

## Statische Berechnung

Bauvorhaben: Musterstatik für Stahlbetonrohr DN 400, 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 400 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 400 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                                     | 11        |
| 2.2.4.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse                    | 11        |
| 2.2.4.2 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN EN 1916:2002 5.2.1)                   | 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 400 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                                     | 25 |
| 3.2.4.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse                    | 25 |
| 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                                                       | 27 |
| 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 Rohrauflager (Rücksprache mit zuständiger Bauleitung). Während der Verlegearbeiten ist der Graben frei von Wasser zu halten.
- Bei Sonderausführungen ist die DIN EN 1610, Abschnitt 7.3 zu beachten.
- Wird ein Betonaufleger berechnet und nichts anderes angegeben, so ist als Auflagerbeton mindestens ein C 16/20 zu verwenden.
- Bei Ausführung von Betonaufleger bzw. –ummantelung darf mit der Seitenverfüllung erst begonnen werden, wenn der Auflagerbeton eine ausreichende Festigkeit erreicht hat.
- Zwischen Verbau und Betonaufleger in der Grabensohle darf kein Kraft- oder Formschluss bestehen. D.h. zwischen Betonaufleger und Verbau muss eine flexible Trennschicht (z.B. Polystyrol) vorgesehen werden, um Schäden beim Rückbau zu vermeiden.
- Bei Einsatz von Verdichtungsgeräten sind die erforderlichen Mindestüberdeckungen zu beachten. (Siehe DWA-A 139).
- Im Bereich der Abdeckung, bis 30 cm (im verdichteten Zustand) über der Rohrleitung darf nur mit Handstampfern oder mit leichten, geeigneten Verdichtungsgeräten verdichtet werden. Der dynamische Einsatz von Anbauverdichtern direkt über dem Rohr ist hier nicht zulässig.
- Anbauverdichter ersetzen nicht das sorgfältige Unterstopfen des Rohres und das manuelle Verdichten des Rohrzwickels
- Der nachfolgende Straßenbau ist über die Lage der Kanäle genau zu informieren.
- In Gebieten sehr enger Bebauung (z.B. Altstadt) können zu den Lasten aus Verkehr und Überdeckung zusätzliche Belastungen aus der angrenzenden Bebauung (Fundamente) auf den Kanal einwirken. Diese sind gesondert zu berücksichtigen. Außerdem wird empfohlen, die Baugrube zur Vermeidung von Gebäudeschäden durch Setzungen bis Oberkante Baugrube zwischen den Spundwänden mit Magerbeton zu verfüllen und die Spundwand nicht zu ziehen.

### Bauseitige Angaben:

Durch      MUSTERSTATIK

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

Titel der Teilstatik: Position 1: DN 400 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:           | DPr,E3      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                              |      |                   |
| YB                                | 20,0 | kN/m <sup>3</sup> |
| Nein                              |      |                   |
| p <sub>0</sub>                    | 0,0  | kN/m <sup>2</sup> |
| P <sub>I,L</sub>                  | 0,00 | bar               |
| Ja                                |      |                   |
| YF                                | 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              | 1,50 | m |
| Nein           |      |   |
| Ja             |      |   |
| ß              | 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>                | 550 | mm |
| d <sub>i</sub>                | 400 | mm |
| C40/50                        |     |    |
| Ja                            |     |    |
| Nein                          |     |    |
| Nein                          |     |    |
| Nein                          |     |    |
| 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> | 6,0 | mm  |
| e                | 100 | 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>       | 29,0 mm |
| c <sub>Sch</sub>       | 29,0 mm |
| Ja                     |         |



