	2,802	3,200	kNm/m
Statische Höhe	d	0,038	0,038	0,038	m
Normiertes Auslegungsmoment	$\mu_{Ed,s}$	0,0976	0,1005	0,1147	[-]
Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad	ω	0,1030	0,1062	0,1224	[-]
Rechenwert der Stahlgrenzspannung	$\sigma_{s,d}$	434,78	434,78	434,78	N/mm ²
Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	2,83	2,83	2,83	cm ² /m
Erforderliche Bewehrung (Bemessung)	$a_{s,calc}$	1,63	0,68	1,86	cm ² /m
Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)	$U a_{s,calc}$	57,8	24,1	65,8	%

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

3.2.6 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08 5.2.5)

Ideelles Widerstandsmoment, Zugseite	W_{id}	Scheitel 937,50	Kämpfer 937,50	Sohle 937,50	mm ³ /mm
Biegespannungsanteil aus Biegemomenten	$\sigma_{M,E}$	2,1501	2,2141	2,5280	N/mm ²
Spannungsanteil aus Normalkräften	$\sigma_{N,E}$	-0,0518	-0,4616	-0,0952	N/mm ²
Maßgebliche Biegezugspannung	σ_{bz}	2,0983	1,7525	2,4328	N/mm ²
Spannungsverhältnis	σ_N/σ_M	-0,0241	-0,2085	-0,0377	[-]
Profilhöhe	h	75,00	75,00	75,00	mm
Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9	f_R	0,94	0,90	0,93	[-]
Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I	σ_{VR}	1,97	1,58	2,27	N/mm ²

Mittlere Zugfestigkeit:		f_{ctm}	3,2	N/mm ²
Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201:		$\max \sigma_{VR}$	5,50	N/mm ²

Ausnutzung Rohrvergleichsspannung	$U \sigma_{VR}$	35,8	28,7	41,2	%
-----------------------------------	-----------------	------	------	------	---

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

Alle Nachweise für die Bemessung des Stahlbetons wurden erbracht.

4 Anhänge

Verlegeanweisung

Die von uns hergestellten Produkte, hier insbesondere

- Beton- und Stahlbetonrohre nach DIN EN 1916 und DIN V 1201
- Schachtfertigteile nach DIN EN 1917 und DIN 4034-1
- Schachtfertigteile nach DIN 4034-2
- Stahlbetonfertigteile und Stahlbetonschachtbauwerke

sind

- nach den Technischen Vorschriften, insbesondere nach DIN 19695, zu befördern und lagern.
- neben der FBS-Richtlinie für den Einbau von Rohren und Schachtfertigteilen aus Beton und Stahlbeton, sowie der FBS-Richtlinie für den Einbau von FBS-Schachtfertigteilen aus Beton und Stahlbeton, sind beim Entladen/Abladen, Lagern und Transport auf der Baustelle, Ablassen in den Graben und Einbau/Montage der Rohre und Schachtfertigteile die jeweils zum Zeitpunkt gültigen Unfallverhütungsvorschriften, wie BG-Regeln, u. a. DGUV Regel 100-500 „Betreiben von Arbeitsmitteln“, sowie DGUV Regel 101-001 Sicherheitsregeln „Transportanker und –systeme von Betonfertigteilen“, zu beachten.
- nach DIN EN 1610 (DIN EN 476) und DWA-A 139, sowie den FBS-Einbaurichtlinien zu verlegen.
- bei Rohren mit seitlichen Verlegeankern (ab DN 1300), sowie bei Rohren mit Sonderquerschnitten (z.B. Drachenquerschnitt) für die Rohrmontage Rohrzuggeräte zu verwenden, die im Rohrschaft fixiert werden und das Rohr zusammenziehen. Dabei ist es hilfreich, dass die Rohrmontage durch Einsatz zusätzlich angebrachter Hubzüge – links und rechts an den Ankern des zu verlegenden zum verlegten Rohr – unterstützt wird.

Um Beschädigungen an den Beton- und Stahlbetonrohren beim Zusammenziehen zu vermeiden, sollen Rohrstoßfugenbegrenzer (Abstandhalter) im Muffengrund fixiert werden.

Die max. zulässige Abwinkelung von Rohrverbindungen dürfen die Werte nach DIN EN 476 nicht überschreiten. Dabei dürfen diese Werte nicht gezielt eingesetzt werden um die Rohre in einem Bogen zu verlegen.

Gemäß DWA-A 139 und FBS-Richtlinie für den Einbau von Rohren und Schachtfertigteilen sind die Ankermulden vor dem Verfüllen dauerhaft, dicht und korrosionssicher zu verschließen.

09/2019

Hinweis: Die vorliegenden rechnerischen Nachweise sind von den Eingangsparametern abhängig. Bereits geringe Abweichung dazu können zu erheblichen und nicht zulässigen Spannungsüberschreitungen führen. Daher ist vor Baubeginn und während der Bauausführung die Übereinstimmung aller Annahmen mit den örtlich vorliegenden Verhältnissen zu prüfen. Ggf. kann ein neuer statischer Nachweis erforderlich sein.

>Die Berechnung erfolgt für Rohre der Fa. SCHNURRER, Weiden<

Statische Berechnung aufgestellt, Weiden

Dipl.Ing. (FH) Bernhard Graf

JOSEF SCHNURRER GMBH & CO. KG
Betonwerk - Baustoffe
92637 WEIDEN, OPF.

