

Statische Berechnung

Bauvorhaben: Musterstatik für Stahlbetonrohr DN 300, Rohrüberdeckung = 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: Betonwerk Steinbach GmbH & Co. KG
Flemmingener Weg 2
09322 Penig, OT Niedersteinbach

Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Daniel Weiße
Betonwerk Steinbach GmbH & Co. KG
09322 Penig

Statik-Nr.: DN 300 Stb

Datum: 14.04.2025

Betonwerk Steinbach GmbH & Co. KG

Niedersteinbach – Flemmingener Weg 2

09322 Penig

Tel. 03 44 97 / 731-0 / Fax 731-10

www.betonwerk-steinbach.net

steinbach@betonwerk-steinbach.net



Unterschrift

Inhaltsangabe

1 Bemerkungen	4
2 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Position 1: DN 300 Stb, 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
2.2.2 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	9
2.2.3 Zwischenergebnisse	9
2.2.3.1 Silotheorie	9
2.2.3.2 Belastung	9
2.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB	10
2.2.3.4 Bodensteifigkeiten	10
2.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	10
2.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	10
2.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse	10
2.2.3.8 Beiwerte	10
2.2.3.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	10
2.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang	11
2.2.4 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton	11
2.2.4.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse	11
2.2.4.2 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN EN 1916:2002 5.2.1)	11
2.2.4.3 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1)	11
2.2.4.4 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2)	11
2.2.5 Schnittkräfte , Langzeit	11
2.2.6 Bemessung Ringbewehrung	13
2.2.7 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	14
2.3.2 Nachweis Beton in der Druckzone	14
3 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Position 2: DN 300 Stb, 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
3.2.2 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	19
3.2.3 Zwischenergebnisse	19
3.2.3.1 Silotheorie	19
3.2.3.2 Belastung	19
3.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB	20
3.2.3.4 Bodensteifigkeiten	20
3.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	20
3.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	20
3.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse	20
3.2.3.8 Beiwerte	20
3.2.3.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B	20
3.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang	21
3.2.4 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton	21
3.2.4.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse	21
3.2.4.2 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN EN 1916:2002 5.2.1)	21
3.2.4.3 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1)	21
3.2.4.4 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2)	21
3.2.5 Schnittkräfte , Langzeit	21
3.2.6 Bemessung Ringbewehrung	22
3.2.7 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08 5.2.5)	22

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 Rohrwickels
- 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 300 Stb, H = 0,70 m

Titel der Teilstatik: Position 1: DN 300 Stb, 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:

D_{Pr,E3} 90,0 %

E4 = 10 · E1:

Anwendung von Silotheorie:

K2 nach Norm:

Ja

Automatisch

Ja

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/m³

Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:

Nein

Zusätzliche Flächenlast:

p₀ 0,0 kN/m²

Innendruck, langfristig:

P_{1,L} 0,00 bar

Wasserfüllung (z.B. Staukanal):

Ja

Wichte Füllmedium:

γ_F 10,0 kN/m³

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 1,30 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):

bs 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

Rohrauswahl aus Datenbank:

Nein

Auswahl der Eingaben:

Da und Di

Außendurchmesser:

d_a 440 mm

Innendurchmesser:

d_i 300 mm

Betongüte:

C40/50

Betonstahl nach Norm:

Ja

Nachweis der Rissbreite:

Nein

Manuelle Vorgabe max f_R:

Nein

Lastklasse ermitteln:

Nein

Lastwechsel-Zahl manuell:

Nein

Dyn. Nachweis für:

2·10⁶ 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} 12 [-]

Eingabe Exzentrizität:

Betonüberdeckung innen

Betonüberdeckung Scheitel:

c_{,Sch} 26,5 mm

Betonüberdeckung Kämpfer:

c_{,Sch} 26,5 mm

Exzentrizität Sohle wie Scheitel:

Ja

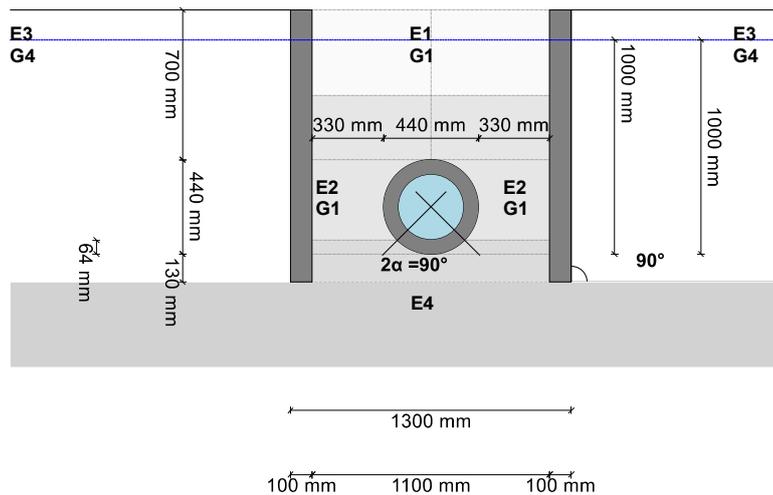
Teilsicherheiten manuell definieren:

