

## Statische Berechnung

Bauvorhaben: Musterstatik für Stahlbetonrohr DN 1000, 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 1000 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](http://www.betonwerk-steinbach.net)

[steinbach@betonwerk-steinbach.net](mailto:steinbach@betonwerk-steinbach.net)



Unterschrift

## Inhaltsangabe

<b>1 Bemerkungen</b>	<b>4</b>
<b>2 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Position 1: DN 1000 Stb, H = 0,70 m</b>	<b>5</b>
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	9
2.2.2 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	10
2.2.3 Zwischenergebnisse	10
2.2.3.1 Silotheorie	10
2.2.3.2 Belastung	10
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	11
2.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse	11
2.2.3.8 Beiwerte	11
2.2.3.9 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$	11
2.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang	11
2.2.4 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton	12
2.2.4.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse	12
2.2.4.2 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN EN 1916:2002 5.2.1)	12
2.2.4.3 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1)	12
2.2.4.4 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2)	12
2.2.5 Schnittkräfte , Langzeit	13
2.2.6 Bemessung Ringbewehrung	14
2.2.7 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08 5.2.5)	15
2.3 Vereinfachter Nachweis gegen Ermüden nach DIN EN 1992-1-1, 6.8.7	15
2.3.1 Nachweis der geschweißten Bewehrungskörbe	16
2.3.2 Nachweis Beton in der Druckzone	16
<b>3 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Position 2: DN 800 Stb, H = 3,30 m</b>	<b>18</b>
3.1 Eingaben	18
3.1.1 Sicherheiten	18
3.1.2 Boden	18

3.1.3 Belastung	19
3.1.4 Einbau	19
3.1.5 Stahlbeton-Rohr	19
3.2 Ergebnisse	21
3.2.1 Zwischenergebnisse Rohr	21
3.2.1.1 Materialeigenschaften	21
3.2.1.2 Stahlbetonrohr	22
3.2.2 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12	23
3.2.3 Zwischenergebnisse	23
3.2.3.1 Silotheorie	23
3.2.3.2 Belastung	23
3.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB	23
3.2.3.4 Bodensteifigkeiten	23
3.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel	23
3.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit	24
3.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse	24
3.2.3.8 Beiwerte	24
3.2.3.9 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$	24
3.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang	24
3.2.4 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton	24
3.2.4.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse	24
3.2.4.2 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN EN 1916:2002 5.2.1)	25
3.2.4.3 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1)	25
3.2.4.4 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2)	25
3.2.5 Schnittkräfte , Langzeit	26
3.2.6 Bemessung Ringbewehrung	26
3.2.7 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08 5.2.5)	27

## 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 1000 Stb, H = 0,70 m

Titel der Teilstatik: Position 1: DN 1000 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  $60^\circ$ .  
 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 <sub>Pr,E3</sub> 90,0 %

E4 = 10 · E1:

Anwendung von Silotheorie:

K2 nach Norm:

Ja

Automatisch

Ja

### 2.1.3 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	0,70	m
h <sub>W,min</sub>	1,00	m
h <sub>W,max</sub>	1,00	m
Nein		
γ <sub>B</sub>	20,0	kN/m <sup>3</sup>
Nein		
p <sub>0</sub>	0,0	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>1,L</sub>	0,00	bar
Ja		
γ <sub>F</sub>	10,0	kN/m <sup>3</sup>
Straße SLW 60 (mit Straßenaufbau)		
α <sub>qhT,dyn</sub>	0,00	%

### 2.1.4 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	2,60	m
Nein		
Ja		
β	90	°
A2		
B2		
Nein		
bs	0,10	m
Lose		
90°		
Ja		
Nein		
h <sub>s</sub>	0,00	m

### 2.1.5 Stahlbeton-Rohr

Rohrauswahl aus Datenbank:

Auswahl der Eingaben:

Außendurchmesser:

Innendurchmesser:

Betongüte:

Betonstahl nach Norm:

Nachweis der Rissbreite:

Manuelle Vorgabe max f<sub>R</sub>:

Lastklasse ermitteln:

Lastwechsel-Zahl manuell:

Dyn. Nachweis für:

Verhältnis E-Moduli manuell:

Nein		
Da und Di		
d <sub>a</sub>	1.240	mm
d <sub>i</sub>	1.000	mm
C40/50		
Ja		
Nein		
2·10 <sup>6</sup> 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 <sub>rad</sub>	8,0	mm
e	72	mm
Ø <sub>ax</sub>	6,0	mm
n <sub>ax</sub>	12	[-]

Eingabe Exzentrizität:

Betonüberdeckung Scheitel:

Betonüberdeckung Kämpfer:

Exzentrizität Sohle wie Scheitel:

Betonüberdeckung innen		
c <sub>,Sch</sub>	50,0	mm
c <sub>,Sch</sub>	50,0	mm
Ja		

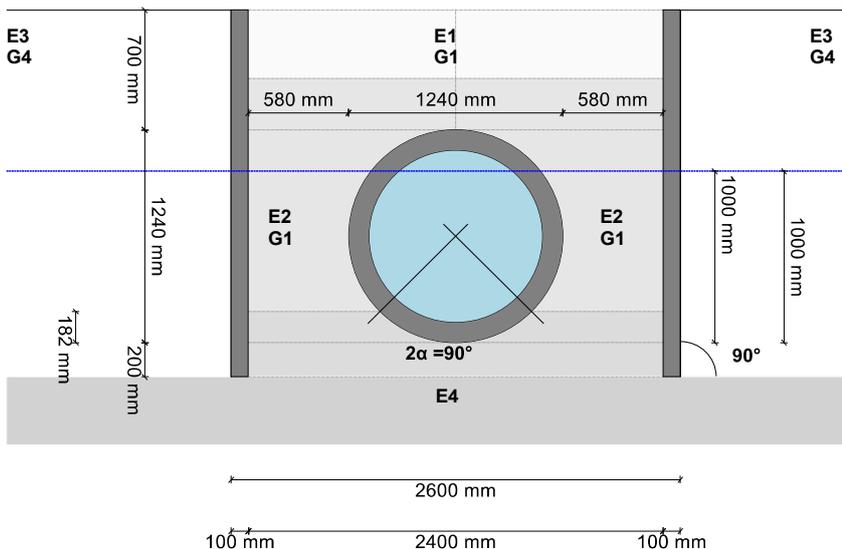
Teilsicherheiten manuell definieren:

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  $60^\circ$ .

