

## Statische Berechnung

Bauvorhaben: Musterstatik für Stahlbetonrohr DN 800, 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 800 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 800 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 800 Stb, H = 0,70 m

Titel der Teilstatik: Position 1: DN 800 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. 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

### 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:

h 0,70 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 %

### 2.1.4 Einbau

Einbauweise:

Graben

Grabenbreite in Scheitelhöhe:

b 2,20 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

### 2.1.5 Stahlbeton-Rohr

Rohrauswahl aus Datenbank:

Nein

Auswahl der Eingaben:

Da und Di

Außendurchmesser:

d<sub>a</sub> 1.000 mm

Innendurchmesser:

d<sub>i</sub> 800 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 86 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> 40,0 mm

Betonüberdeckung Kämpfer:

c<sub>,Sch</sub> 40,0 mm

Exzentrizität Sohle wie Scheitel:

Ja

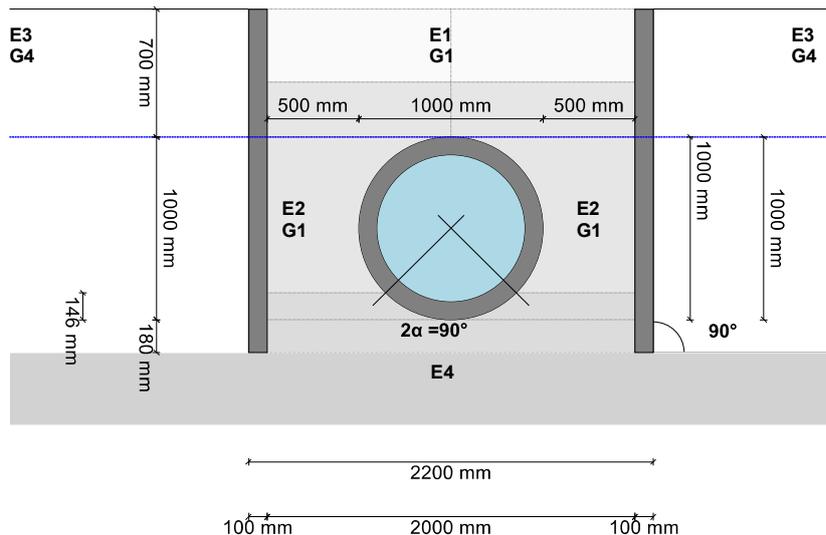
Teilsicherheiten manuell definieren:

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.

