

Statische Berechnung

Bauvorhaben: Musterstatik für Stahlbetonrohr DN 1000 Kreisquerschnitt, 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 1000 Kreisquerschnitt !!

Datum: 28.03.2023

Inhaltsangabe

1 Bemerkungen	4
2 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Position 1: DN 1000 Kreisquerschnitt, 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	9
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)	10
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 1000 Kreisquerschnitt, 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	19
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)	20
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 1000 Kreisquerschnitt, H = 0,70 m

Titel der Teilstatik: Position 1: DN 1000 Kreisquerschnitt, 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}	1,50	m
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,max}	1,50	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	2,60	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:	Nein		
Gesamt-Sockelhöhe:	h _s	0,00	m
2.1.5 Stahlbeton-Rohr			
Auswahl der Eingaben:	Di und s		
Innendurchmesser:	d _i	1.000	mm
Wandstärke:	s	120	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}	8,0	mm
Achsabstand Ringbewehrung:	e	79	mm
Durchmesser Längsbewehrung:	Ø _{ax}	6,0	mm
Anzahl der Längsstäbe:	n _{ax}	12	[-]
Exzentrizität Scheitel:	Z _{s,Scheitel}	6,0	mm
Exzentrizität Kämpfer:	Z _{s,Kämpfer}	-6,0	mm
Exzentrizität Sohle wie Scheitel:	Ja		

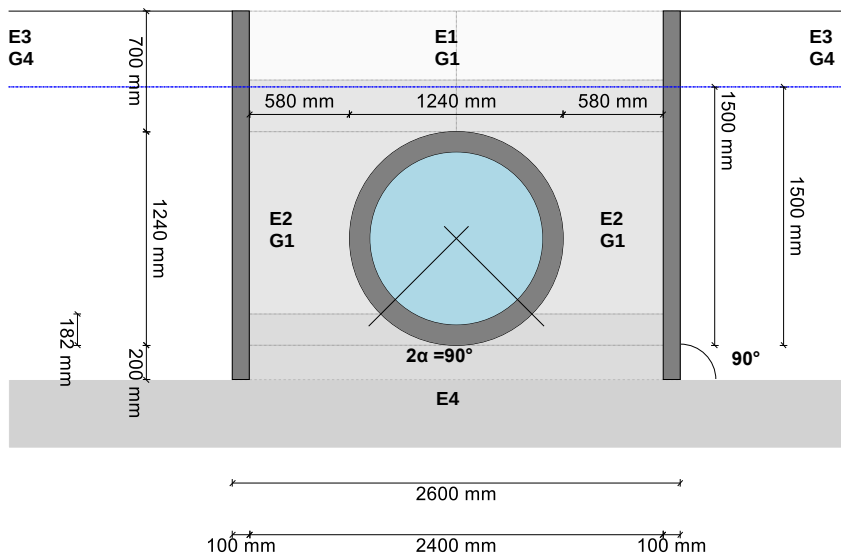
Teilsicherheiten manuell definieren:

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!

Stahlbetonrohr Kreisquerschnitt!

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

Dicke der oberen Bettungsschicht $b \geq 182 \text{ mm}$

Dicke der unteren Bettungsschicht $a \geq 200 \text{ mm}$

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

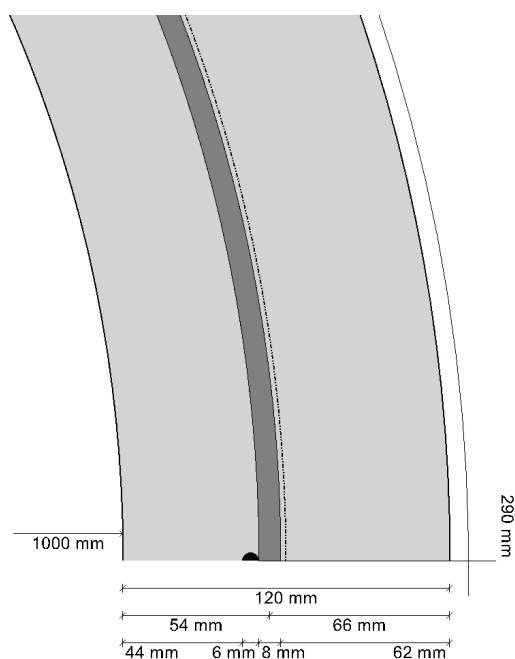
2.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d_i	1.000,0	mm
Außendurchmesser:	d_a	1.240,0	mm
Mittlerer Radius:	r_m	560,00	mm
Wanddicke:	s	120,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	4,667	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,071	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,929	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	0,00	%
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	120,00	mm ² /mm
Trägheitsabstand:	e	60,00	mm
Trägheitsmoment:	I	144.000,00	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	2.400,00	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	2.400,00	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}	12	[-]
Durchmesser Ringbewehrung:	$\varnothing_{rad}$	8,0	mm
Achsabstand Ringbewehrung:	e	79	mm