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

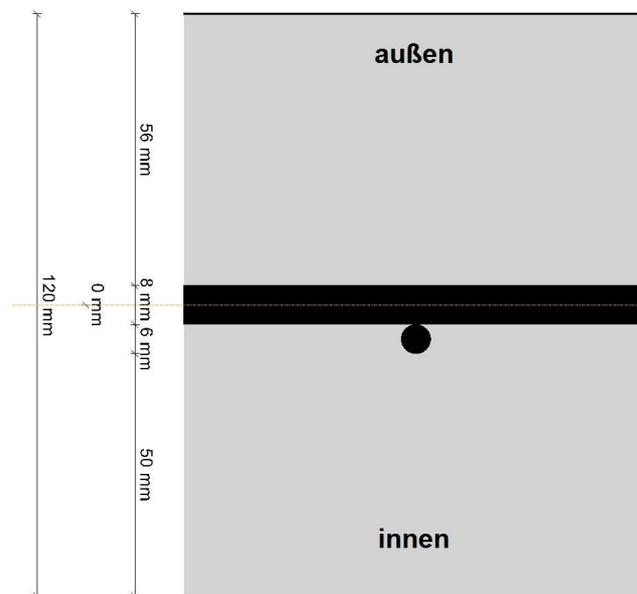
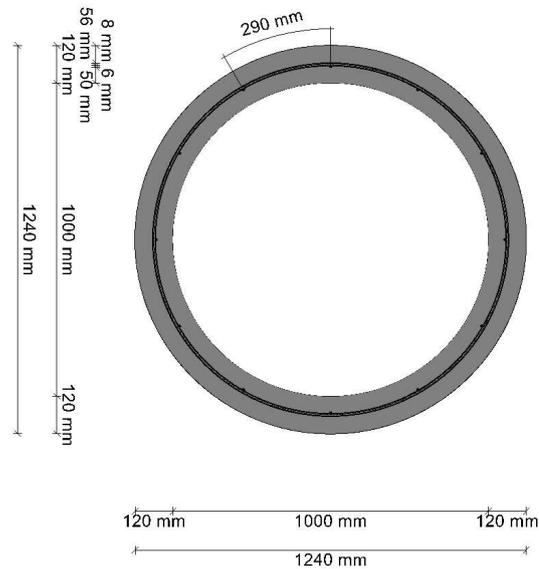
### 2.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

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	[-]
$\alpha_{ki} = 1 + \frac{0,12}{3 \cdot r_m}$	$\alpha_{ki}$	1,071	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ka}$	0,929	[-]
$\alpha_{ka} = 1 - \frac{0,12}{3 \cdot r_m}$			
Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\delta_{v,I}$	0,00	%
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,A}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):			
Radiale Profilfläche:	$A_{rad}$	120,00	mm <sup>2</sup> /mm
Trägheitsabstand:	$e$	60,00	mm
Trägheitsmoment:	$I$	144.000,00	mm <sup>4</sup> /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	$W_a$	2.400,00	mm <sup>3</sup> /mm
Inneres Widerstandsmoment:	$W_i$	2.400,00	mm <sup>3</sup> /mm
Flächenverhältnis:	$\kappa_Q$	1,2	[-]

#### 2.2.1.1 Materialeigenschaften

Wichte des Rohrwerkstoffs:	$\gamma_R$	25,0	kN/m <sup>3</sup>
Querkontraktionszahl:	$\nu$	0,15	[-]
Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:	$f_{ck,cyl}$	40,0	N/mm <sup>2</sup>
Charakteristische Würfeldruckfestigkeit:	$f_{ck,cube}$	50,0	N/mm <sup>2</sup>
Druckfestigkeit:	$f_{cm}$	48,0	N/mm <sup>2</sup>
Mittlere Zugfestigkeit:	$f_{ctm}$	3,5	N/mm <sup>2</sup>
Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):	$E_{cm}$	35.220	N/mm <sup>2</sup>

### 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:	$e$	72	mm		
Exzentrizität Scheitel:	$Z_{s,Sch}$	0,0	mm		
Exzentrizität Kämpfer:	$Z_{s,K}$	0,0	mm		
Exzentrizität Sohle wie Scheitel:	Ja				
Profilhöhe	$h$	Scheitel 120,00	Kämpfer 120,00	Sohle 120,00	mm
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	$Z_{s1}$	0,0	0,0	0,0	mm
Statische Höhe innen	$d_{s,i}$	60,0	60,0	60,0	mm
Statische Höhe außen	$d_{s,e}$	60,0	60,0	60,0	mm

Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton nach DIN V 1201:2004-08:	n	15,0	[-]
	Z <sub>id</sub>	0,0	mm
Ideelle Querschnittsfläche	A <sub>id</sub>	1.304,72	cm <sup>2</sup> /m
Ideelles Trägheitsmoment	I <sub>id</sub>	144.000,0	mm <sup>4</sup> /mm
Ideelles Widerstandsmoment, außen	W <sub>id,a</sub>	2.400,00	mm <sup>3</sup> /mm
Ideelles Widerstandsmoment, innen	W <sub>id,i</sub>	2.400,00	mm <sup>3</sup> /mm
Vorhandene Betondeckung, innen	C <sub>nom,i</sub>	50,0	mm
Vorhandene Betondeckung, außen	C <sub>nom,e</sub>	56,0	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 <sub>0</sub> für Flächenlast (Silotheorie):	κ <sub>0</sub>	1,000	[-]

κ<sub>0</sub> und κ wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.

### 2.2.3.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	h <sub>w,Scheitel</sub>	0,00	m
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P <sub>Erd</sub>	14,00	kN/m <sup>2</sup>
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P <sub>E</sub>	14,00	kN/m <sup>2</sup>
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P <sub>V</sub>	68,83	kN/m <sup>2</sup>
Enthaltener Stoßfaktor:	φ	1,20	[-]
Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert:	ρ <sub>Tdyn</sub>	49,89	kN/m <sup>2</sup>

### 2.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:	E <sub>1,σ</sub>	6,00	N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------	------------------	------	-------------------

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

E-Modul anstehender Boden:	E <sub>3,σ</sub>	1,53	N/mm <sup>2</sup>
E-Modul Einbettung (abgemindert):	E <sub>2,σ</sub>	2,60	N/mm <sup>2</sup>
E-Modul Einbettung unter Last:	E <sub>20,σ</sub>	6,00	N/mm <sup>2</sup>
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f <sub>1</sub>	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:	D <sub>pr,E20</sub>	0,90	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f <sub>2</sub>	0,750	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	α <sub>B0</sub>	0,333	[-]
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	α <sub>B</sub>	0,577	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	E <sub>2,σ</sub>	2,60	N/mm <sup>2</sup>
E-Modul Boden unter dem Rohr:	E <sub>4,σ</sub>	60,00	N/mm <sup>2</sup>