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 $b \geq 64 \text{ mm}$

Dicke der unteren Bettungsschicht $a \geq 130 \text{ mm}$

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

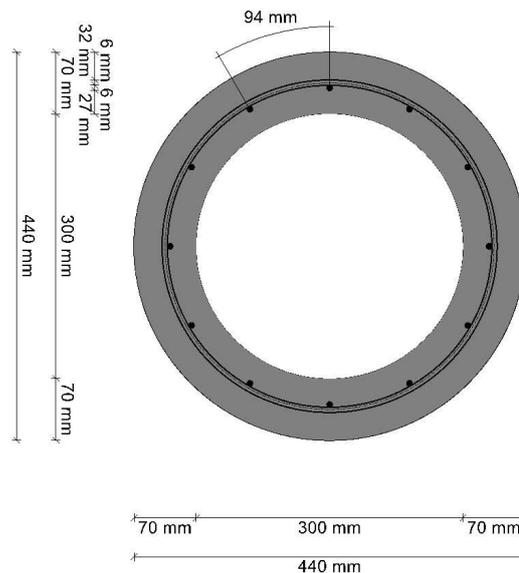
2.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

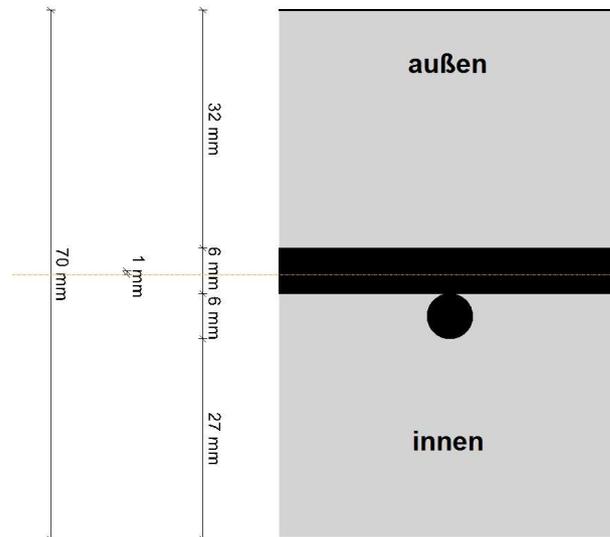
Innendurchmesser:	d_i	300,0	mm
Außendurchmesser:	d_a	440,0	mm
Mittlerer Radius:	r_m	185,00	mm
Wanddicke:	s	70,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	2,643	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,126	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,874	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	0,00	%
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	70,00	mm ² /mm
Trägheitsabstand:	e	35,00	mm
Trägheitsmoment:	I	28.583,33	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	816,67	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	816,67	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:	$f_{ck,cyl}$	40,0	N/mm ²
Charakteristische Würfeldruckfestigkeit:	$f_{ck,cube}$	50,0	N/mm ²
Druckfestigkeit:	f_{cm}	48,0	N/mm ²
Mittlere Zugfestigkeit:	f_{ctm}	3,5	N/mm ²
Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):	E_{cm}	35.220	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}	6,0	mm	
Achsabstand Ringbewehrung:		e	100	mm	
Exzentrizität Scheitel:		$Z_{s,Sch}$	0,0	mm	
Exzentrizität Kämpfer:		$Z_{s,K}$	0,0	mm	
Exzentrizität Sohle wie Scheitel:		Ja			
		Kämpfer	Sohle		
Profilhöhe	h	70,00	70,00	70,00	mm
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	z_{s1}	-0,5	0,5	-0,5	mm
Statische Höhe innen	$d_{s,i}$	35,5	35,5	35,5	mm
Statische Höhe außen	$d_{s,e}$	34,5	34,5	34,5	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}	742,41	742,41	742,41	cm ² /m
Ideelles Trägheitsmoment	I_{id}	28.584,3	28.584,3	28.584,3	mm ⁴ /mm
Ideelles Widerstandsmoment, außen	$W_{id,a}$	817,36	816,03	817,36	mm ³ /mm
Ideelles Widerstandsmoment, innen	$W_{id,i}$	816,03	817,36	816,03	mm ³ /mm
Vorhandene Betondeckung, innen	$c_{nom,i}$	26,5	26,5	26,5	mm
Vorhandene Betondeckung, außen	$c_{nom,e}$	31,5	31,5	31,5	mm

2.2.2 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

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

2.2.3 Zwischenergebnisse

2.2.3.1 Silotheorie

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

κ_0 und κ wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.