## 2.2 Ergebnisse

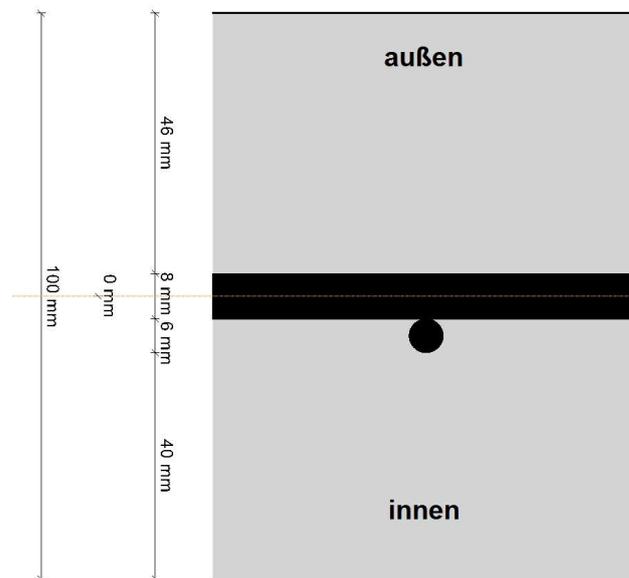
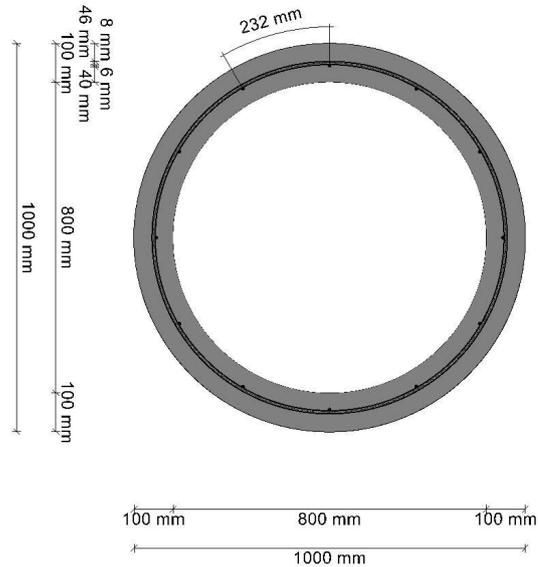
### 2.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	$d_i$	800,0	mm
Außendurchmesser:	$d_a$	1.000,0	mm
Mittlerer Radius:	$r_m$	450,00	mm
Wanddicke:	$s$	100,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	$r_m/s$	4,500	[-]
$\alpha_{ki} = 1 + \frac{0,1000}{3 \cdot r_m}$	$\alpha_{ki}$	1,074	[-]
Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$	1,074	[-]
$\alpha_{ka} = 1 - \frac{0,1000}{3 \cdot r_m}$	$\alpha_{ka}$	0,926	[-]
Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\alpha_{ka}$	0,926	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	0,00	%
Radiale Profilfläche:	$A_{rad}$	100,00	mm <sup>2</sup> /mm
Trägheitsabstand:	$e$	50,00	mm
Trägheitsmoment:	$I$	83.333,33	mm <sup>4</sup> /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	$W_a$	1.666,67	mm <sup>3</sup> /mm
Inneres Widerstandsmoment:	$W_i$	1.666,67	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:	$e$	86	mm		
Exzentrizität Scheitel:	$Z_{s,Sch}$	0,0	mm		
Exzentrizität Kämpfer:	$Z_{s,K}$	0,0	mm		
Exzentrizität Sohle wie Scheitel:	Ja				
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Profilhöhe	$h$	100,00	100,00	100,00	mm
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	$Z_{s1}$	0,0	0,0	0,0	mm
Statische Höhe innen	$d_{s,i}$	50,0	50,0	50,0	mm
Statische Höhe außen	$d_{s,e}$	50,0	50,0	50,0	mm

Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton nach DIN V 1201:2004-08:	n	15,0	[-]
Zid	0,0	0,0	mm
Ideelle Querschnittsfläche	A <sub>id</sub>	1.087,67	cm <sup>2</sup> /m
Ideelles Trägheitsmoment	I <sub>id</sub>	83.333,3	mm <sup>4</sup> /mm
Ideelles Widerstandsmoment, außen	W <sub>id,a</sub>	1.666,67	mm <sup>3</sup> /mm
Ideelles Widerstandsmoment, innen	W <sub>id,i</sub>	1.666,67	mm <sup>3</sup> /mm
Vorhandene Betondeckung, innen	C <sub>nom,i</sub>	40,0	mm
Vorhandene Betondeckung, außen	C <sub>nom,e</sub>	46,0	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>	72,15	kN/m <sup>2</sup>
Enthaltener Stoßfaktor:	φ	1,20	[-]
Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert:	ρ <sub>Tdyn</sub>	51,11	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>	2,70	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>	0,600	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	E <sub>2,σ</sub>	2,70	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>	0,908	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,741	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S <sub>Bh</sub>	1,200	N/mm <sup>2</sup>
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S <sub>Bv</sub>	2,700	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>	0,146	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	2,222	[-]

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:	$S_R$	32.209	kN/m <sup>2</sup>

### 2.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	26,8475	[-]
Steifigkeitsverhältnis:	$V_S$	114,8294	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	$c'_v$	-0,1039	[-]

### 2.2.3.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung):	$K_2$	0,500	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck:	$K^*$	0,004	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	$c'_h$	0,0983	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	$c'^{h,qh*}$	-0,0707	[-]

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

Maximaler Konzentrationsfaktor:	$\max \lambda$	1,361	[-]
---------------------------------	----------------	-------	-----

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

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert:	$\lambda_R$	1,361	[-]
--	-------------	-------	-----

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

Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss:	$\lambda_{RG}$	1,144	[-]
---	----------------	-------	-----

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

Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert:	$\lambda_{f0}$	3,895	[-]
Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert:	$\lambda_{fu}$	0,883	[-]

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

Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert:	$\lambda_{RG}$	1,144	[-]
---	----------------	-------	-----

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

Konzentrationsfaktor Boden:	$\lambda_B$	0,880	[-]
-----------------------------	-------------	-------	-----