## 2.2 Ergebnisse

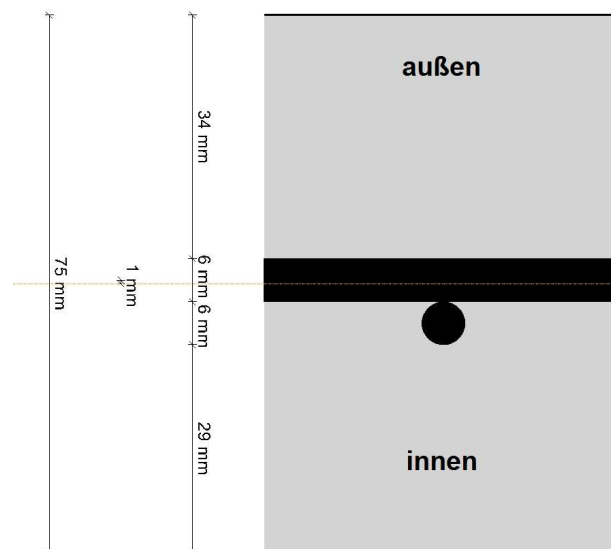
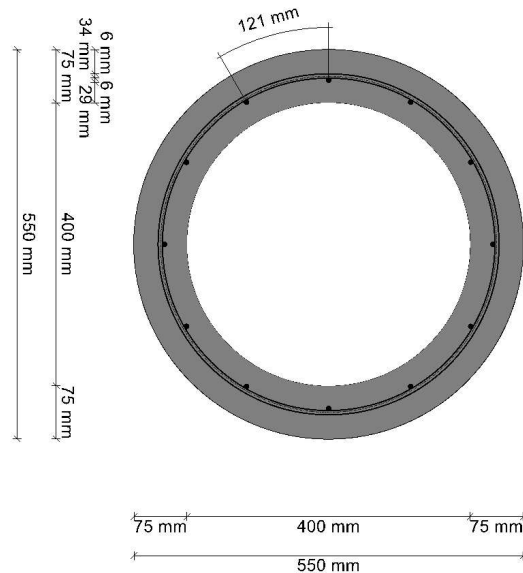
### 2.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

|                                               |                |           |                     |
|-----------------------------------------------|----------------|-----------|---------------------|
| Innendurchmesser:                             | $d_i$          | 400,0     | mm                  |
| Außendurchmesser:                             | $d_a$          | 550,0     | mm                  |
| Mittlerer Radius:                             | $r_m$          | 237,50    | mm                  |
| Wanddicke:                                    | $s$            | 75,00     | mm                  |
| Verhältnis Radius zu Wanddicke:               | $r_m/s$        | 3,167     | [-]                 |
| $\alpha_{ki} = 1 + \frac{0,075}{3 \cdot r_m}$ |                |           |                     |
| Korrekturfaktor Krümmung innen:               | $\alpha_{ki}$  | 1,105     | [-]                 |
| $\alpha_{ka} = 1 - \frac{0,075}{3 \cdot r_m}$ |                |           |                     |
| Korrekturfaktor Krümmung außen:               | $\alpha_{ka}$  | 0,895     | [-]                 |
| Lokale Vorverformung:                         | $\delta_{v,l}$ | 0,00      | %                   |
| Vorverformung (Ovalisierung vor Last):        | $\delta_{v,A}$ | 0,00      | %                   |
| Radiale Profilfläche:                         | $A_{rad}$      | 75,00     | mm <sup>2</sup> /mm |
| Trägheitsabstand:                             | $e$            | 37,50     | mm                  |
| Trägheitsmoment:                              | $I$            | 35.156,25 | mm <sup>4</sup> /mm |
| Äußeres Widerstandsmoment:                    | $W_a$          | 937,50    | mm <sup>3</sup> /mm |
| Inneres Widerstandsmoment:                    | $W_i$          | 937,50    | 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:             |           |          | $\varnothing_{rad}$ | 6,0   | mm  |
| Achsabstand Ringbewehrung:             |           |          | $e$                 | 100   | mm  |
| Exzentrizität Scheitel:                |           |          | $Z_{s,Sch}$         | 0,0   | mm  |
| Exzentrizität Kämpfer:                 |           |          | $Z_{s,K}$           | 0,0   | mm  |
| Exzentrizität Sohle wie Scheitel:      |           |          | Ja                  |       |     |
|                                        |           | Scheitel | Kämpfer             | Sohle |     |
| Profilhöhe                             | $h$       | 75,00    | 75,00               | 75,00 | mm  |
| Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse | $z_{s1}$  | -0,5     | 0,5                 | -0,5  | mm  |
| Statische Höhe innen                   | $d_{s,i}$ | 38,0     | 38,0                | 38,0  | mm  |
| Statische Höhe außen                   | $d_{s,e}$ | 37,0     | 37,0                | 37,0  | mm  |