2.2.3.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	0,56	m
Wichte Verfüllung unter Wasser:	γ'	11,00	kN/m ³

Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	8,96	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	8,96	kN/m ²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	83,65	kN/m ²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,20	[-]
Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert:	p_{Tdyn}	54,94	kN/m ²

2.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB

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

E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,\sigma}$	1,53	N/mm ²
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	3,45	N/mm ²
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	6,00	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:	$D_{pr,E20}$	0,90	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	0,750	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	α_{B0}	0,333	[-]
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	α_B	0,768	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	3,45	N/mm ²
E-Modul Boden unter dem Rohr:	$E_{4,\sigma}$	60,00	N/mm ²

2.2.3.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δf	1,273	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,770	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	1,596	N/mm ²
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	3,455	N/mm ²

2.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	90	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,064	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	1,737	[-]
Innerer Reibungswinkel:	ϕ'	20,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	6,667	°

2.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung:	$E_{R,rad}$	35.220,5	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit:	$f_{t,fl}$	6,0	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit:	$f_{c,rad}$	40,0	N/mm ²
Rohrsteifigkeit:	S_R	158.998	kN/m ²

2.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	99,6137	[-]
Steifigkeitsverhältnis:	V_S	390,9599	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_v	-0,1177	[-]

2.2.3.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,500	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck:	K^*	0,001	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_h	0,1035	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_{h,qh^*}	-0,0800	[-]

2.2.3.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor:	$\max \lambda$	1,548	[-]
---------------------------------	----------------	-------	-----

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

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert:	λ_R	1,548	[-]
--	-------------	-------	-----

Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss:	λ_{RG}	1,357	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert:	λ_{fo}	3,895	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert:	λ_{fu}	0,759	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert:	λ_{RG}	1,357	[-]
Konzentrationsfaktor Boden:	λ_B	0,817	[-]

2.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang

Vertikale Gesamtlast:	q_v	95,81	kN/m ²
Seitendruck:	q_h	4,87	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung):	q_{*hw}	0,00	kN/m ²

2.2.4 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton

2.2.4.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse

Mindestbetongüte, Außen:	C35/45
Mindestbetongüte, Innen:	C35/45
Betongüte:	C40/50

Die Mindestbetongüte wird eingehalten.

2.2.4.2 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	1,75	cm ² /m	
Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mindestbewehrung	min. a_s	2,83	2,83	2,83	cm ² /m
Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN)	U min. a_s	1,75	1,75	1,75	cm ² /m
		61,9	61,9	61,9	%

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

2.2.4.3 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	[-]
Angesetzter Radius:	r	182	mm
Vorhandener Umfang Längsbewehrung:	$U_{L,vor}$	1.125	mm
Vorhandener Abstand Längsbewehrung:	$e_{L,vor}$	94	mm
Vorhandene Längsbewehrung:	vorh $a_{s,L}$	3,02	cm ² /m

Der Abstand der Längsstäbe ist ausreichend klein.

2.2.4.4 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	
Vorhandene Betondeckung, außen	$c_{nom,e}$	25,0	25,0	25,0	mm
		31,5	31,5	31,5	mm

Die Betondeckung (außen) ist ausreichend.

Erf. Betondeckung innen	erf. $c_{nom,i}$	25,0	25,0	25,0	mm
Vorhandene Betondeckung, innen	$c_{nom,i}$	26,5	26,5	26,5	mm

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

2.2.5 Schnittkräfte , Langzeit

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

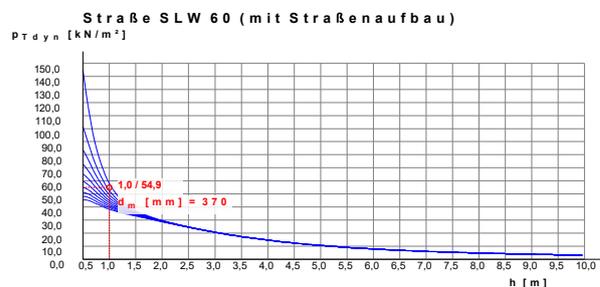
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	185,00	185,00	185,00	mm
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	0,899	-0,915	1,030	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,042	0,042	-0,042	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,025	-0,029	0,038	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,013	-0,015	0,020	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	-0,004	-0,004	-0,004	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	0,891	-0,922	1,043	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	185,00	185,00	185,00	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	0,939	-17,726	-0,939	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-0,901	0,000	-0,901	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,108	-0,509	-0,108	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,228	0,074	0,456	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	-2,200	-2,200	-2,200	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-1,826	-20,361	-3,692	kN/m