### 2.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang

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

Vertikale Gesamtlast:	$q_v$	88,17	kN/m <sup>2</sup>
-----------------------	-------	-------	-------------------

$$q_h = K_2 \cdot (\lambda_B \cdot P_E + 0 \cdot \gamma_B + 0,50 \cdot \gamma')$$

Seitendruck:	$q_h$	8,91	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. $a_{sring}$	5,84	cm <sup>2</sup> /m		
Mindest-Ringbewehrung DIN EN 1916:	min. $a_s$	2,50	cm <sup>2</sup> /m		
Vorhandene Bewehrung	vorh. $a_s$	Scheitel 5,84	Kämpfer 5,84	Sohle 5,84	cm <sup>2</sup> /m
min. $a_s = 0,0025 \cdot h$					0.25% in DIN 1916:2002 5.2.1
Mindestbewehrung	min. $a_s$	2,50	2,50	2,50	cm <sup>2</sup> /m
Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN)	U min. $a_s$	42,8	42,8	42,8	%

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:	$r$	447	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:	$U_{L,vor}$	2.783	mm
$e_{L,vor} = \frac{U_{L,vor}}{12}$			
Vorhandener Abstand Längsbewehrung:	$e_{L,vor}$	232	mm
Vorhandene Längsbewehrung:	vorh $a_{s,L}$	1,22	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	$c_{nom,e}$	46,0	46,0	46,0	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	$c_{nom,i}$	40,0	40,0	40,0	mm
--------------------------------	-------------	------	------	------	----

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

### 2.2.5 Schnittkräfte , Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):

		Scheitel	r Kämpfer	1,000 Sohle	[-]
Mittlerer Radius	$r_m$	450,00	450,00	450,00	mm
					(8.01)
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	4,892	-4,982	5,606	kNm/m
					(8.03)
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-0,451	0,451	-0,451	kNm/m
					(8.07)
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	0,212	-0,246	0,325	kNm/m
					(8.09)
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	0,191	-0,221	0,293	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	-0,008	-0,008	-0,008	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$					
Summe der Momente	$\Sigma M$	4,837	-5,006	5,765	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	mm
Mittlerer Radius	$r_m$	450,00	450,00	450,00	mm
					(8.02)
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	2,103	-39,677	-2,103	kN/m
					(8.04)
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-4,008	0,000	-4,008	kN/m
					(8.08)
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,375	-1,767	-0,375	kN/m
					(8.10)
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	1,351	0,435	2,699	kN/m
					(8.12)
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pw}$	-5,000	-5,000	-5,000	kN/m

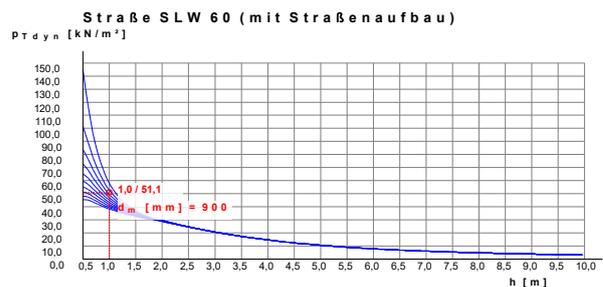
$$\Sigma N = N_{qv} + N_{qh} + N_{qh}^* + N_{qw}^* + N_g + N_w + N_{pw}$$

Summe der Normalkräfte	$\Sigma N$	-5,180	-46,009	-8,787	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:

$$p_{Tdyn} = 51,11 \quad \text{kN/m}^2$$

Abminderungsfaktor  $\alpha_V$  nach Tabelle 14 für Verkehrslasten:

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

Abgeminderte vertikale Bodenspannung für Ermüdung:

$$dyn \, p_V = 25,555 \quad \text{kN/m}^2$$

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	$dyn \, M_{qv}$	1,418	-1,444	1,625	kNm/m

Summe der Momente aufgrund Verkehrslast	$M_{QK,dyn}$	1,418	-1,444	1,625	kNm/m
---	--------------	-------	--------	-------	-------

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Normalkraft aufgrund vertikaler Bodenspannung	$n_{pv}$	0,053	-1,000	-0,053	[-]
aufgrund dynamischer Last	$dyn \, N_{qv}$	0,609	-11,500	-0,609	kN/m