### 2.2.3.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δ <sub>f</sub>	0,849	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,744	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S <sub>Bh</sub>	1,159	N/mm <sup>2</sup>
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S <sub>Bv</sub>	2,597	N/mm <sup>2</sup>

### 2.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	90	°
-----------------	----	----	---

$$t_r = \frac{d_a}{2} - 0,7071 \cdot \frac{d_a}{2}$$

Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t <sub>r</sub>	0,182	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	2,311	[-]

Innerer Reibungswinkel:	$\varphi'$	20,000	°
Wandreibungswinkel:	$\delta$	6,667	°

### 2.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung:	$E_{R,rad}$	35.220,5	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegezugfestigkeit:	$f_{t,fl}$	6,0	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegedruckfestigkeit:	$f_{c,rad}$	40,0	N/mm <sup>2</sup>
Rohrsteifigkeit:	$S_R$	28.880	kN/m <sup>2</sup>

### 2.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	24,9216	[-]
Steifigkeitsverhältnis:	$V_S$	107,5826	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	$c'_v$	-0,1034	[-]

### 2.2.3.8 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	[-]

### 2.2.3.9 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$

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:	$\lambda_R$	1,311	[-]
--	-------------	-------	-----

$$\lambda_{RG} = \frac{\lambda_R - 1}{3} \cdot \frac{b}{d_a} + \frac{4 - \lambda_R}{3} \quad (6.21a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss:	$\lambda_{RG}$	1,114	[-]
---	----------------	-------	-----

$$\lambda_{f0} = 4 - 0,15 \cdot h \quad (6.23a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert:	$\lambda_{f0}$	3,895	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert:	$\lambda_{fu}$	0,904	[-]

$$\lambda_{RG} = \lambda_{RG}$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert:	$\lambda_{RG}$	1,114	[-]
---	----------------	-------	-----

$$\lambda_B = \frac{4 - \lambda_R}{3} \quad (6.07)$$

Konzentrationsfaktor Boden:	$\lambda_B$	0,896	[-]
-----------------------------	-------------	-------	-----

### 2.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang

$$q_v = \lambda_{RG} \cdot P_E + P_V \quad (6.24)$$

Vertikale Gesamtlast:	$q_v$	84,42	kN/m <sup>2</sup>
-----------------------	-------	-------	-------------------

$$q_h = K_2 \cdot (\lambda_B \cdot P_E + 0,24 \cdot \gamma_B + 0,38 \cdot \gamma')$$

Seitendruck:	$q_h$	10,77	kN/m <sup>2</sup>
Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung):	$q^*_{hw}$	0,00	kN/m <sup>2</sup>

## 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. $a_{sring}$	6,98	cm <sup>2</sup> /m		
Mindest-Ringbewehrung DIN EN 1916:	min. $a_s$	3,00	cm <sup>2</sup> /m		
Vorhandene Bewehrung	vorh. $a_s$	Scheitel 6,98	Kämpfer 6,98	Sohle 6,98	cm <sup>2</sup> /m
min. $a_s = 0,0025 \cdot h$					0.25% in DIN 1916:2002 5.2.1
Mindestbewehrung	min. $a_s$	3,00	3,00	3,00	cm <sup>2</sup> /m
Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN)	U min. $a_s$	43,0	43,0	43,0	%

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	[-]
$r = r_m - Z_{s,Sch} - \frac{\varnothing_{ax}}{2}$			
Angesetzter Radius:	$r$	557	mm
$U_{L,vor} = \pi \cdot (A + B) \cdot \left( 1 + \frac{3 \cdot \lambda^2}{10 + 4 - 3 \cdot \lambda^{2,50}} \right)$			
Vorhandener Umfang Längsbewehrung:	$U_{L,vor}$	3.475	mm
$e_{L,vor} = \frac{U_{L,vor}}{12}$			
Vorhandener Abstand Längsbewehrung:	$e_{L,vor}$	290	mm
Vorhandene Längsbewehrung:	vorh $a_{s,L}$	0,98	cm <sup>2</sup> /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 30,0	Kämpfer 30,0	Sohle 30,0	mm
$c_{nom,e} = \frac{h}{2} + Z_{s1} - \frac{\varnothing_{rad}}{2}$					
Vorhandene Betondeckung, außen	$c_{nom,e}$	56,0	56,0	56,0	mm

Die Betondeckung (außen) ist ausreichend.

Erf. Betondeckung innen	erf. $c_{nom,i}$	30,0	30,0	30,0	mm
-------------------------	------------------	------	------	------	----

$$c_{nom,i} = \frac{h}{2} - z_{s1} - \frac{\varnothing_{rad}}{2} - \varnothing_{ax}$$

Vorhandene Betondeckung, innen	$c_{nom,i}$	50,0	50,0	50,0	mm
--------------------------------	-------------	------	------	------	----

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

### 2.2.5 Schnittkräfte , Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):

		Scheitel	r Kämpfer	1,000 Sohle	[-]
Mittlerer Radius	$r_m$	560,00	560,00	560,00	mm
					(8.01)
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	7,254	-7,386	8,313	kNm/m
					(8.03)
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-0,844	0,844	-0,844	kNm/m
					(8.07)
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	0,394	-0,456	0,604	kNm/m
					(8.09)
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	0,369	-0,427	0,564	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	-0,012	-0,012	-0,012	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$					
Summe der Momente	$\Sigma M$	7,161	-7,437	8,625	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	mm
Mittlerer Radius	$r_m$	560,00	560,00	560,00	mm
					(8.02)
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	2,506	-47,274	-2,506	kN/m
					(8.04)
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-6,028	0,000	-6,028	kN/m
					(8.08)
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,559	-2,639	-0,559	kN/m
					(8.10)
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	2,092	0,674	4,180	kN/m
					(8.12)
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pw}$	-6,200	-6,200	-6,200	kN/m

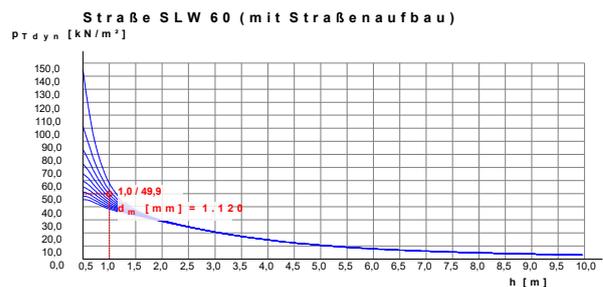
$$\Sigma N = N_{qv} + N_{qh} + N_{qh}^* + N_{qw}^* + N_g + N_w + N_{pw}$$

Summe der Normalkräfte	$\Sigma N$	-7,072	-55,439	-11,113	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:	pTdyn	49,89	kN/m²
Abminderungsfaktor $\alpha_V$ nach Tabelle 14 für Verkehrslasten:	$\alpha_V$	0,50	[-]
Abgeminderte vertikale Bodenspannung für Ermüdung:	dyn pv	24,945	kN/m²

Die stützende Wirkung des Bettungsreaktionsdruckes dyn pvh\* wird nicht angesetzt, da sich das Rohr-Boden-System biegesteif verhält.