Exzentrizität Scheitel:			Z _{s,Scheitel}	6,0	mm
Exzentrizität Kämpfer:			Z _{s,Kämpfer}	-6,0	mm
Exzentrizität Sohle wie Scheitel:			Ja		
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Profilhöhe	h	120,00	120,00	120,00	mm
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	z _{s1}	6,0	-6,0	6,0	mm
Statische Höhe innen	d _{S,i}	54,0	54,0	54,0	mm
Statische Höhe außen	d _{S,e}	66,0	66,0	66,0	mm
Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton nach DIN V 1201:2004-08:			n	15,0	[-]
	Z _{id}	0,4	-0,4	0,4	mm
Ideelle Querschnittsfläche	A _{id}	1.295,44	1.295,44	1.295,44	cm²/m
Ideelles Trägheitsmoment	I _{id}	144.294,8	144.294,8	144.294,8	mm^4/mm
Ideelles Widerstandsmoment, außen	W _{id,a}	2.387,33	2.422,76	2.387,33	mm³/mm
Ideelles Widerstandsmoment, innen	W _{id,i}	2.422,76	2.387,33	2.422,76	mm³/mm
Vorhandene Betondeckung, innen	C _{nom,i}	44,0	44,0	44,0	mm
Vorhandene Betondeckung, außen	C _{nom,e}	62,0	62,0	62,0	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}	0,26	m
Wichte Verfüllung unter Wasser:	γ'	11,00	kN/m³
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P _{Erd}	11,66	kN/m²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P _E	11,66	kN/m²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P _V	68,83	kN/m²
Enthaltener Stoßfaktor:	φ	1,20	[-]
Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert:	p _T	49,89	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	0,577	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	E _{2,σ}	2,60	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	0,849	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,744	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S _{Bh}	1,159	N/mm²
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S _{Bv}	2,597	N/mm²

2.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	90	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,182	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	2,311	[-]
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	27.942	kN/m ²

2.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	24,1126	[-]
Steifigkeitsverhältnis:	V_S	104,0903	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_v	-0,1034	[-]

2.2.2.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,500	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck:	K^*	0,004	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_h	0,0981	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_{h,qh^*}	-0,0704	[-]

2.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor:	$\max \lambda$	1,311	[-]
---------------------------------	----------------	-------	-----

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	1,311	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss:	λ_{RG}	1,114	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert:	λ_{fo}	3,895	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert:	λ_{fu}	0,904	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert:	λ_{RG}	1,114	[-]
Konzentrationsfaktor Boden:	λ_B	0,896	[-]

2.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

Vertikale Gesamtlast:	q_v	81,81	kN/m ²
Seitendruck:	q_h	8,64	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}	6,36	cm ² /m
Mindest-Ringbewehrung DIN EN 1916:	min. a_s	3,00	cm ² /m
	Scheitel	Kämpfer	Sohle

Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	6,36	6,36	6,36	cm ² /m
Mindestbewehrung	min. a_s	3,00	3,00	3,00	cm ² /m
Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN)	U min. a_s	47,1	47,1	47,1	%

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}	12	[-]
Ange-setzter Radius:	r	551	mm
Vorhandener Umfang Längsbewehrung:	$U_{L,vor}$	3.475	mm
Vorhandener Abstand Längsbewehrung:	$e_{L,vor}$	290	mm
Vorhandene Längsbewehrung:	vorh $a_{s,L}$	0,98	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 30,0	Kämpfer 30,0	Sohle 30,0	mm
Vorhandene Betondeckung, außen	$C_{nom,e}$	62,0	62,0	62,0	mm

Die Betondeckung (außen) ist ausreichend.