Summe der Normalkräfte aufgrund Verkehrslast	$N_{QK,dyn}$	0,609	-11,500	-0,609	kN/m
--	--------------	-------	---------	--------	------

## 2.2.6 Bemessung Ringbewehrung

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:

$$\gamma_{RC} = 1,50 \quad [-]$$

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:

$$\gamma_{RS} = 1,15 \quad [-]$$

Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:

$$f_{ck,cyl} = 40,0 \quad \text{N/mm}^2$$

Bemessungswert Beton:

$$f_{cd} = 22,67 \quad \text{N/mm}^2$$

Nennstreckgrenze:

$$f_{yk} = 500 \quad \text{N/mm}^2$$

Bemessungswert Betonstahl:

$$f_{yd} = 434,78 \quad \text{N/mm}^2$$

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Summe der Momente	$M_E$	4,837	-5,006	5,765	kNm/m

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

Summe der Momente inkl. Teilssicherheitsbeiwert	$M_{Ed}$	6,529	-6,758	7,782	kNm/m
---	----------	-------	--------	-------	-------

Summe Normalkraft	$N_E$	-5,180	-46,009	-8,787	kN/m
-------------------	-------	--------	---------	--------	------

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

Summe der Normalkräfte inkl. Teilssicherheitsbeiwert	$N_{Ed}$	-6,993	-62,113	-11,862	kN/m
--	----------	--------	---------	---------	------

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

Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	Z <sub>s1</sub>	0,0	0,0	0,0	mm
$M_{Eds} =  M_{Ed}  - N_{Ed} \cdot Z_{s1}$					
Auslegungsmoment Plattenbemessung	M <sub>Eds</sub>	6,529	6,758	7,782	kNm/m
Rechenwert der Stahlgrenzspannung	σ <sub>s,d</sub>	434,78	434,78	434,78	N/mm <sup>2</sup>
Statische Höhe	d	0,050	0,050	0,050	m
$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{d^2 \cdot f_{cd}}$					
Normiertes Auslegungsmoment	μ <sub>Eds</sub>	0,1152	0,1193	0,1373	[-]
Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad	ω	0,1230	0,1276	0,1487	[-]
$a_{s,calc} = \frac{\omega \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{\sigma_{s,d}}$					
Erforderliche Bewehrung (Bemessung)	a <sub>s,calc</sub>	3,05	1,90	3,60	cm <sup>2</sup> /m
Vorhandene Bewehrung	vorh. a <sub>s</sub>	5,84	5,84	5,84	cm <sup>2</sup> /m
Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)	U a <sub>s,calc</sub>	52,1	32,5	61,6	%

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>	1.666,67	1.666,67	1.666,67	mm <sup>3</sup> /mm
Biegespannungsanteil aus Biegemomenten	σ <sub>M,E</sub>	2,9019	3,0035	3,4589	N/mm <sup>2</sup>
Spannungsanteil aus Normalkräften	σ <sub>N,E</sub>	-0,0476	-0,4230	-0,0808	N/mm <sup>2</sup>
Maßgebliche Biegezugspannung	f <sub>t,fl</sub>	2,8543	2,5805	3,3781	N/mm <sup>2</sup>
Spannungsverhältnis	σ <sub>N</sub> /σ <sub>M</sub>	-0,0164	-0,1408	-0,0234	[-]
Profilhöhe	h	100,00	100,00	100,00	mm
Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9	f <sub>R</sub>	0,98	0,90	0,98	[-]
Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I	σ <sub>VR</sub>	2,81	2,32	3,30	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>	46,8	38,7	55,0	%

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	$M_G$	0,833	-0,929	1,177	kNm/m
$N_G = N_E - N_T$					
Normalkraft aufgrund ständiger Lasten	$N_G$	-6,901	-13,542	-7,066	kN/m
Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment aufgrund ständiger Lasten					
Bemessungsmoment, ständig	$M'_{Gs,min}$	0,833	0,929	1,177	kNm/m
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse					
Moment für Ermüdungsnachweis	$M_{Q,dyn}$	1,418	-1,444	1,625	kNm/m
Normalkraft für Ermüdungsnachweis	$N_{Q,dyn}$	0,609	-11,500	-0,609	kN/m
Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment aufgrund dynamischer Lasten					
Bemessungsmoment, dynamisch	$M'_{Qs,dyn}$	1,418	1,444	1,625	kNm/m