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Moment aufgrund vertikaler Bodenspannung	m <sub>qv</sub>	0,274	-0,279	0,314	[-]
aufgrund dynamischer Last	dyn M <sub>qv</sub>	2,143	-2,183	2,456	kNm/m

Summe der Momente aufgrund Verkehrslast	M <sub>QK,dyn</sub>	2,143	-2,183	2,456	kNm/m
---	---------------------	-------	--------	-------	-------

		0,053	-1,000	-0,053	[-]
Normalkraft aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last	npv dyn N <sub>qv</sub>	0,740	-13,969	-0,740	kN/m

Summe der Normalkräfte aufgrund Verkehrslast	N <sub>QK,dyn</sub>	0,740	-13,969	-0,740	kN/m
--	---------------------	-------	---------	--------	------

## 2.2.6 Bemessung Ringbewehrung

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:	YRC	1,50	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:	YRS	1,15	[-]
Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:	f <sub>ck,cyl</sub>	40,0	N/mm²
Bemessungswert Beton:	f <sub>cd</sub>	22,67	N/mm²
Nennstreckgrenze:	f <sub>yk</sub>	500	N/mm²
Bemessungswert Betonstahl:	f <sub>yd</sub>	434,78	N/mm²

Summe der Momente	M <sub>E</sub>	Scheitel 7,161	Kämpfer -7,437	Sohle 8,625	kNm/m
-------------------	----------------	-------------------	-------------------	----------------	-------

$$M_{Ed} = M_G \cdot \gamma_G + M_T \cdot \gamma_Q$$

Summe der Momente inkl. Teilssicherheitsbeiwert	M <sub>Ed</sub>	9,667	-10,040	11,643	kNm/m
---	-----------------	-------	---------	--------	-------

Summe Normalkraft	N <sub>E</sub>	-7,072	-55,439	-11,113	kN/m
-------------------	----------------	--------	---------	---------	------

$$N_{Ed} = N_G \cdot 1,35 + N_T \cdot 1,35$$

Summe der Normalkräfte inkl. Teilssicherheitsbeiwert	N <sub>Ed</sub>	-9,547	-74,843	-15,003	kN/m
--	-----------------	--------	---------	---------	------

Bemessung:		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
------------	--	----------	---------	-------	--

Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	Zs1	0,0	0,0	0,0	mm
$M_{Eds} =  M_{Ed}  - N_{Ed} \cdot Z_{s1}$					
Auslegungsmoment Plattenbemessung	M <sub>Eds</sub>	9,667	10,040	11,643	kNm/m
Rechenwert der Stahlgrenzspannung	σ <sub>s,d</sub>	434,78	434,78	434,78	N/mm <sup>2</sup>
Statische Höhe	d	0,060	0,060	0,060	m
$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{d^2 \cdot f_{cd}}$					
Normiertes Auslegungsmoment	μ <sub>Eds</sub>	0,1185	0,1230	0,1427	[-]
Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad	ω	0,1267	0,1320	0,1550	[-]
$a_{s,calc} = \frac{\omega \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{\sigma_{s,d}}$					
Erforderliche Bewehrung (Bemessung)	a <sub>s,calc</sub>	3,74	2,41	4,50	cm <sup>2</sup> /m
Vorhandene Bewehrung	vorh. a <sub>s</sub>	6,98	6,98	6,98	cm <sup>2</sup> /m
Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)	U a <sub>s,calc</sub>	53,6	34,5	64,5	%

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 <sub>id</sub>	2.400,00	2.400,00	2.400,00	mm <sup>3</sup> /mm
Biegespannungsanteil aus Biegemomenten	σ <sub>M,E</sub>	2,9837	3,0988	3,5935	N/mm <sup>2</sup>
Spannungsanteil aus Normalkräften	σ <sub>N,E</sub>	-0,0542	-0,4249	-0,0852	N/mm <sup>2</sup>
Maßgebliche Biegezugspannung	f <sub>t,fl</sub>	2,9295	2,6738	3,5084	N/mm <sup>2</sup>
Spannungsverhältnis	σ <sub>N</sub> /σ <sub>M</sub>	-0,0182	-0,1371	-0,0237	[-]
Profilhöhe	h	120,00	120,00	120,00	mm
Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9	f <sub>R</sub>	1,02	0,93	1,02	[-]
Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I	σ <sub>VR</sub>	2,99	2,47	3,57	N/mm <sup>2</sup>
Mittlere Zugfestigkeit:			f <sub>ctm</sub>	3,5	N/mm <sup>2</sup>
Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201:			max σ <sub>VR</sub>	6,0	N/mm <sup>2</sup>
Ausnutzung Rohrvergleichsspannung	U σ <sub>VR</sub>	49,9	41,2	59,4	%

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 <sub>Ed,fat</sub>	1,00	[-]
Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:	Y <sub>s,fat</sub>	1,15	[-]
Beiwert nach DIN 1055-100, Tabelle A.2:	ψ <sub>1</sub>	1,00	[-]
Elastizitätsmodul Betonstahl:	E <sub>s</sub>	200.000	N/mm <sup>2</sup>
$E_{cm} = 22 \cdot \frac{f_{cm}^{0,30}}{10} \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 1.000$			
Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):	E <sub>cm</sub>	35.220	N/mm <sup>2</sup>
Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton:	n	5,68	[-]
Querschnittsbreite:	b	1,00	m
Schwingbreite für 2·10 <sup>6</sup> Zyklen:	Δσ <sub>Rsk(N*)</sub>	74,00	N/mm <sup>2</sup>
Modifizierte Betondruckfestigkeit:	f <sub>cd,fat</sub>	19,04	N/mm <sup>2</sup>

Scheitel      Kämpfer      Sohle

$M_G = M_E - M_T$					
Moment aufgrund ständiger Lasten	$M_G$	1,247	-1,415	1,847	kNm/m
$N_G = N_E - N_T$					
Normalkraft aufgrund ständiger Lasten	$N_G$	-9,115	-16,896	-9,070	kN/m
Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment aufgrund ständiger Lasten	$M_{Gs}$	1,247	1,415	1,847	kNm/m
Bemessungsmoment, ständig	$M'_{Gs,min}$	1,247	1,415	1,847	kNm/m
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	$Z_{s1}$	0,0	0,0	0,0	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	$M_{Qs,dyn}$	2,143	2,183	2,456	kNm/m
Bemessungsmoment, dynamisch	$M'_{Qs,dyn}$	2,143	2,183	2,456	kNm/m