Enthaltener Stoßfaktor:

$$\phi = 1,20 \quad [-]$$

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:

$$pT_{dyn} = 54,94 \quad \text{kN/m}^2$$

Abminderungsfaktor α_V nach Tabelle 14 für Verkehrslasten:

$$\alpha_V = 0,50 \quad [-]$$

Abgeminderte vertikale Bodenspannung für Ermüdung:

$$dyn \, p_v = 27,468 \quad \text{kN/m}^2$$

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

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Moment aufgrund vertikaler Bodenspannung	m_{qv}	0,274	-0,279	0,314	[-]
aufgrund dynamischer Last	$dyn \, M_{qv}$	0,258	-0,262	0,295	kNm/m
Summe der Momente aufgrund Verkehrslast	$M_{QK,dyn}$	0,258	-0,262	0,295	kNm/m
Normalkraft aufgrund vertikaler Bodenspannung	n_{pv}	0,053	-1,000	-0,053	[-]
aufgrund dynamischer Last	$dyn \, N_{qv}$	0,269	-5,082	-0,269	kN/m
Summe der Normalkräfte aufgrund Verkehrslast	$N_{QK,dyn}$	0,269	-5,082	-0,269	kN/m

2.2.6 Bemessung Ringbewehrung

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:		YRC	1,50	[-]	
Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:		YRS	1,15	[-]	
Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:		$f_{ck,cyl}$	40,0	N/mm ²	
Bemessungswert Beton:		f_{cd}	22,67	N/mm ²	
Nennstreckgrenze:		f_{yk}	500	N/mm ²	
Bemessungswert Betonstahl:		f_{yd}	434,78	N/mm ²	
		Kämpfer	Sohle		
Summe der Momente	M_E	0,891	-0,922	1,043	kNm/m
Summe der Momente inkl.	M_{Ed}	1,203	-1,244	1,408	kNm/m
Teilssicherheitsbeiwert					
Summe Normalkraft	N_E	-1,826	-20,361	-3,692	kN/m
Summe der Normalkräfte inkl.	N_{Ed}	-2,465	-27,487	-4,985	kN/m
Teilssicherheitsbeiwert					
Bemessung:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	Z_{s1}	-0,5	0,5	-0,5	mm
Auslegungsmoment Plattenbemessung	M_{Eds}	1,202	1,258	1,405	kNm/m
Rechenwert der Stahlgrenzspannung	$\sigma_{s,d}$	434,78	434,78	434,78	N/mm ²
Statische Höhe	d	0,035	0,036	0,035	m
Normiertes Auslegungsmoment	μ_{Eds}	0,0446	0,0440	0,0521	[-]
Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad	ω	0,0458	0,0452	0,0537	[-]
Erforderliche Bewehrung (Bemessung)	$a_{s,calc}$	0,77	0,21	0,85	cm ² /m
Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	2,83	2,83	2,83	cm ² /m
Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)	$U a_{s,calc}$	27,1	7,3	30,1	%

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

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

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Ideelles Widerstandsmoment, Zugseite	W_{id}	816,03	816,03	816,03	mm ³ /mm
Biegespannungsanteil aus Biegemomenten	$\sigma_{M,E}$	1,0922	1,1294	1,2779	N/mm ²
Spannungsanteil aus Normalkräften	$\sigma_{N,E}$	-0,0246	-0,2742	-0,0497	N/mm ²
Maßgebliche Biegezugspannung	$f_{t,fl}$	1,0676	0,8552	1,2282	N/mm ²
Spannungsverhältnis	σ_N/σ_M	-0,0225	-0,2428	-0,0389	[-]
Profilhöhe	h	70,00	70,00	70,00	mm
Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9	f_R	0,93	0,90	0,92	[-]
Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I	σ_{VR}	0,99	0,77	1,14	N/mm ²
Mittlere Zugfestigkeit:			f_{ctm}	3,5	N/mm ²
Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201:			max σ_{VR}	6,0	N/mm ²
Ausnutzung Rohrvergleichsspannung	$U \sigma_{VR}$	16,6	12,8	18,9	%

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:		$Y_{Ed,fat}$	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}	35.220	N/mm ²
Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton:		n	5,68	[-]
Querschnittsbreite:		b	1,00	m
Schwingbreite für $2 \cdot 10^6$ Zyklen:		$\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$	74,00	N/mm ²
Modifizierte Betondruckfestigkeit:		$f_{cd,fat}$	19,04	N/mm ²

Scheitel Kämpfer Sohle

Moment aufgrund ständiger Lasten	M_G	0,107	-0,123	0,144	kNm/m
Normalkraft aufgrund ständiger Lasten	N_G	-2,646	-4,885	-2,872	kN/m
Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment aufgrund ständiger Lasten	M_{Gs}	0,105	0,125	0,142	kNm/m
Bemessungsmoment, ständig	$M'_{Gs,min}$	0,105	0,125	0,142	kNm/m
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	Z_{s1}	-0,5	0,5	-0,5	mm
Moment für Ermüdungsnachweis	$M_{Q,dyn}$	0,258	-0,262	0,295	kNm/m
Normalkraft für Ermüdungsnachweis	$N_{Q,dyn}$	0,269	-5,082	-0,269	kN/m
Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment aufgrund dynamischer Lasten	$M_{Qs,dyn}$	0,258	0,265	0,295	kNm/m
Bemessungsmoment, dynamisch	$M'_{Qs,dyn}$	0,258	0,265	0,295	kNm/m