### 2.3.1 Nachweis der geschweißten Bewehrungskörbe

Statische Höhe	$d$	0,050	0,050	0,050	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	$x$	0,015	0,015	0,015	m
$d-x = d - x$					
Höhe der Zugzone	$d-x$	0,035	0,035	0,035	m
Innerer Hebelarm	$z$	0,045	0,045	0,045	m
Betonspannung	$\sigma_{c,dyn}$	4,152	4,228	4,758	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	$\sigma_{s,dyn}$	55,031	35,299	60,827	N/mm <sup>2</sup>
Kontrolle	$\sigma_{s,dyn,kon}$	55,031	35,299	60,827	N/mm <sup>2</sup>
Ermittelter Wert	$\Delta\sigma_{s,eq}$	55,031	35,299	60,827	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. $a_s$	5,84	5,84	5,84	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. $a_s$	5,00	3,21	5,53	cm <sup>2</sup> /m
Ausnutzung Ermüden Stahl	$U \sigma_{s,dyn}$	85,5	54,9	94,5	%

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	$M'_{Ed,dyn}$	2,251	2,373	2,802	kNm/m

$\sigma'_{c,max} = \sigma_{c,dyn} \cdot \frac{M'_{Ed,dyn}}{M'_{Qs,dyn}}$					
Maximale Betondruckspannung	$\sigma'_{c,max}$	6,593	6,950	8,206	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma'_{c,min} = \sigma_{c,dyn} \cdot \frac{M'_{Gs,min}}{M'_{Qs,dyn}}$					
Minimale Betondruckspannung	$\sigma'_{c,min}$	2,440	2,722	3,447	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	$U_{\sigma'_{c,max,eff}}$	0,346	0,365	0,431	[-]
Ausnutzung Ermüden maximale Spannung	$U_{\sigma_{s,max,dyn}}$	62,1	64,7	74,1	%
$U_{\sigma'_{c,min,eff}} = 0,50 + 0,45 \cdot \frac{\sigma'_{c,min}}{f_{cd,fat}}$					DIN EN 1992-1-1 Gl. (6.77)
Ausnutzung bei minimaler Betondruckspannung	$U_{\sigma'_{c,min,eff}}$	0,558	0,564	0,581	[-]
Ausnutzung Ermüden minimale Spannung	$U_{\sigma_{s,min,dyn}}$	62,0	62,7	64,6	%
Ausnutzung Ermüden Beton	$U_{\sigma_{c,dyn}}$	62,1	64,7	74,1	%

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:

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 <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	%

### 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	2,20	m
Nein		
Ja		
β	90	°
A2		
B2		
Nein		
bs	0,10	m
Lose		
90°		
Ja		
Nein		
h <sub>s</sub>	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<sub>R</sub>:

Lastklasse ermitteln:

Lastwechsel-Zahl manuell:

Dyn. Nachweis für:

Verhältnis E-Moduli manuell:

Nein		
Da und Di		
d <sub>a</sub>	1.000	mm
d <sub>i</sub>	800	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	86	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>	40,0	mm
c <sub>,Sch</sub>	40,0	mm
Ja		

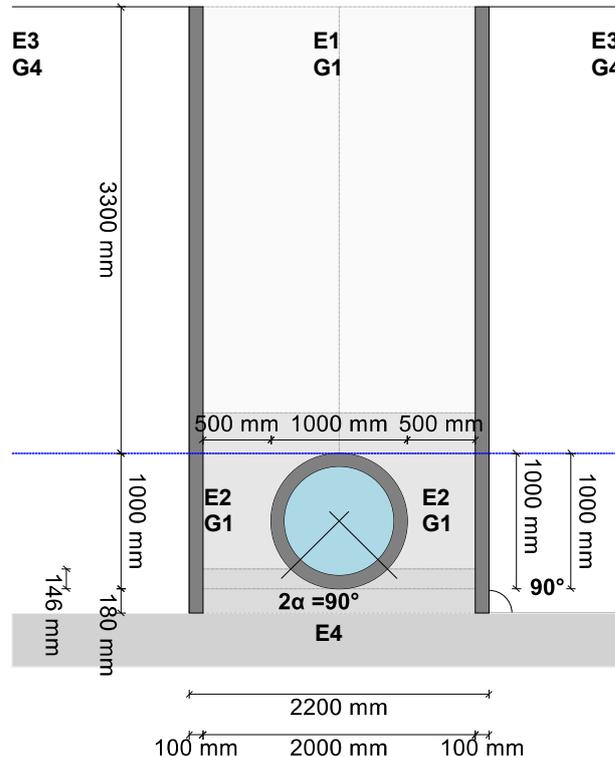
Teilsicherheiten manuell definieren:

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.