### 2.3.1 Nachweis der geschweißten Bewehrungskörbe

Statische Höhe	$d$	0,060	0,060	0,060	m
$x = \frac{n \cdot \text{vorh } a_s}{b} \cdot \left( -1 + 1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{n \cdot \text{vorh } a_s} \cdot 0,50 \right)$					
Höhe der Betondruckzone	$x$	0,018	0,018	0,018	m
$d-x = d - x$					
Höhe der Zugzone	$d-x$	0,042	0,042	0,042	m
Innerer Hebelarm	$z$	0,054	0,054	0,054	m
Betonspannung	$\sigma_{c,dyn}$	4,366	4,446	5,004	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{s,dyn} = \frac{1}{\text{vorh } a_s} \cdot \left( \frac{M'_{Qs,dyn}}{z} + N_{Q,dyn} \right)$					
Spannung in der Zugbewehrung	$\sigma_{s,dyn}$	57,988	37,957	64,177	N/mm <sup>2</sup>
Kontrolle	$\sigma_{s,dyn,kon}$	57,988	37,957	64,177	N/mm <sup>2</sup>
Ermittelter Wert	$\Delta\sigma_{s,eq}$	57,988	37,957	64,177	N/mm <sup>2</sup>
$\Delta\sigma_{Rsk}/\gamma_{s,fat} = \frac{74.000.000}{\gamma_{s,fat}}$					
Maximalwert (abgeminderte Schwingbreite)	$\Delta\sigma_{Rsk}/\gamma_{s,fat}$	64,348	64,348	64,348	N/mm <sup>2</sup>
Vorhandene Bewehrung	vorh. $a_s$	6,98	6,98	6,98	cm <sup>2</sup> /m
$\text{erf. } a_s = \frac{\Delta\sigma_{s,eq}}{\Delta\sigma_{Rsk}/\gamma_{s,fat}} \cdot \text{vorh. } a_s$					
Erforderliche Bewehrung aus Ermüden	erf. $a_s$	6,29	4,12	6,96	cm <sup>2</sup> /m
Ausnutzung Ermüden Stahl	$U \sigma_{s,dyn}$	90,1	59,0	99,7	%

Der Nachweis gegen Ermüden der Bewehrung ist erbracht.

### 2.3.2 Nachweis Beton in der Druckzone

$M'_{Ed,dyn} = M'_{Qs,dyn} + M'_{Gs,min}$					
Bemessungsmoment, ständig+dynamisch	$M'_{Ed,dyn}$	3,390	3,598	4,303	kNm/m

$\sigma'_{c,max} = \sigma_{c,dyn} \cdot \frac{M'_{Ed,dyn}}{M'_{Qs,dyn}}$					
Maximale Betondruckspannung	$\sigma'_{c,max}$	6,906	7,329	8,766	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma'_{c,min} = \sigma_{c,dyn} \cdot \frac{M'_{Gs,min}}{M'_{Qs,dyn}}$					
Minimale Betondruckspannung	$\sigma'_{c,min}$	2,540	2,883	3,763	N/mm <sup>2</sup>
$U_{\sigma'_{c,max,eff}} = \frac{\sigma'_{c,max}}{f_{cd,fat}}$					DIN EN 1992-1-1 Gl. (6.77)
Ausnutzung bei maximaler Betondruckspannung	$U_{\sigma'_{c,max,eff}}$	0,363	0,385	0,460	[-]
Ausnutzung Ermüden maximale Spannung	$U_{\sigma_{s,max,dyn}}$	64,8	67,7	78,2	%
$U_{\sigma'_{c,min,eff}} = 0,50 + 0,45 \cdot \frac{\sigma'_{c,min}}{f_{cd,fat}}$					DIN EN 1992-1-1 Gl. (6.77)
Ausnutzung bei minimaler Betondruckspannung	$U_{\sigma'_{c,min,eff}}$	0,560	0,568	0,589	[-]
Ausnutzung Ermüden minimale Spannung	$U_{\sigma_{s,min,dyn}}$	62,2	63,1	65,4	%
Ausnutzung Ermüden Beton	$U_{\sigma_{c,dyn}}$	64,8	67,7	78,2	%

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 800 Stb, H = 3,30 m

Titel der Teilstatik: Position 2: DN 800 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  $60^\circ$ .

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. Stufenraben, 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<sub>Pr,E3</sub> 90,0 %

E4 = 10 · E1:

Anwendung von Silotheorie:

K2 nach Norm:

Ja

Automatisch

Ja

### 3.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:

h 3,30 m

Minimaler Grundwasserstand über Sohle:

h<sub>W,min</sub> 1,00 m

Maximaler Grundwasserstand über Sohle:

h<sub>W,max</sub> 1,00 m

Auftriebsnachweis führen:

Nein

Wichte des Bodens:

γ<sub>B</sub> 20,0 kN/m<sup>3</sup>

Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:

Nein

Zusätzliche Flächenlast:

p<sub>0</sub> 0,0 kN/m<sup>2</sup>

Innendruck, langfristig:

P<sub>1,L</sub> 0,00 bar

Wasserfüllung (z.B. Staukanal):

Ja

Wichte Füllmedium:

γ<sub>F</sub> 10,0 kN/m<sup>3</sup>

Verkehrslast:

Straße SLW 60 (mit Straßenaufbau)

Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:

α<sub>qhT,dyn</sub> 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):

bs 0,10 m

Auflagerart:

Lose

Auflagerwinkel:

90°

Relative Ausladung automatisch ermitteln:

Ja

Untere Sockelhöhe vorgeben:

Nein

Gesamt-Sockelhöhe:

h<sub>s</sub> 0,00 m

### 3.1.5 Stahlbeton-Rohr

Rohrauswahl aus Datenbank:

Nein

Auswahl der Eingaben:

Da und Di

Außendurchmesser:

d<sub>a</sub> 1.240 mm

Innendurchmesser:

d<sub>i</sub> 1.000 mm

Betongüte:

C40/50

Betonstahl nach Norm:

Ja

Nachweis der Rissbreite:

Nein

Manuelle Vorgabe max f<sub>R</sub>:

Nein

Lastklasse ermitteln:

Nein

Lastwechsel-Zahl manuell:

Nein

Dyn. Nachweis für:

2·10<sup>6</sup> 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<sub>rad</sub> 8,0 mm

Achsabstand Ringbewehrung:

e 72 mm

Durchmesser Längsbewehrung:

Ø<sub>ax</sub> 6,0 mm

Anzahl der Längsstäbe:

n<sub>ax</sub> 12 [-]

Eingabe Exzentrizität:

Betonüberdeckung innen

Betonüberdeckung Scheitel:

c<sub>,Sch</sub> 50,0 mm

Betonüberdeckung Kämpfer:

c<sub>,Sch</sub> 50,0 mm

Exzentrizität Sohle wie Scheitel:

Ja

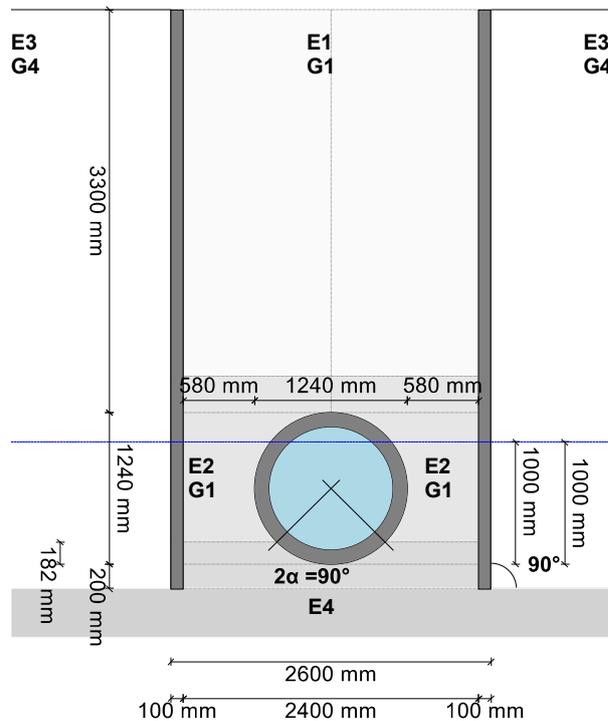
Teilsicherheiten manuell definieren:

Nein

Bewehrungsmenge ermitteln:

Nicht ermitteln

**Verkehrslast: Straße SLW 60 (mit Straßenaufbau)**



Hinweise Skizze:

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

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

Dicke der oberen Bettungsschicht  $b \geq 64 \text{ mm}$

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

Die Rohrstatik gilt alternativ auch ohne Verbau mit einem Böschungswinkel  $60^\circ$ .

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

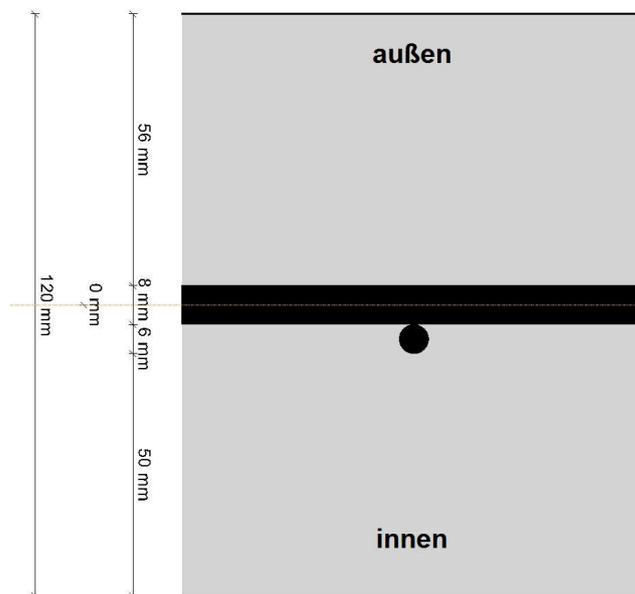
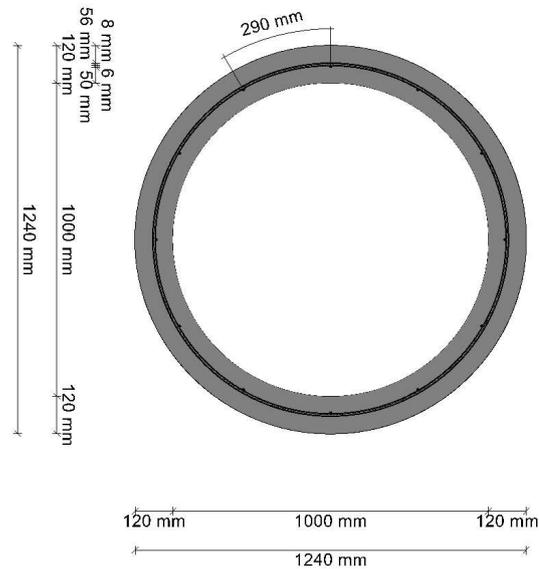
### 3.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

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	[-]
$\alpha_{ki} = 1 + \frac{0,12}{3 \cdot r_m}$			
Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$	1,071	[-]
$\alpha_{ka} = 1 - \frac{0,12}{3 \cdot r_m}$			
Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\alpha_{ka}$	0,929	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,I}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	0,00	%
Radiale Profilfläche:	$A_{rad}$	120,00	mm <sup>2</sup> /mm
Trägheitsabstand:	$e$	60,00	mm
Trägheitsmoment:	$I$	144.000,00	mm <sup>4</sup> /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	$W_a$	2.400,00	mm <sup>3</sup> /mm
Inneres Widerstandsmoment:	$W_i$	2.400,00	mm <sup>3</sup> /mm
Flächenverhältnis:	$\kappa_Q$	1,2	[-]

#### 3.2.1.1 Materialeigenschaften

Wichte des Rohrwerkstoffs:	$\gamma_R$	25,0	kN/m <sup>3</sup>
Querkontraktionszahl:	$\nu$	0,15	[-]
Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:	$f_{ck,cyl}$	40,0	N/mm <sup>2</sup>
Charakteristische Würfeldruckfestigkeit:	$f_{ck,cube}$	50,0	N/mm <sup>2</sup>
Druckfestigkeit:	$f_{cm}$	48,0	N/mm <sup>2</sup>
Mittlere Zugfestigkeit:	$f_{ctm}$	3,5	N/mm <sup>2</sup>
Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul):	$E_{cm}$	35.220	N/mm <sup>2</sup>

### 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:	$e$	72	mm		
Exzentrizität Scheitel:	$Z_{s,Sch}$	0,0	mm		
Exzentrizität Kämpfer:	$Z_{s,K}$	0,0	mm		
Exzentrizität Sohle wie Scheitel:	Ja				
Profilhöhe	$h$	Scheitel 120,00	Kämpfer 120,00	Sohle 120,00	mm
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	$Z_{s1}$	0,0	0,0	0,0	mm
Statische Höhe innen	$d_{s,i}$	60,0	60,0	60,0	mm
Statische Höhe außen	$d_{s,e}$	60,0	60,0	60,0	mm

Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton nach DIN V 1201:2004-08:	n	15,0	[-]
Z <sub>id</sub>	0,0	0,0	mm
Ideelle Querschnittsfläche	A <sub>id</sub>	1.304,72	cm <sup>2</sup> /m
Ideelles Trägheitsmoment	I <sub>id</sub>	144.000,0	mm <sup>4</sup> /mm
Ideelles Widerstandsmoment, außen	W <sub>id,a</sub>	2.400,00	mm <sup>3</sup> /mm
Ideelles Widerstandsmoment, innen	W <sub>id,i</sub>	2.400,00	mm <sup>3</sup> /mm
Vorhandene Betondeckung, innen	C <sub>nom,i</sub>	50,0	mm
Vorhandene Betondeckung, außen	C <sub>nom,e</sub>	56,0	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 <sub>0</sub> für Flächenlast (Silotheorie):	κ <sub>0</sub>	1,000	[-]

κ<sub>0</sub> und κ wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.

#### 3.2.3.2 Belastung

Grundwasserstand über Scheitel:	h <sub>w,Scheitel</sub>	0,00	m
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:	P <sub>Erd</sub>	66,00	kN/m <sup>2</sup>
Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast:	P <sub>E</sub>	66,00	kN/m <sup>2</sup>
Spannung aufgrund Verkehrslast:	P <sub>V</sub>	18,75	kN/m <sup>2</sup>
Enthaltener Stoßfaktor:	φ	1,20	[-]

#### 3.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB

E-Modul Verfüllung unter Last:	E <sub>1,σ</sub>	6,00	N/mm <sup>2</sup>
--------------------------------	------------------	------	-------------------

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

E-Modul anstehender Boden:	E <sub>3,σ</sub>	1,53	N/mm <sup>2</sup>
E-Modul Einbettung (abgemindert):	E <sub>2,σ</sub>	2,60	N/mm <sup>2</sup>
E-Modul Einbettung unter Last:	E <sub>20,σ</sub>	6,00	N/mm <sup>2</sup>
Reduktionsfaktor für das Kriechen:	f <sub>1</sub>	1,000	[-]
Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:	D <sub>pr,E20</sub>	0,90	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):	f <sub>2</sub>	0,750	[-]
Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):	α <sub>B0</sub>	0,333	[-]
Abminderungsfaktor E20 (enger Graben):	α <sub>B</sub>	0,577	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	E <sub>2,σ</sub>	2,60	N/mm <sup>2</sup>
E-Modul Boden unter dem Rohr:	E <sub>4,σ</sub>	60,00	N/mm <sup>2</sup>

#### 3.2.3.4 Bodensteifigkeiten

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:	Δ <sub>f</sub>	0,849	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,744	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S <sub>Bh</sub>	1,159	N/mm <sup>2</sup>
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S <sub>Bv</sub>	2,597	N/mm <sup>2</sup>

#### 3.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

Auflagerwinkel:	2α	90	°
-----------------	----	----	---

$$t_r = \frac{d_a}{2} - 0,7071 \cdot \frac{d_a}{2}$$

Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr:	t <sub>r</sub>	0,182	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	2,311	[-]
Innerer Reibungswinkel:	φ'	20,000	°

Wandreibungswinkel:  $\delta$  6,667 °

### 3.2.3.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

Elastizitätsmodul in Ringrichtung:	$E_{R,rad}$	35.220,5	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegezugfestigkeit:	$f_{t,fl}$	6,0	N/mm <sup>2</sup>
Radiale Biegedruckfestigkeit:	$f_{c,rad}$	40,0	N/mm <sup>2</sup>
Rohrsteifigkeit:	$S_R$	28.880	kN/m <sup>2</sup>

### 3.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	24,9216	[-]
Steifigkeitsverhältnis:	$V_S$	107,5826	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	$c'_v$	-0,1034	[-]

### 3.2.3.8 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	[-]

### 3.2.3.9 Konzentrationsfaktoren $\lambda_R$ und $\lambda_B$

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:  $\lambda_R$  2,047 [-]

$$\lambda_{RG} = \frac{\lambda_R - 1}{3} \cdot \frac{b}{d_a} + \frac{4 - \lambda_R}{3} \quad (6.21a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss:  $\lambda_{RG}$  1,383 [-]

$$\lambda_{fo} = 4 - 0,15 \cdot h \quad (6.23a)$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert:  $\lambda_{fo}$  3,505 [-]

Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert:  $\lambda_{fu}$  0,640 [-]

$$\lambda_{RG} = \lambda_{RG}$$

Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert:  $\lambda_{RG}$  1,383 [-]

$$\lambda_B = \frac{4 - \lambda_R}{3} \quad (6.07)$$

Konzentrationsfaktor Boden:  $\lambda_B$  0,651 [-]

### 3.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang

$$q_v = \lambda_{RG} \cdot P_E + P_V \quad (6.24)$$

Vertikale Gesamtlast:  $q_v$  110,01 kN/m<sup>2</sup>

$$q_h = K_2 \cdot (\lambda_B \cdot P_E + 0,24 \cdot \gamma_B + 0,38 \cdot \gamma')$$

Seitendruck:  $q_h$  25,98 kN/m<sup>2</sup>

Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung):  $q^*_{hw}$  0,00 kN/m<sup>2</sup>

## 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.  $a_{sring}$  6,98 cm<sup>2</sup>/m  
 Mindest-Ringbewehrung DIN EN 1916: min.  $a_s$  3,00 cm<sup>2</sup>/m

Vorhandene Bewehrung	vorh. $a_s$	Scheitel 6,98	Kämpfer 6,98	Sohle 6,98	cm <sup>2</sup> /m
min. $a_s = 0,0025 \cdot h$					0.25% in DIN 1916:2002 5.2.1

Mindestbewehrung	min. $a_s$	3,00	3,00	3,00	cm <sup>2</sup> /m
Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN)	U min. $a_s$	43,0	43,0	43,0	%

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 [-]

$$r = r_m - Z_{s,Sch} - \frac{\varnothing_{ax}}{2}$$

Angesetzter Radius:  $r$  557 mm

$$U_{L,vor} = \pi \cdot (A + B) \cdot \left( 1 + \frac{3 \cdot \lambda^2}{10 + 4 - 3 \cdot \lambda^{2,50}} \right)$$

Vorhandener Umfang Längsbewehrung:  $U_{L,vor}$  3.475 mm

$$e_{L,vor} = \frac{U_{L,vor}}{12}$$

Vorhandener Abstand Längsbewehrung:  $e_{L,vor}$  290 mm  
 Vorhandene Längsbewehrung: vorh  $a_{s,L}$  0,98 cm<sup>2</sup>/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 30,0	Kämpfer 30,0	Sohle 30,0	mm
-------------------------	------------------	------------------	-----------------	---------------	----

$$c_{nom,e} = \frac{h}{2} + Z_{s1} - \frac{\varnothing_{rad}}{2}$$

Vorhandene Betondeckung, außen	$c_{nom,e}$	56,0	56,0	56,0	mm
--------------------------------	-------------	------	------	------	----

Die Betondeckung (außen) ist ausreichend.