2.3.1 Nachweis der geschweißten Bewehrungskörbe

Statische Höhe	d	0,035	0,036	0,035	m
Höhe der Betondruckzone	x	0,009	0,009	0,009	m
Höhe der Zugzone	$d-x$	0,025	0,026	0,025	m
Innerer Hebelarm	z	0,031	0,032	0,031	m
Betonspannung	$\sigma_{c,dyn}$	1,811	1,777	2,073	N/mm ²
Spannung in der Zugbewehrung	$\sigma_{s,dyn}$	29,902	10,904	32,191	N/mm ²
Kontrolle	$\sigma_{s,dyn,kon}$	29,902	10,904	32,191	N/mm ²
Ermittelter Wert	$\Delta\sigma_{s,eq}$	29,902	10,904	32,191	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	1,31	0,48	1,41	cm ² /m
Ausnutzung Ermüden Stahl	$U \sigma_{s,dyn}$	46,5	16,9	50,0	%

Der Nachweis gegen Ermüden der Bewehrung ist erbracht.

2.3.2 Nachweis Beton in der Druckzone

Bemessungsmoment, ständig+dynamisch	$M'_{Ed,dyn}$	0,363	0,390	0,437	kNm/m
Maximale Betondruckspannung	$\sigma'_{c,max}$	2,551	2,617	3,073	N/mm ²
Minimale Betondruckspannung	$\sigma'_{c,min}$	0,741	0,840	1,000	N/mm ²
Ausnutzung bei maximaler Betondruckspannung	$U_{\sigma'_{c,max,eff}}$	0,134	0,137	0,161	[-]
Ausnutzung Ermüden maximale Spannung	$U \sigma_{s,max,dyn}$	25,9	26,4	30,8	%
Ausnutzung bei minimaler Betondruckspannung	$U_{\sigma'_{c,min,eff}}$	0,518	0,520	0,524	[-]
Ausnutzung Ermüden minimale Spannung	$U \sigma_{s,min,dyn}$	57,5	57,8	58,2	%
Ausnutzung Ermüden Beton	$U \sigma_{c,dyn}$	57,5	57,8	58,2	%

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 300 Stb, H = 3,30 m

Titel der Teilstatik: Position 2: DN 300 Stb, 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:

D_{Pr,E3} 90,0 %

E4 = 10 · E1:

Anwendung von Silotheorie:

K2 nach Norm:

Ja
Automatisch
Ja

3.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:

Minimaler Grundwasserstand über Sohle:

Maximaler Grundwasserstand über Sohle:

Auftriebsnachweis führen:

Wichte des Bodens:

Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:

Zusätzliche Flächenlast:

Innendruck, langfristig:

Wasserfüllung (z.B. Staukanal):

Wichte Füllmedium:

Verkehrslast:

Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:

h	3,30	m
h _{W,min}	1,00	m
h _{W,max}	1,00	m
Nein		
γ _B	20,0	kN/m ³
Nein		
p ₀	0,0	kN/m ²
P _{1,L}	0,00	bar
Ja		
γ _F	10,0	kN/m ³
Straße SLW 60 (mit Straßenaufbau)		
α _{qhT,dyn}	0,00	%

3.1.4 Einbau

Einbauweise:

Grabenbreite in Scheitelhöhe:

Mindestgrabenbreite prüfen:

Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln:

Böschungswinkel:

Überschüttungsbedingung:

Einbettungsbedingung:

Berücksichtigung der Unterrammung nach Bericht der ATV-AG 1.5.5.:

Dicke des Verbaus (einseitig):

Auflagerart:

Auflagerwinkel:

Relative Ausladung automatisch ermitteln:

Untere Sockelhöhe vorgeben:

Gesamt-Sockelhöhe:

Graben		
b	1,30	m
Nein		
Ja		
β	90	°
A2		
B2		
Nein		
bs	0,10	m
Lose		
90°		
Ja		
Nein		
h _s	0,00	m

3.1.5 Stahlbeton-Rohr

Rohrauswahl aus Datenbank:

Auswahl der Eingaben:

Außendurchmesser:

Innendurchmesser:

Betongüte:

Betonstahl nach Norm:

Nachweis der Rissbreite:

Manuelle Vorgabe max f_R:

Lastklasse ermitteln:

Lastwechsel-Zahl manuell:

Dyn. Nachweis für:

Verhältnis E-Moduli manuell:

Nein		
Da und Di		
d _a	440	mm
d _i	300	mm
C40/50		
Ja		
Nein		
2·10 ⁶ Lastwechsel		
Nein		

Bewehrungsführung:

Expositionsklasse außen:

Expositionsklasse innen:

Besondere Maßnahmen:

Abstand Längsbewehrung nach Norm:

Einlagig		
XA2: Chemisch mäßig angreifend		
XA2: Chemisch mäßig angreifend		
Ja		
Ja		

Durchmesser Ringbewehrung:

Achsabstand Ringbewehrung:

Durchmesser Längsbewehrung:

Anzahl der Längsstäbe:

Ø _{rad}	6,0	mm
e	100	mm
Ø _{ax}	6,0	mm
n _{ax}	12	[-]

Eingabe Exzentrizität:

Betonüberdeckung Scheitel:

Betonüberdeckung Kämpfer:

Exzentrizität Sohle wie Scheitel:

Betonüberdeckung innen		
c _{,Sch}	26,5	mm
c _{,Sch}	26,5	mm
Ja		

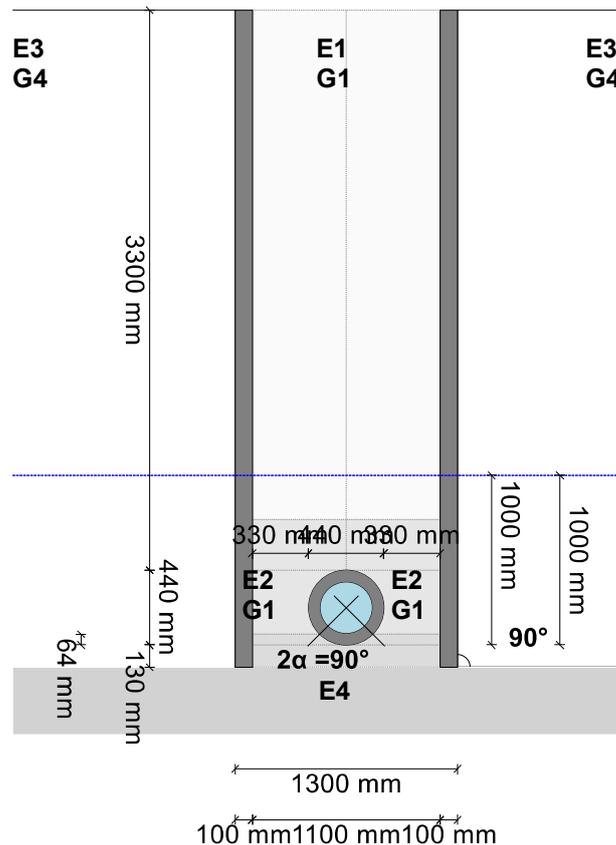
Teilsicherheiten manuell definieren:

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 $b \geq 64 \text{ mm}$

Dicke der unteren Bettungsschicht $a \geq 130 \text{ mm}$

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

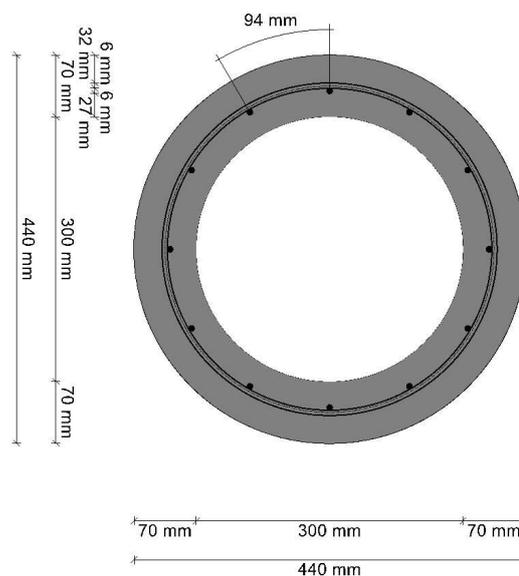
3.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