## 3.2 Ergebnisse

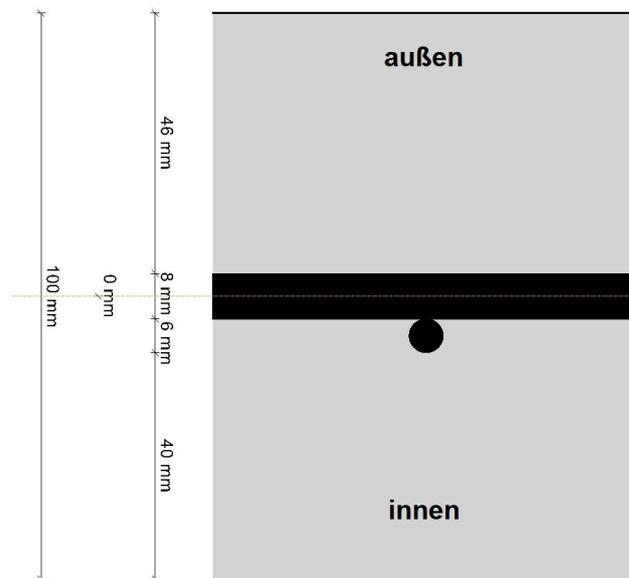
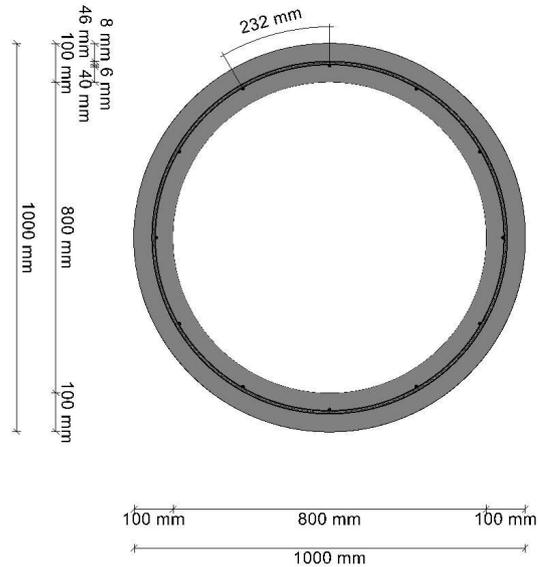
### 3.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

Innendurchmesser:	$d_i$	800,0	mm
Außendurchmesser:	$d_a$	1.000,0	mm
Mittlerer Radius:	$r_m$	450,00	mm
Wanddicke:	$s$	100,00	mm
Verhältnis Radius zu Wanddicke:	$r_m/s$	4,500	[-]
$\alpha_{ki} = 1 + \frac{0,1000}{3 \cdot r_m}$			
Korrekturfaktor Krümmung innen:	$\alpha_{ki}$	1,074	[-]
$\alpha_{ka} = 1 - \frac{0,1000}{3 \cdot r_m}$			
Korrekturfaktor Krümmung außen:	$\alpha_{ka}$	0,926	[-]
Lokale Vorverformung:	$\delta_{v,l}$	0,00	%
Vorverformung (Ovalisierung vor Last):	$\delta_{v,A}$	0,00	%
Radiale Profilfläche:	$A_{rad}$	100,00	mm <sup>2</sup> /mm
Trägheitsabstand:	$e$	50,00	mm
Trägheitsmoment:	$I$	83.333,33	mm <sup>4</sup> /mm
Äußeres Widerstandsmoment:	$W_a$	1.666,67	mm <sup>3</sup> /mm
Inneres Widerstandsmoment:	$W_i$	1.666,67	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:	$e$	86	mm		
Exzentrizität Scheitel:	$Z_{s,Sch}$	0,0	mm		
Exzentrizität Kämpfer:	$Z_{s,K}$	0,0	mm		
Exzentrizität Sohle wie Scheitel:	Ja				
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Profilhöhe	$h$	100,00	100,00	100,00	mm
Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse	$Z_{s1}$	0,0	0,0	0,0	mm
Statische Höhe innen	$d_{s,i}$	50,0	50,0	50,0	mm
Statische Höhe außen	$d_{s,e}$	50,0	50,0	50,0	mm

Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton nach DIN V 1201:2004-08:	n	15,0	[-]
Zid	0,0	0,0	mm
Ideelle Querschnittsfläche	A <sub>id</sub>	1.087,67	cm <sup>2</sup> /m
Ideelles Trägheitsmoment	I <sub>id</sub>	83.333,3	mm <sup>4</sup> /mm
Ideelles Widerstandsmoment, außen	W <sub>id,a</sub>	1.666,67	mm <sup>3</sup> /mm
Ideelles Widerstandsmoment, innen	W <sub>id,i</sub>	1.666,67	mm <sup>3</sup> /mm
Vorhandene Betondeckung, innen	C <sub>nom,i</sub>	40,0	mm
Vorhandene Betondeckung, außen	C <sub>nom,e</sub>	46,0	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>	2,70	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>	0,600	[-]
E-Modul Einbettung (abgemindert):	E <sub>2,σ</sub>	2,70	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>	0,908	[-]
Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit:	ζ	0,741	[-]
Horizontale Bettungssteifigkeit:	S <sub>Bh</sub>	1,200	N/mm <sup>2</sup>
Vertikale Bettungssteifigkeit:	S <sub>Bv</sub>	2,700	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>	0,146	m
Berechnete Ausladung:	a	1,00	[-]
Wirksame Ausladung:	a'	2,222	[-]
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:	$S_R$	32.209	kN/m <sup>2</sup>

### 3.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse

Systemsteifigkeit, gewichtet:	$V_{RB,w}$	26,8475	[-]
Steifigkeitsverhältnis:	$V_S$	114,8294	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	$c'_v$	-0,1039	[-]

### 3.2.3.8 Beiwerte

Erddruckbeiwert (Einbettung):	$K_2$	0,500	[-]
Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck:	$K^*$	0,004	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	$c'_h$	0,0983	[-]
Resultierender Verformungsbeiwert:	$c'_{h,qh^*}$	-0,0707	[-]

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

Maximaler Konzentrationsfaktor:  $\max \lambda$  2,148 [-]

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

Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert:  $\lambda_R$  2,148 [-]

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

Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss:  $\lambda_{RG}$  1,459 [-]

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

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

Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert:  $\lambda_{fu}$  0,582 [-]

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

Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert:  $\lambda_{RG}$  1,459 [-]

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

Konzentrationsfaktor Boden:  $\lambda_B$  0,617 [-]

### 3.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang

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

Vertikale Gesamtlast:  $q_v$  115,06 kN/m<sup>2</sup>

$$q_h = K_2 \cdot (\lambda_B \cdot P_E + 0 \cdot \gamma_B + 0,50 \cdot \gamma')$$

Seitendruck:  $q_h$  23,12 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.  $a_{sring}$  5,84 cm<sup>2</sup>/m  
 Mindest-Ringbewehrung DIN EN 1916: min.  $a_s$  2,50 cm<sup>2</sup>/m

Vorhandene Bewehrung	vorh. $a_s$	Scheitel	Kämpfer	Sohle	cm <sup>2</sup> /m
		5,84	5,84	5,84	cm <sup>2</sup> /m

$$\text{min. } a_s = 0,0025 \cdot h$$

0.25% in DIN 1916:2002 5.2.1

Mindestbewehrung	min. $a_s$	2,50	2,50	2,50	cm <sup>2</sup> /m
Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN)	U min. $a_s$	42,8	42,8	42,8	%

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:  $r$  447 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:  $U_{L,vor}$  2.783 mm

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

Vorhandener Abstand Längsbewehrung:  $e_{L,vor}$  232 mm  
 Vorhandene Längsbewehrung: vorh  $a_{s,L}$  1,22 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	Kämpfer	Sohle	mm
		30,0	30,0	30,0	mm

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

Vorhandene Betondeckung, außen	$c_{nom,e}$	46,0	46,0	46,0	mm
		46,0	46,0	46,0	mm

Die Betondeckung (außen) ist ausreichend.