Erf. Betondeckung innen	erf. $C_{nom,i}$	30,0	30,0	30,0	mm
Vorhandene Betondeckung, innen	$C_{nom,i}$	44,0	44,0	44,0	mm

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

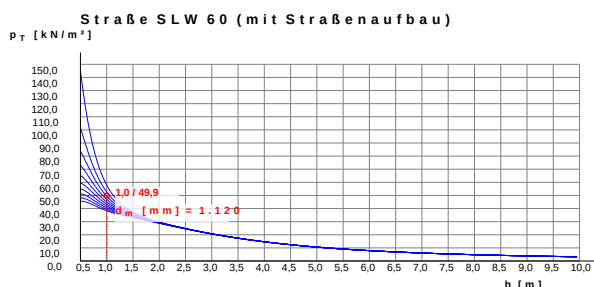
2.2.4 Schnittkräfte , Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			r	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	560,00	560,00	560,00	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	7,030	-7,158	8,056	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,677	0,677	-0,677	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,394	-0,456	0,604	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,369	-0,427	0,564	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	-0,018	-0,018	-0,018	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	7,098	-7,382	8,529	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	560,00	560,00	560,00	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	2,428	-45,815	-2,428	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-4,836	0,000	-4,836	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,559	-2,639	-0,559	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	2,092	0,674	4,180	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	-9,300	-9,300	-9,300	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-9,057	-57,080	-12,944	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	49,89	kN/m ²
Abminderungsfaktor α_V nach Tabelle 14 für Verkehrslasten:	α_V	0,50	[-]
Abgeminderte vertikale Bodenspannung für Ermüdung:	dyn p_V	24,945	kN/m ²

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 aufgrund dynamischer Last	dyn M_{qV}	2,143	-2,183	2,456	kNm/m
Summe der Momente aufgrund Verkehrslast	$M_{QK,dyn}$	2,143	-2,183	2,456	kNm/m
	n_{pV}	0,053	-1,000	-0,053	[-]
Normalkraft aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last	dyn N_{qV}	0,740	-13,969	-0,740	kN/m
Summe der Normalkräfte aufgrund Verkehrslast	$N_{QK,dyn}$	0,740	-13,969	-0,740	kN/m

2.2.5 Bemessung Ringbewehrung

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:		YRC	1,50	[-]	
Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:		YRS	1,15	[-]	
Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:		f _{ck,cyl}	35,0	N/mm ²	
Bemessungswert Beton:		f _{cd}	19,83	N/mm ²	
Nennstreckgrenze:		f _{yk}	500	N/mm ²	
Bemessungswert Betonstahl:		f _{yd}	434,78	N/mm ²	
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Summe der Momente	M _E	7,098	-7,382	8,529	kNm/m
Summe der Momente inkl.	M _{E,d}	9,582	-9,966	11,514	kNm/m
Teilssicherheitsbeiwert					
Summe Normalkraft	N _E	-9,057	-57,080	-12,944	kN/m
Summe der Normalkräfte inkl.	N _{E,d}	-12,227	-77,058	-17,474	kN/m
Teilssicherheitsbeiwert					
Bemessung:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	Z _{s1}	6,0	-6,0	6,0	mm
Auslegungsmoment Plattenbemessung	M _{Ed,s}	9,655	9,503	11,619	kNm/m
Statische Höhe	d	0,066	0,054	0,066	m
Normiertes Auslegungsmoment	μ _{Ed,s}	0,1118	0,1643	0,1345	[-]
Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad	ω	0,1190	0,1812	0,1453	[-]
Rechenwert der Stahlgrenzspannung	σ _{s,d}	434,78	434,78	434,78	N/mm ²
Vorhandene Bewehrung	vorh. a _s	6,36	6,36	6,36	cm ² /m
Erforderliche Bewehrung (Bemessung)	a _{s,calc}	3,30	2,69	3,97	cm ² /m
Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)	U a _{s,calc}	51,9	42,3	62,5	%