Erf. Betondeckung innen	erf. $c_{nom,i}$	30,0	30,0	30,0	mm
-------------------------	------------------	------	------	------	----

$$c_{nom,i} = \frac{h}{2} - Z_{s1} - \frac{\varnothing_{rad}}{2} - \varnothing_{ax}$$

Vorhandene Betondeckung, innen  $c_{nom,i}$  50,0 50,0 50,0 mm

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

### 3.2.5 Schnittkräfte , Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):

		Scheitel	r Kämpfer	1,000 Sohle	[-] mm
Mittlerer Radius	$r_m$	560,00	560,00	560,00	mm
	$M_{qv} = m_{qv} \cdot q_v \cdot r_m^2 \cdot r$				(8.01)
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	9,453	-9,625	10,833	kNm/m
	$M_{qh} = m_{qh} \cdot q_h \cdot r_m^2 \cdot r$				(8.03)
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-2,036	2,036	-2,036	kNm/m
	$M_g = m_g \cdot \gamma_R \cdot A_{rad} \cdot r_m^2 \cdot r$				(8.07)
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	0,394	-0,456	0,604	kNm/m
	$M_w = m_w \cdot \gamma_F \cdot r_m^3 \cdot r$				(8.09)
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	0,369	-0,427	0,564	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	-0,012	-0,012	-0,012	kNm/m
	$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Summe der Momente	$\Sigma M$	8,167	-8,484	9,952	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	mm
Mittlerer Radius	$r_m$	560,00	560,00	560,00	mm
	$N_{qv} = n_{pv} \cdot q_v \cdot r_m$				(8.02)
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	3,265	-61,606	-3,265	kN/m
	$N_{qh} = n_{qh} \cdot q_h \cdot r_m$				(8.04)
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-14,546	0,000	-14,546	kN/m
	$N_g = n_g \cdot \gamma_R \cdot A_{rad} \cdot r_m$				(8.08)
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,559	-2,639	-0,559	kN/m
	$N_w = n_w \cdot \gamma_F \cdot r_m^2$				(8.10)
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	2,092	0,674	4,180	kN/m
	$N_{pw} = P_i \cdot r_i - 10.000 \cdot h_w \cdot r_a$				(8.12)
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pw}$	-6,200	-6,200	-6,200	kN/m
	$\Sigma N = N_{qv} + N_{qh} + N_{qh}^* + N_{qw}^* + N_g + N_w + N_{pw}$				
Summe der Normalkräfte	$\Sigma N$	-14,830	-69,771	-20,390	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 <sup>2</sup>	
Bemessungswert Beton:	$f_{cd}$		22,67		N/mm <sup>2</sup>	
Nennstreckgrenze:	$f_{yk}$		500		N/mm <sup>2</sup>	
Bemessungswert Betonstahl:	$f_{yd}$		434,78		N/mm <sup>2</sup>	
Summe der Momente	$M_E$	Scheitel	8,167	Kämpfer -8,484	Sohle 9,952	kNm/m
$M_{Ed} = M_G \cdot \gamma_G + M_T \cdot \gamma_Q$						
Summe der Momente inkl. Teilsicherheitsbeiwert	$M_{Ed}$		11,026	-11,453	13,435	kNm/m
Summe Normalkraft	$N_E$		-14,830	-69,771	-20,390	kN/m
$N_{Ed} = N_G \cdot 1,35 + N_T \cdot 1,35$						
Summe der Normalkräfte inkl. Teilsicherheitsbeiwert	$N_{Ed}$		-20,020	-94,191	-27,527	kN/m
Bemessung: Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	$z_{s1}$	Scheitel	0,0	Kämpfer 0,0	Sohle 0,0	mm
$M_{Eds} =  M_{Ed}  - N_{Ed} \cdot z_{s1}$						
Auslegungsmoment Plattenbemessung	$M_{Eds}$		11,026	11,453	13,435	kNm/m
Rechenwert der Stahlgrenzspannung	$\sigma_{s,d}$		434,78	434,78	434,78	N/mm <sup>2</sup>
Statische Höhe	$d$		0,060	0,060	0,060	m
$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{d^2 \cdot f_{cd}}$						
Normiertes Auslegungsmoment	$\mu_{Eds}$		0,1351	0,1404	0,1646	[-]
Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad	$\omega$		0,1461	0,1522	0,1816	[-]
$a_{s,calc} = \frac{\omega \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{\sigma_{s,d}}$						
Erforderliche Bewehrung (Bemessung)	$a_{s,calc}$		4,11	2,60	5,05	cm <sup>2</sup> /m
Vorhandene Bewehrung	vorh. $a_s$		6,98	6,98	6,98	cm <sup>2</sup> /m
Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)	$U a_{s,calc}$		58,9	37,2	72,3	%

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

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

Ideeelles Widerstandsmoment, Zugseite	$W_{id}$	Scheitel	2.400,00	Kämpfer	2.400,00	Sohle	2.400,00	mm <sup>3</sup> /mm
Biegespannungsanteil aus Biegemomenten	$\sigma_{M,E}$		3,4031	3,5349	4,1467			N/mm <sup>2</sup>
Spannungsanteil aus Normalkräften	$\sigma_{N,E}$		-0,1137	-0,5348	-0,1563			N/mm <sup>2</sup>
Maßgebliche Biegezugspannung	$f_{t,fl}$		3,2894	3,0001	3,9905			N/mm <sup>2</sup>
Spannungsverhältnis	$\sigma_N/\sigma_M$		-0,0334	-0,1513	-0,0377			[-]
Profilhöhe	$h$		120,00	120,00	120,00			mm
Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9	$f_R$		1,01	0,92	1,00			[-]
Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I	$\sigma_{VR}$		3,31	2,76	4,00			N/mm <sup>2</sup>
Mittlere Zugfestigkeit:				$f_{ctm}$	3,5			N/mm <sup>2</sup>
Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201:				max $\sigma_{VR}$	6,0			N/mm <sup>2</sup>
Ausnutzung Rohrvergleichsspannung	$U \sigma_{VR}$		55,2	46,0	66,7			%

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

Alle Nachweise für die Bemessung des Stahlbetons wurden erbracht.