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

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

Vorhandene Betondeckung, innen	$c_{nom,i}$	40,0	40,0	40,0	mm
--------------------------------	-------------	------	------	------	----

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

### 3.2.5 Schnittkräfte , Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):

			r	1,000	[-]
		Scheitel	Kämpfer	Sohle	
Mittlerer Radius	$r_m$	450,00	450,00	450,00	mm
					(8.01)
Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$M_{qv}$	6,384	-6,500	7,316	kNm/m
					(8.03)
Moment aufgrund Seitendruck	$M_{qh}$	-1,171	1,171	-1,171	kNm/m
					(8.07)
Moment aufgrund Eigengewicht	$M_g$	0,212	-0,246	0,325	kNm/m
					(8.09)
Moment aufgrund Wasserfüllung	$M_w$	0,191	-0,221	0,293	kNm/m
Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$M_{pw}$	-0,008	-0,008	-0,008	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$					
Summe der Momente	$\Sigma M$	5,609	-5,805	6,755	kNm/m

		Scheitel	Kämpfer	Sohle	mm
Mittlerer Radius	$r_m$	450,00	450,00	450,00	mm
					(8.02)
Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung	$N_{qv}$	2,744	-51,776	-2,744	kN/m
					(8.04)
Normalkraft aufgrund Seitendruck	$N_{qh}$	-10,406	0,000	-10,406	kN/m
					(8.08)
Normalkraft aufgrund Eigengewicht	$N_g$	0,375	-1,767	-0,375	kN/m
					(8.10)
Normalkraft aufgrund Wasserfüllung	$N_w$	1,351	0,435	2,699	kN/m
					(8.12)
Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck	$N_{pw}$	-5,000	-5,000	-5,000	kN/m
$\Sigma N = N_{qv} + N_{qh} + N_{qh}^* + N_{qw}^* + N_g + N_w + N_{pw}$					
Summe der Normalkräfte	$\Sigma N$	-10,936	-58,108	-15,825	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	5,609	Kämpfer -5,805	Sohle 6,755	kNm/m
$M_{Ed} = M_G \cdot \gamma_G + M_T \cdot \gamma_Q$						
Summe der Momente inkl. Teilsicherheitsbeiwert	$M_{Ed}$		7,572	-7,837	9,119	kNm/m
Summe Normalkraft	$N_E$		-10,936	-58,108	-15,825	kN/m
$N_{Ed} = N_G \cdot 1,35 + N_T \cdot 1,35$						
Summe der Normalkräfte inkl. Teilsicherheitsbeiwert	$N_{Ed}$		-14,764	-78,446	-21,364	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	$M_{Eds}$		7,572	7,837	9,119	kNm/m
Rechenwert der Stahlgrenzspannung	$\sigma_{s,d}$		434,78	434,78	434,78	N/mm <sup>2</sup>
Statische Höhe	$d$		0,050	0,050	0,050	m
$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{d^2 \cdot f_{cd}}$						
Normiertes Auslegungsmoment	$\mu_{Eds}$		0,1336	0,1383	0,1609	[-]
Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad	$\omega$		0,1443	0,1498	0,1770	[-]
$a_{s,calc} = \frac{\omega \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{\sigma_{s,d}}$						
Erforderliche Bewehrung (Bemessung)	$a_{s,calc}$		3,42	2,10	4,12	cm <sup>2</sup> /m
Vorhandene Bewehrung	vorh. $a_s$		5,84	5,84	5,84	cm <sup>2</sup> /m
Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)	$U a_{s,calc}$		58,6	35,9	70,5	%

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	1.666,67	Kämpfer	1.666,67	Sohle	1.666,67	mm <sup>3</sup> /mm
Biegespannungsanteil aus Biegemomenten	$\sigma_{M,E}$		3,3651	3,4830	4,0527			N/mm <sup>2</sup>
Spannungsanteil aus Normalkräften	$\sigma_{N,E}$		-0,1005	-0,5342	-0,1455			N/mm <sup>2</sup>
Maßgebliche Biegezugspannung	$f_{t,fl}$		3,2646	2,9488	3,9072			N/mm <sup>2</sup>
Spannungsverhältnis	$\sigma_N/\sigma_M$		-0,0299	-0,1534	-0,0359			[-]
Profilhöhe	$h$		100,00	100,00	100,00			mm
Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9	$f_R$		0,97	0,90	0,96			[-]
Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I	$\sigma_{VR}$		3,17	2,65	3,77			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	$U \sigma_{VR}$		52,8	44,2	62,8			%

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

---

Alle Nachweise für die Bemessung des Stahlbetons wurden erbracht.