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

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

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Ideelles Widerstandsmoment, Zugseite	W_{id}	2.422,76	2.422,76	2.422,76	mm ³ /mm
Biegespannungsanteil aus Biegemomenten	$\sigma_{M,E}$	2,9297	3,0469	3,5203	N/mm ²
Spannungsanteil aus Normalkräften	$\sigma_{N,E}$	-0,0699	-0,4406	-0,0999	N/mm ²
Maßgebliche Biegezugspannung	σ_{bz}	2,8597	2,6063	3,4204	N/mm ²
Spannungsverhältnis	σ_N/σ_M	-0,0239	-0,1446	-0,0284	[-]
Profilhöhe	h	120,00	120,00	120,00	mm
Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9	f_R	1,02	0,92	1,01	[-]
Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I	σ_{VR}	2,91	2,40	3,46	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	$U \sigma_{VR}$	52,8	43,7	62,9	%

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:	$\gamma_{Ed,fat}$	1,00	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:	$\gamma_{s,fat}$	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 $2 \cdot 10^6$ Zyklen:	$\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$	74,00	N/mm ²
Modifizierte Betondruckfestigkeit:	$f_{cd,fat}$	17,06	N/mm ²

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Moment aufgrund ständiger Lasten	M_G	1,184	-1,360	1,751	kNm/m
Normalkraft aufgrund ständiger Lasten	N_G	-11,100	-18,536	-10,901	kN/m
Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment aufgrund ständiger Lasten	M_{Gs}	1,250	1,249	1,817	kNm/m
Bemessungsmoment, ständig	$M'_{Gs,min}$	1,250	1,249	1,817	kNm/m
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	Z_{s1}	6,0	-6,0	6,0	mm
Moment für Ermüdungsnachweis	$M_{Q,dyn}$	2,143	-2,183	2,456	kNm/m
Normalkraft für Ermüdungsnachweis	$N_{Q,dyn}$	0,740	-13,969	-0,740	kN/m
Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment aufgrund dynamischer Lasten	$M_{Qs,dyn}$	2,139	2,099	2,461	kNm/m
Bemessungsmoment, dynamisch	$M'_{Qs,dyn}$	2,139	2,099	2,461	kNm/m

2.3.1 Nachweis der geschweißten Bewehrungskörbe

Statische Höhe	d	0,066	0,054	0,066	m
Höhe der Betondruckzone	x	0,019	0,017	0,019	m
Höhe der Zugzone	$d-x$	0,047	0,037	0,047	m
Innerer Hebelarm	z	0,060	0,048	0,060	m
Betonspannung	$\sigma_{c,dyn}$	3,813	5,192	4,387	N/mm ²
Spannung in der Zugbewehrung	$\sigma_{s,dyn}$	57,436	46,145	63,574	N/mm ²
Kontrolle	$\sigma_{s,dyn,kon}$	57,436	46,145	63,574	N/mm ²
Ermittelter Wert	$\Delta\sigma_{s,eq}$	57,436	46,145	63,574	N/mm ²
Maximalwert (abgeminderte Schwingbreite)	$\Delta\sigma_{Rsk}/\gamma_{s,fat}$	64,348	64,348	64,348	N/mm ²
Vorhandene Bewehrung	$vorh. a_s$	6,36	6,36	6,36	cm ² /m
Erforderliche Bewehrung aus Ermüden	$erf. a_s$	5,68	4,56	6,29	cm ² /m

Ausnutzung Ermüden Stahl	$U \sigma_{s,dyn}$	89,3	71,7	98,8	%
--------------------------	--------------------	------	------	------	---

Der Nachweis gegen Ermüden der Bewehrung ist erbracht.

2.3.2 Nachweis Beton in der Druckzone

Bemessungsmoment, ständig+dynamisch	$M'_{Ed,dyn}$	3,389	3,347	4,278	kNm/m
Maximale Betondruckspannung	$\sigma'_{c,max}$	6,042	8,280	7,626	N/mm ²
Minimale Betondruckspannung	$\sigma'_{c,min}$	2,229	3,089	3,239	N/mm ²
Ausnutzung bei maximaler Betondruckspannung	$U_{\sigma'c,max,eff}$	0,354	0,485	0,447	[-]
Ausnutzung Ermüden maximale Spannung	$U \sigma_{s,max,dyn}$	63,4	83,5	76,4	%
Ausnutzung bei minimaler Betondruckspannung	$U_{\sigma'c,min,eff}$	0,559	0,581	0,585	[-]
Ausnutzung Ermüden minimale Spannung	$U \sigma_{s,min,dyn}$	62,1	64,6	65,0	%
Ausnutzung Ermüden Beton	$U \sigma_{c,dyn}$	63,4	83,5	76,4	%