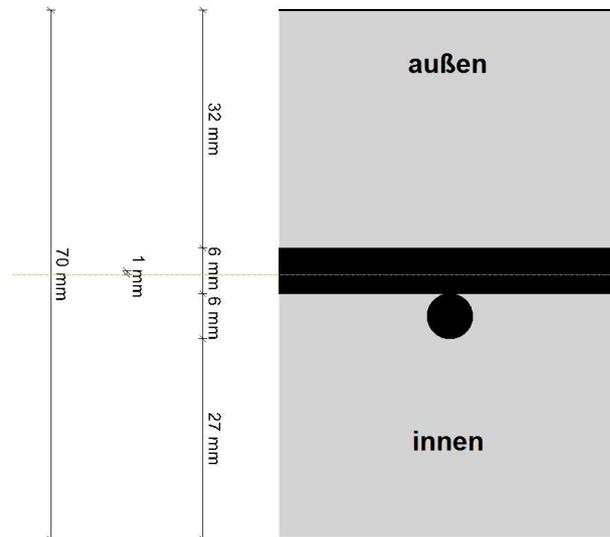
Innendurchmesser:	d_i	300,0	mm
Außendurchmesser:	d_a	440,0	mm
Mittlerer Radius:	r_m	185,00	mm
Wanddicke:	s	70,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	r_m/s	2,643	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	α_{ki}	1,126	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	α_{ka}	0,874	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	0,00	%
Radiale Profilfläche:	A_{rad}	70,00	mm ² /mm
Trägheitsabstand:	e	35,00	mm
Trägheitsmoment:	I	28.583,33	mm ⁴ /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	W_a	816,67	mm ³ /mm
Inneres Widerstandsmoment:	W_i	816,67	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:	$f_{ck,cyl}$	40,0	N/mm ²
Charakteristische Würfeldruckfestigkeit:	$f_{ck,cube}$	50,0	N/mm ²
Druckfestigkeit:	f_{cm}	48,0	N/mm ²
Mittlere Zugfestigkeit:	f_{ctm}	3,5	N/mm ²
Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):	E_{cm}	35.220	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}	6,0	mm	
Achsabstand Ringbewehrung:		e	100	mm	
Exzentrizität Scheitel:		$Z_{s,Sch}$	0,0	mm	
Exzentrizität Kämpfer:		$Z_{s,K}$	0,0	mm	
Exzentrizität Sohle wie Scheitel:		Ja			
		Kämpfer	Sohle		
Profilhöhe	h	70,00	70,00	70,00	mm
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	z_{s1}	-0,5	0,5	-0,5	mm
Statische Höhe innen	$d_{s,i}$	35,5	35,5	35,5	mm
Statische Höhe außen	$d_{s,e}$	34,5	34,5	34,5	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}	742,41	742,41	742,41	cm ² /m
Ideelles Trägheitsmoment	I_{id}	28.584,3	28.584,3	28.584,3	mm ⁴ /mm
Ideelles Widerstandsmoment, außen	$W_{id,a}$	817,36	816,03	817,36	mm ³ /mm
Ideelles Widerstandsmoment, innen	$W_{id,i}$	816,03	817,36	816,03	mm ³ /mm
Vorhandene Betondeckung, innen	$c_{nom,i}$	26,5	26,5	26,5	mm
Vorhandene Betondeckung, außen	$c_{nom,e}$	31,5	31,5	31,5	mm

3.2.2 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

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

3.2.3 Zwischenergebnisse

3.2.3.1 Silotheorie

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

κ_0 und κ wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.

3.2.3.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	$h_{W,Scheitel}$	0,56	m
Wichte Verfüllung unter Wasser:	γ'	11,00	kN/m ³

Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P_{Erd}	60,96	kN/m ²
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P_E	60,96	kN/m ²
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P_V	18,76	kN/m ²
Enthaltener Stoßfaktor:	ϕ	1,20	[-]

3.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB

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

E-Modul anstehender Boden:	$E_{3,\sigma}$	1,53	N/mm ²
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	3,45	N/mm ²
E-Modul Einbettung unter Last:	$E_{20,\sigma}$	6,00	N/mm ²
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f_1	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:	$D_{pr,E20}$	0,90	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f_2	0,750	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	α_{B0}	0,333	[-]
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	α_B	0,768	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	$E_{2,\sigma}$	3,45	N/mm ²
E-Modul Boden unter dem Rohr:	$E_{4,\sigma}$	60,00	N/mm ²

3.2.3.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δ_f	1,273	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,770	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S_{Bh}	1,596	N/mm ²
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S_{Bv}	3,455	N/mm ²

3.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	90	°
Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t_r	0,064	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	1,737	[-]
Innerer Reibungswinkel:	ϕ'	20,000	°
Wandreibungswinkel:	δ	6,667	°

3.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung:	$E_{R,rad}$	35.220,5	N/mm ²
Radiale Biegezugfestigkeit:	$f_{t,fl}$	6,0	N/mm ²
Radiale Biegedruckfestigkeit:	$f_{c,rad}$	40,0	N/mm ²
Rohrsteifigkeit:	S_R	158.998	kN/m ²

3.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	99,6137	[-]
Steifigkeitsverhältnis:	V_S	390,9599	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_v	-0,1177	[-]

3.2.3.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung):	K_2	0,500	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck:	K^*	0,001	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_h	0,1035	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	c'_{h,qh^*}	-0,0800	[-]

3.2.3.9 Konzentrationsfaktoren λ_R und λ_B

Maximaler Konzentrationsfaktor:	$\max \lambda$	2,328	[-]
---------------------------------	----------------	-------	-----

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

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert:	λ_R	2,328	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss:	λ_{RG}	1,865	[-]

Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert:	λ_{fo}	3,505	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert:	λ_{fu}	0,342	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert:	λ_{RG}	1,865	[-]
Konzentrationsfaktor Boden:	λ_B	0,557	[-]

3.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang

Vertikale Gesamtlast:	q_v	132,46	kN/m ²
Seitendruck:	q_h	18,20	kN/m ²
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung):	q_{hw}^*	0,00	kN/m ²

3.2.4 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton

3.2.4.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse

Mindestbetongüte, Außen:	C35/45
Mindestbetongüte, Innen:	C35/45
Betongüte:	C40/50

Die Mindestbetongüte wird eingehalten.