|                                                                    |             |          |                     |
|--------------------------------------------------------------------|-------------|----------|---------------------|
| Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton nach DIN V 1201:2004-08: | n           | 15,0     | [-]                 |
| $Z_{id}$                                                           | 0,0         | 0,0      | mm                  |
| Ideelle Querschnittsfläche                                         | $A_{id}$    | 792,41   | cm <sup>2</sup> /m  |
| Ideelles Trägheitsmoment                                           | $I_{id}$    | 35.157,2 | mm <sup>4</sup> /mm |
| Ideelles Widerstandsmoment, außen                                  | $W_{id,a}$  | 938,19   | mm <sup>3</sup> /mm |
| Ideelles Widerstandsmoment, innen                                  | $W_{id,i}$  | 938,86   | mm <sup>3</sup> /mm |
| Vorhandene Betondeckung, innen                                     | $C_{nom,i}$ | 29,0     | mm                  |
| Vorhandene Betondeckung, außen                                     | $C_{nom,e}$ | 34,0     | 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 $\kappa$ für Grabenlast (Silotheorie):    | $\kappa$   | 1,000 | [-] |
| Erdlastbeiwert $\kappa_0$ für Flächenlast (Silotheorie): | $\kappa_0$ | 1,000 | [-] |

$\kappa_0$  und  $\kappa$  wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.

### 2.2.3.2 Belastung

|                                                        |                  |       |                   |
|--------------------------------------------------------|------------------|-------|-------------------|
| Grundwasserstand über Scheitel:                        | $h_{W,Scheitel}$ | 0,45  | m                 |
| Wichte Verfüllung unter Wasser:                        | $\gamma'$        | 11,00 | kN/m <sup>3</sup> |
| Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:              | $P_{Erd}$        | 9,95  | kN/m <sup>2</sup> |
| Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast: | $P_E$            | 9,95  | kN/m <sup>2</sup> |
| Spannung aufgrund Verkehrslast:                        | $P_V$            | 80,77 | kN/m <sup>2</sup> |
| Enthaltener Stoßfaktor:                                | $\phi$           | 1,20  | [-]               |
| Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert:                | $p_{Tdyn}$       | 54,03 | kN/m <sup>2</sup> |

### 2.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB

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

|                                        |                 |       |                   |
|----------------------------------------|-----------------|-------|-------------------|
| E-Modul anstehender Boden:             | $E_{3,\sigma}$  | 1,53  | N/mm <sup>2</sup> |
| E-Modul Einbettung (abgemindert):      | $E_{2,\sigma}$  | 3,23  | N/mm <sup>2</sup> |
| E-Modul Einbettung unter Last:         | $E_{20,\sigma}$ | 6,00  | N/mm <sup>2</sup> |
| Reduktionsfaktor für das Kriechen:     | $f_1$           | 1,000 | [-]               |
| Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:        | $D_{pr,E20}$    | 0,90  | [-]               |
| Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):  | $f_2$           | 0,750 | [-]               |
| Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):   | $\alpha_{B0}$   | 0,333 | [-]               |
| Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): | $\alpha_B$      | 0,717 | [-]               |
| E-Modul Einbettung (abgemindert):      | $E_{2,\sigma}$  | 3,23  | N/mm <sup>2</sup> |
| E-Modul Boden unter dem Rohr:          | $E_{4,\sigma}$  | 60,00 | N/mm <sup>2</sup> |

### 2.2.3.4 Bodensteifigkeiten

|                                                          |            |       |                   |
|----------------------------------------------------------|------------|-------|-------------------|
| Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:           | $\Delta_f$ | 1,174 | [-]               |
| Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: | $\zeta$    | 0,752 | [-]               |
| Horizontale Bettungssteifigkeit:                         | $S_{Bh}$   | 1,456 | N/mm <sup>2</sup> |
| Vertikale Bettungssteifigkeit:                           | $S_{Bv}$   | 3,227 | N/mm <sup>2</sup> |

### 2.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

|                 |           |    |   |
|-----------------|-----------|----|---|
| Auflagerwinkel: | $2\alpha$ | 90 | ° |
|-----------------|-----------|----|---|

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

|                                               |       |       |     |
|-----------------------------------------------|-------|-------|-----|
| Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr: | $t_r$ | 0,081 | m   |
| Berechnete Ausladung:                         | $a$   | 1,00  | [-] |

|                         |            |        |     |
|-------------------------|------------|--------|-----|
| Wirksame Ausladung:     | $a'$       | 1,859  | [-] |
| 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:                   | $S_R$       | 92.429   | kN/m <sup>2</sup> |

#### 2.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse

|                                    |            |          |     |
|------------------------------------|------------|----------|-----|
| Systemsteifigkeit, gewichtet:      | $V_{RB,w}$ | 63,4615  | [-] |
| Steifigkeitsverhältnis:            | $V_S$      | 257,2880 | [-] |
| Resultierender Verformungsbeiwert: | $c'_v$     | -0,1113  | [-] |