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 1000 Kreisquerschnitt, H = 3,30 m

Titel der Teilstatik: Position 2: DN 1000 Kreisquerschnitt, 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}	1,50	m
Maximaler Grundwasserstand über Sohle:	h _{W,max}	1,50	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	2,60	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:	Nein		
Gesamt-Sockelhöhe:	h _s	0,00	m
3.1.5 Stahlbeton-Rohr			
Auswahl der Eingaben:	Di und s		
Innendurchmesser:	d _i	1.000	mm
Wandstärke:	s	120	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}	8,0	mm
Achsabstand Ringbewehrung:	e	79	mm
Durchmesser Längsbewehrung:	Ø _{ax}	6,0	mm
Anzahl der Längsstäbe:	n _{ax}	12	[-]
Exzentrizität Scheitel:	Z _{s,Scheitel}	6,0	mm
Exzentrizität Kämpfer:	Z _{s,Kämpfer}	-6,0	mm
Exzentrizität Sohle wie Scheitel:	Ja		

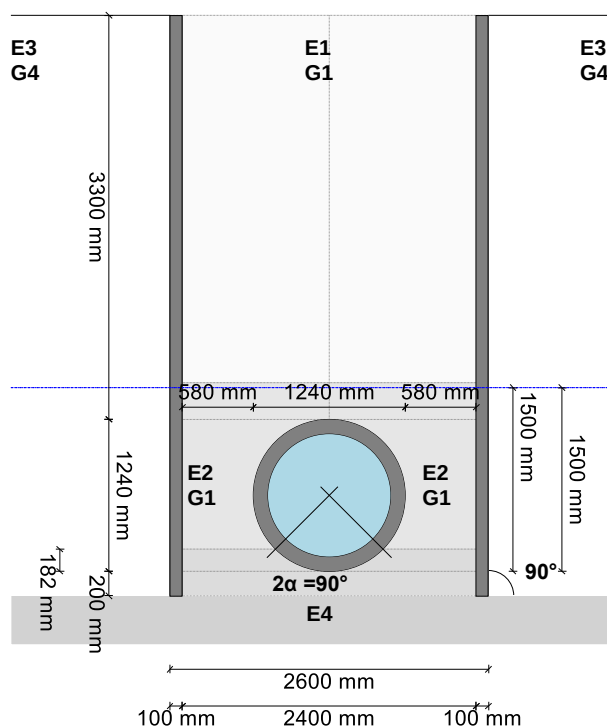
Teilsicherheiten manuell definieren:

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!

Stahlbetonrohr Kreisquerschnitt!

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

Dicke der oberen Bettungsschicht $b \geq 182 \text{ mm}$

Dicke der unteren Bettungsschicht $a \geq 200 \text{ mm}$

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

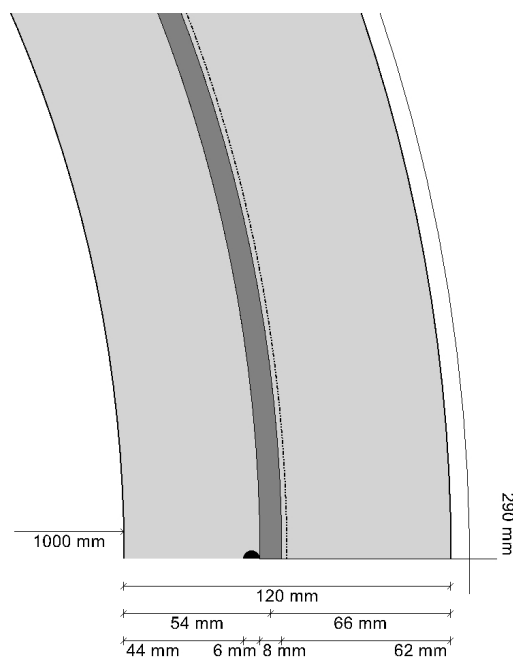
3.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	d_i	1.000,0	mm
Außendurchmesser:	d_a	1.240,0	mm
Mittlerer Radius:	r_m	560,00	mm
Wanddicke:	s	120,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	4,667	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,071	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,929	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	0,00	%
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	120,00	mm ² /mm
Trägheitsabstand:	e	60,00	mm
Trägheitsmoment:	I	144.000,00	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	2.400,00	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	2.400,00	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}	12	[-]
Durchmesser Ringbewehrung:	$\varnothing_{rad}$	8,0	mm
Achsabstand Ringbewehrung:	e	79	mm