3.2.4.2 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	1,75	cm ² /m
Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	2,83	cm ² /m
Mindestbewehrung	min. a_s	1,75	cm ² /m
Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN)	U min. a_s	61,9	%

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

3.2.4.3 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	[-]
Angesetzter Radius:	r	182	mm
Vorhandener Umfang Längsbewehrung:	$U_{L,vor}$	1.125	mm
Vorhandener Abstand Längsbewehrung:	$e_{L,vor}$	94	mm
Vorhandene Längsbewehrung:	vorh $a_{s,L}$	3,02	cm ² /m

Der Abstand der Längsstäbe ist ausreichend klein.

3.2.4.4 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	$c_{nom,e}$	31,5	31,5	31,5	mm

Die Betondeckung (außen) ist ausreichend.

Erf. Betondeckung innen	erf. $c_{nom,i}$	25,0	25,0	25,0	mm
Vorhandene Betondeckung, innen	$c_{nom,i}$	26,5	26,5	26,5	mm

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

3.2.5 Schnittkräfte , Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):		r	1,000	[-]	
Mittlerer Radius	r_m	Scheitel 185,00	Kämpfer 185,00	Sohle 185,00	mm

Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	M_{qv}	1,242	-1,265	1,424	kNm/m
Moment aufgrund Seitendruck	M_{qh}	-0,156	0,156	-0,156	kNm/m
Moment aufgrund Eigengewicht	M_g	0,025	-0,029	0,038	kNm/m
Moment aufgrund Wasserfüllung	M_w	0,013	-0,015	0,020	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	M_{pw}	-0,004	-0,004	-0,004	kNm/m
Summe der Momente	ΣM	1,121	-1,158	1,323	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	r_m	185,00	185,00	185,00	mm
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	N_{qv}	1,299	-24,506	-1,299	kN/m
Normalkraft aufgrund Seitendruck	N_{qh}	-3,366	0,000	-3,366	kN/m
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	N_g	0,108	-0,509	-0,108	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	N_w	0,228	0,074	0,456	kN/m
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	N_{pw}	-2,200	-2,200	-2,200	kN/m
Summe der Normalkräfte	ΣN	-3,932	-27,141	-6,517	kN/m

3.2.6 Bemessung Ringbewehrung

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:			YRC	1,50	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:			YRS	1,15	[-]
Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:			$f_{ck,cyl}$	40,0	N/mm ²
Bemessungswert Beton:			f_{cd}	22,67	N/mm ²
Nennstreckgrenze:			f_{yk}	500	N/mm ²
Bemessungswert Betonstahl:			f_{yd}	434,78	N/mm ²
Summe der Momente	M_E	Scheitel 1,121	Kämpfer -1,158	Sohle 1,323	kNm/m
Summe der Momente inkl. Teilssicherheitsbeiwert	M_{Ed}	1,513	-1,563	1,786	kNm/m
Summe Normalkraft	N_E	-3,932	-27,141	-6,517	kN/m
Summe der Normalkräfte inkl. Teilssicherheitsbeiwert	N_{Ed}	-5,308	-36,640	-8,798	kN/m
Bemessung:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	Z_{s1}	-0,5	0,5	-0,5	mm
Auslegungsmoment Plattenbemessung	M_{Eds}	1,511	1,581	1,781	kNm/m
Rechenwert der Stahlgrenzspannung	$\sigma_{s,d}$	434,78	434,78	434,78	N/mm ²
Statische Höhe	d	0,035	0,036	0,035	m
Normiertes Auslegungsmoment	μ_{Eds}	0,0560	0,0553	0,0660	[-]
Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad	ω	0,0579	0,0572	0,0685	[-]
Erforderliche Bewehrung (Bemessung)	$a_{s,calc}$	0,92	0,22	1,03	cm ² /m
Vorhandene Bewehrung	vorh. a_s	2,83	2,83	2,83	cm ² /m
Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)	$U_{a_{s,calc}}$	32,5	7,6	36,4	%

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

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

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Ideelles Widerstandsmoment, Zugseite	W_{id}	816,03	816,03	816,03	mm ³ /mm
Biegespannungsanteil aus Biegemomenten	$\sigma_{M,E}$	1,3736	1,4185	1,6209	N/mm ²
Spannungsanteil aus Normalkräften	$\sigma_{N,E}$	-0,0530	-0,3656	-0,0878	N/mm ²
Maßgebliche Biegezugspannung	$f_{t,fl}$	1,3207	1,0530	1,5331	N/mm ²
Spannungsverhältnis	σ_N/σ_M	-0,0386	-0,2577	-0,0542	[-]
Profilhöhe	h	70,00	70,00	70,00	mm
Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9	f_R	0,92	0,90	0,92	[-]
Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I	σ_{VR}	1,22	0,95	1,41	N/mm ²

Mittlere Zugfestigkeit:			f_{ctm}	3,5	N/mm ²
Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201:			$\max \sigma_{VR}$	6,0	N/mm ²
Ausnutzung Rohrvergleichsspannung	$U \sigma_{VR}$	20,4	15,8	23,5	%

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

Alle Nachweise für die Bemessung des Stahlbetons wurden erbracht.