#### 2.2.3.8 Beiwerte

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

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

|                                 |                |       |     |
|---------------------------------|----------------|-------|-----|
| Maximaler Konzentrationsfaktor: | $\max \lambda$ | 1,495 | [-] |
|---------------------------------|----------------|-------|-----|

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

|                                            |             |       |     |
|--------------------------------------------|-------------|-------|-----|
| Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert: | $\lambda_R$ | 1,495 | [-] |
|--------------------------------------------|-------------|-------|-----|

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

|                                                       |                |       |     |
|-------------------------------------------------------|----------------|-------|-----|
| Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss: | $\lambda_{RG}$ | 1,285 | [-] |
|-------------------------------------------------------|----------------|-------|-----|

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

|                                                    |                |       |     |
|----------------------------------------------------|----------------|-------|-----|
| Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert:  | $\lambda_{fo}$ | 3,895 | [-] |
| Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert: | $\lambda_{fu}$ | 0,800 | [-] |

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

|                                                   |                |       |     |
|---------------------------------------------------|----------------|-------|-----|
| Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert: | $\lambda_{RG}$ | 1,285 | [-] |
|---------------------------------------------------|----------------|-------|-----|

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

|                             |             |       |     |
|-----------------------------|-------------|-------|-----|
| Konzentrationsfaktor Boden: | $\lambda_B$ | 0,835 | [-] |
|-----------------------------|-------------|-------|-----|

#### 2.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang

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

|                       |       |       |                   |
|-----------------------|-------|-------|-------------------|
| Vertikale Gesamtlast: | $q_v$ | 93,55 | kN/m <sup>2</sup> |
|-----------------------|-------|-------|-------------------|

$$q_h = K_2 \cdot (\lambda_B \cdot P_E + 0 \cdot \gamma_B + 0,275 \cdot \gamma')$$

|                                         |            |      |                   |
|-----------------------------------------|------------|------|-------------------|
| Seitendruck:                            | $q_h$      | 5,67 | 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 <sub>sring</sub> | 2,83          | cm <sup>2</sup> /m           |
| Mindest-Ringbewehrung DIN EN 1916:          |                       |                  | min. a <sub>s</sub>      | 1,88          | cm <sup>2</sup> /m           |
| Vorhandene Bewehrung                        | vorh. a <sub>s</sub>  | Scheitel<br>2,83 | Kämpfer<br>2,83          | Sohle<br>2,83 | cm <sup>2</sup> /m           |
| min. a <sub>s</sub> = 0,0025 · h            |                       |                  |                          |               | 0.25% in DIN 1916:2002 5.2.1 |
| Mindestbewehrung                            | min. a <sub>s</sub>   | 1,88             | 1,88                     | 1,88          | cm <sup>2</sup> /m           |
| Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN) | U min. a <sub>s</sub> | 66,3             | 66,3                     | 66,3          | %                            |

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 <sub>L,max</sub> | 450 | mm  |
| Anzahl der Längsstäbe:                 | n <sub>ax</sub>    | 12  | [-] |

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

|                      |   |     |    |
|----------------------|---|-----|----|
| Ange-setzter Radius: | r | 235 | mm |
|----------------------|---|-----|----|

$$U_{L,vor} = \pi \cdot (A + B) \cdot \left( 1 + \frac{3 \cdot \lambda^2}{10 + 4 - 3 \cdot \lambda^{20,50}} \right)$$

|                                    |                    |       |    |
|------------------------------------|--------------------|-------|----|
| Vorhandener Umfang Längsbewehrung: | U <sub>L,vor</sub> | 1.455 | mm |
|------------------------------------|--------------------|-------|----|

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

|                                     |                       |      |                    |
|-------------------------------------|-----------------------|------|--------------------|
| Vorhandener Abstand Längsbewehrung: | e <sub>L,vor</sub>    | 121  | mm                 |
| Vorhandene Längsbewehrung:          | vorh a <sub>s,L</sub> | 2,33 | 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 <sub>nom,e</sub> | Scheitel<br>25,0 | Kämpfer<br>25,0 | Sohle<br>25,0 | mm |
| $c_{nom,e} = \frac{h}{2} + z_{s1} - \frac{\varnothing_{rad}}{2}$ |                         |                  |                 |               |    |
| Vorhandene Betondeckung, außen                                   | c <sub>nom,e</sub>      | 34,0             | 34,0            | 34,0          | mm |