Exzentrizität Scheitel:			Z _{s,Scheitel}	6,0	mm
Exzentrizität Kämpfer:			Z _{s,Kämpfer}	-6,0	mm
Exzentrizität Sohle wie Scheitel:			Ja		
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Profilhöhe	h	120,00	120,00	120,00	mm
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	Z _{s1}	6,0	-6,0	6,0	mm
Statische Höhe innen	d _{S,i}	54,0	54,0	54,0	mm
Statische Höhe außen	d _{S,e}	66,0	66,0	66,0	mm
Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton nach DIN V 1201:2004-08:			n	15,0	[-]
	Z _{id}	0,4	-0,4	0,4	mm
Ideelle Querschnittsfläche	A _{id}	1.295,44	1.295,44	1.295,44	cm²/m
Ideelles Trägheitsmoment	I _{id}	144.294,8	144.294,8	144.294,8	mm⁴/mm
Ideelles Widerstandsmoment, außen	W _{id,a}	2.387,33	2.422,76	2.387,33	mm³/mm
Ideelles Widerstandsmoment, innen	W _{id,i}	2.422,76	2.387,33	2.422,76	mm³/mm
Vorhandene Betondeckung, innen	C _{nom,i}	44,0	44,0	44,0	mm
Vorhandene Betondeckung, außen	C _{nom,e}	62,0	62,0	62,0	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}	0,26	m
Wichte Verfüllung unter Wasser:	γ'	11,00	kN/m³
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P _{Erd}	63,66	kN/m²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P _E	63,66	kN/m²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P _V	18,75	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	0,577	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	E _{2,σ}	2,60	N/mm²
E-Modul Boden unter dem Rohr:	E _{4,σ}	60,00	N/mm²

3.2.2.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δf	0,849	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,744	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S _{Bh}	1,159	N/mm²
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S _{Bv}	2,597	N/mm²

3.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	90	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,182	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	2,311	[-]
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	27.942	kN/m ²

3.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	24,1126	[-]
Steifigkeitsverhältnis:	V_S	104,0903	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_v	-0,1034	[-]

3.2.2.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,500	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck:	K^*	0,004	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_h	0,0981	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_{h,qh^*}	-0,0704	[-]

3.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor:	$\max \lambda$	2,047	[-]
---------------------------------	----------------	-------	-----

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	2,047	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss:	λ_{RG}	1,383	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert:	λ_{fo}	3,505	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert:	λ_{fu}	0,640	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert:	λ_{RG}	1,383	[-]
Konzentrationsfaktor Boden:	λ_B	0,651	[-]

3.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

Vertikale Gesamtlast:	q_v	106,78	kN/m ²
Seitendruck:	q_h	24,13	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}	6,36	cm ² /m
Mindest-Ringbewehrung DIN EN 1916:	min. a_s	3,00	cm ² /m
	Scheitel	Kämpfer	Sohle

Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	6,36	6,36	6,36	cm ² /m
Mindestbewehrung	min. a_s	3,00	3,00	3,00	cm ² /m
Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN)	U min. a_s	47,1	47,1	47,1	%

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}	12	[-]
Ange-setzter Radius:	r	551	mm
Vorhandener Umfang Längsbewehrung:	$U_{L,vor}$	3.475	mm
Vorhandener Abstand Längsbewehrung:	$e_{L,vor}$	290	mm
Vorhandene Längsbewehrung:	vorh $a_{s,L}$	0,98	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 30,0	Kämpfer 30,0	Sohle 30,0	mm
Vorhandene Betondeckung, außen	$C_{nom,e}$	62,0	62,0	62,0	mm

Die Betondeckung (außen) ist ausreichend.