Die Betondeckung (außen) ist ausreichend.

|                         |                         |      |      |      |    |
|-------------------------|-------------------------|------|------|------|----|
| Erf. Betondeckung innen | erf. c <sub>nom,i</sub> | 25,0 | 25,0 | 25,0 | mm |
|-------------------------|-------------------------|------|------|------|----|

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

|                                |                    |      |      |      |    |
|--------------------------------|--------------------|------|------|------|----|
| Vorhandene Betondeckung, innen | $c_{\text{nom},i}$ | 29,0 | 29,0 | 29,0 | mm |
|--------------------------------|--------------------|------|------|------|----|

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

### 2.2.5 Schnittkräfte, Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):

|                                                                            |            | Scheitel<br>237,50 | r<br>Kämpfer<br>237,50 | 1,000<br>Sohle<br>237,50 | [-]   |
|----------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------|------------------------|--------------------------|-------|
| Mittlerer Radius                                                           | $r_m$      |                    |                        |                          | mm    |
| $M_{qv} = m_{qv} \cdot q_v \cdot r_m^2 \cdot r$ (8.01)                     |            |                    |                        |                          |       |
| Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung                                 | $M_{qv}$   | 1,446              | -1,472                 | 1,657                    | kNm/m |
| $M_{qh} = m_{qh} \cdot q_h \cdot r_m^2 \cdot r$ (8.03)                     |            |                    |                        |                          |       |
| Moment aufgrund Seitendruck                                                | $M_{qh}$   | -0,080             | 0,080                  | -0,080                   | kNm/m |
| $M_g = m_g \cdot \gamma_R \cdot A_{\text{rad}} \cdot r_m^2 \cdot r$ (8.07) |            |                    |                        |                          |       |
| Moment aufgrund Eigengewicht                                               | $M_g$      | 0,044              | -0,051                 | 0,068                    | kNm/m |
| $M_w = m_w \cdot \gamma_F \cdot r_m^3 \cdot r$ (8.09)                      |            |                    |                        |                          |       |
| Moment aufgrund Wasserfüllung                                              | $M_w$      | 0,028              | -0,033                 | 0,043                    | kNm/m |
| Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck                                     | $M_{pw}$   | -0,005             | -0,005                 | -0,005                   | kNm/m |
| $\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$    |            |                    |                        |                          |       |
| Summe der Momente                                                          | $\Sigma M$ | 1,434              | -1,481                 | 1,683                    | kNm/m |

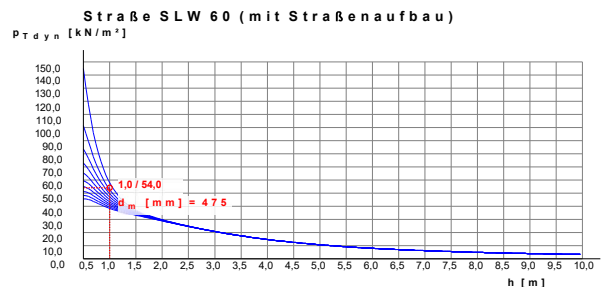
|                                                                         |          | Scheitel<br>237,50 | Kämpfer<br>237,50 | Sohle<br>237,50 | mm   |
|-------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------|-------------------|-----------------|------|
| Mittlerer Radius                                                        | $r_m$    |                    |                   |                 |      |
| $N_{qv} = n_{qv} \cdot q_v \cdot r_m$ (8.02)                            |          |                    |                   |                 |      |
| Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung                         | $N_{qv}$ | 1,178              | -22,219           | -1,178          | kN/m |
| $N_{qh} = n_{qh} \cdot q_h \cdot r_m$ (8.04)                            |          |                    |                   |                 |      |
| Normalkraft aufgrund Seitendruck                                        | $N_{qh}$ | -1,346             | 0,000             | -1,346          | kN/m |
| $N_g = n_g \cdot \gamma_R \cdot A_{\text{rad}} \cdot r_m$ (8.08)        |          |                    |                   |                 |      |
| Normalkraft aufgrund Eigengewicht                                       | $N_g$    | 0,148              | -0,700            | -0,148          | kN/m |
| $N_w = n_w \cdot \gamma_F \cdot r_m^2$ (8.10)                           |          |                    |                   |                 |      |
| Normalkraft aufgrund Wasserfüllung                                      | $N_w$    | 0,376              | 0,121             | 0,752           | kN/m |
| $N_{pw} = P_i \cdot r_i - 10.000 \cdot h_w \cdot r_a$ (8.12)            |          |                    |                   |                 |      |
| Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck                             | $N_{pw}$ | -2,750             | -2,750            | -2,750          | kN/m |
| $\Sigma N = N_{qv} + N_{qh} + N_{qh}^* + N_{qw}^* + N_g + N_w + N_{pw}$ |          |                    |                   |                 |      |