Erf. Betondeckung innen	erf. $C_{nom,i}$	30,0	30,0	30,0	mm
Vorhandene Betondeckung, innen	$C_{nom,i}$	44,0	44,0	44,0	mm

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

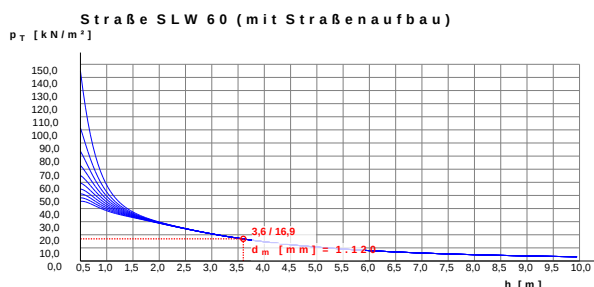
3.2.4 Schnittkräfte , Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):			r	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	560,00	560,00	560,00	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	9,175	-9,342	10,514	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-1,892	1,892	-1,892	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,394	-0,456	0,604	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,369	-0,427	0,564	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	-0,018	-0,018	-0,018	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	8,028	-8,351	9,772	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	560,00	560,00	560,00	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	3,169	-59,794	-3,169	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-13,515	0,000	-13,515	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,559	-2,639	-0,559	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	2,092	0,674	4,180	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	-9,300	-9,300	-9,300	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-16,994	-71,059	-22,363	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:
Abminderungsfaktor α_V nach Tabelle 14 für Verkehrslasten:
Abgeminderte vertikale Bodenspannung für Ermüdung:

p_T	16,90	kN/m ²
α_V	0,50	[-]
dyn p_V	8,450	kN/m ²

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 aufgrund dynamischer Last	dyn M_{qV}	0,726	-0,739	0,832	kNm/m
Summe der Momente aufgrund Verkehrslast	$M_{QK,dyn}$	0,726	-0,739	0,832	kNm/m
	n_{pV}	0,053	-1,000	-0,053	[-]
Normalkraft aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last	dyn N_{qV}	0,251	-4,732	-0,251	kN/m
Summe der Normalkräfte aufgrund Verkehrslast	$N_{QK,dyn}$	0,251	-4,732	-0,251	kN/m

3.2.5 Bemessung Ringbewehrung

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:
Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:
Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:
Bemessungswert Beton:
Nennstreckgrenze:
Bemessungswert Betonstahl:

YRC	1,50	[-]
YRS	1,15	[-]
$f_{ck,cyl}$	35,0	N/mm ²
f_{cd}	19,83	N/mm ²
f_{yk}	500	N/mm ²
f_{yd}	434,78	N/mm ²

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Summe der Momente	M_E	8,028	-8,351	9,772	kNm/m
Summe der Momente inkl. Teilssicherheitsbeiwert	$M_{E,d}$	10,838	-11,274	13,192	kNm/m
Summe Normalkraft	N_E	-16,994	-71,059	-22,363	kN/m
Summe der Normalkräfte inkl. Teilssicherheitsbeiwert	$N_{E,d}$	-22,943	-95,930	-30,190	kN/m
Bemessung:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	Z_{s1}	6,0	-6,0	6,0	mm
Auslegungsmoment Plattenbemessung	$M_{Ed,s}$	10,975	10,698	13,373	kNm/m
Statische Höhe	d	0,066	0,054	0,066	m
Normiertes Auslegungsmoment	$\mu_{Ed,s}$	0,1270	0,1850	0,1548	[-]
Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad	ω	0,1367	0,2070	0,1696	[-]
Rechenwert der Stahlgrenzspannung	$\sigma_{s,d}$	434,78	434,78	434,78	N/mm ²
Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	6,36	6,36	6,36	cm ² /m
Erforderliche Bewehrung (Bemessung)	$a_{s,calc}$	3,59	2,89	4,41	cm ² /m
Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)	$U \ a_{s,calc}$	56,4	45,5	69,3	%

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

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

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Ideelles Widerstandsmoment, Zugseite	W_{id}	2.422,76	2.422,76	2.422,76	mm ³ /mm
Biegespannungsanteil aus Biegemomenten	$\sigma_{M,E}$	3,3135	3,4469	4,0334	N/mm ²
Spannungsanteil aus Normalkräften	$\sigma_{N,E}$	-0,1312	-0,5485	-0,1726	N/mm ²
Maßgebliche Biegezugspannung	σ_{bz}	3,1823	2,8984	3,8608	N/mm ²
Spannungsverhältnis	σ_N/σ_M	-0,0396	-0,1591	-0,0428	[-]
Profilhöhe	h	120,00	120,00	120,00	mm
Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9	f_R	1,00	0,92	1,00	[-]
Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I	σ_{VR}	3,18	2,66	3,85	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	$U \sigma_{VR}$	57,9	48,3	70,0	%

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.