|                        |            |        |         |        |      |
|------------------------|------------|--------|---------|--------|------|
| Summe der Normalkräfte | $\Sigma N$ | -2,394 | -25,548 | -4,670 | kN/m |
|------------------------|------------|--------|---------|--------|------|

Enthaltener Stoßfaktor:

$\phi$  1,20 [-]

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



Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert:

$p_{Tdyn}$  54,03 kN/m<sup>2</sup>

Abminderungsfaktor  $\alpha_V$  nach Tabelle 14 für Verkehrslasten:

$\alpha_V$  0,50 [-]

Abgeminderte vertikale Bodenspannung für Ermüdung:

dyn  $p_V$  27,015 kN/m<sup>2</sup>

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

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

## 2.2.6 Bemessung Ringbewehrung

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton:

YRC 1,50 [-]

Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:

YRS 1,15 [-]

Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit:

$f_{ck,cyl}$  40,0 N/mm<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>

|                   |       | Scheitel | Kämpfer | Sohle |       |
|-------------------|-------|----------|---------|-------|-------|
| Summe der Momente | $M_E$ | 1,434    | -1,481  | 1,683 | kNm/m |

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

|                         |          |       |        |       |       |
|-------------------------|----------|-------|--------|-------|-------|
| Summe der Momente inkl. | $M_{Ed}$ | 1,936 | -1,999 | 2,273 | kNm/m |
|-------------------------|----------|-------|--------|-------|-------|

Teilssicherheitsbeiwert

|                   |       |        |         |        |      |
|-------------------|-------|--------|---------|--------|------|
| Summe Normalkraft | $N_E$ | -2,394 | -25,548 | -4,670 | kN/m |
|-------------------|-------|--------|---------|--------|------|

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

|                              |          |        |         |        |      |
|------------------------------|----------|--------|---------|--------|------|
| Summe der Normalkräfte inkl. | $N_{Ed}$ | -3,231 | -34,489 | -6,304 | kN/m |
|------------------------------|----------|--------|---------|--------|------|

Teilssicherheitsbeiwert

Bemessung:

|                                        |          |      |     |      |    |
|----------------------------------------|----------|------|-----|------|----|
| Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse | $z_{s1}$ | -0,5 | 0,5 | -0,5 | mm |
|----------------------------------------|----------|------|-----|------|----|

$$M_{Eds} = |M_{Ed}| - N_{Ed} \cdot z_{s1}$$

|                                   |                |        |        |        |                   |
|-----------------------------------|----------------|--------|--------|--------|-------------------|
| Auslegungsmoment Plattenbemessung | $M_{Eds}$      | 1,934  | 2,016  | 2,269  | kNm/m             |
| Rechenwert der Stahlgrenzspannung | $\sigma_{s,d}$ | 434,78 | 434,78 | 434,78 | N/mm <sup>2</sup> |
| Statische Höhe                    | d              | 0,037  | 0,038  | 0,037  | m                 |

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{d^2 \cdot f_{cd}}$$

|                                            |             |        |        |        |     |
|--------------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|-----|
| Normiertes Auslegungsmoment                | $\mu_{Eds}$ | 0,0623 | 0,0616 | 0,0731 | [-] |
| Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad | $\omega$    | 0,0646 | 0,0638 | 0,0762 | [-] |

$$a_{s,calc} = \frac{\omega \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{\sigma_{s,d}}$$

|                                     |                |      |      |      |                    |
|-------------------------------------|----------------|------|------|------|--------------------|
| Erforderliche Bewehrung (Bemessung) | $a_{s,calc}$   | 1,17 | 0,47 | 1,32 | cm <sup>2</sup> /m |
| Vorhandene Bewehrung                | vorh. $a_s$    | 2,83 | 2,83 | 2,83 | cm <sup>2</sup> /m |
| Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)    | U $a_{s,calc}$ | 41,4 | 16,7 | 46,8 | %                  |

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

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

|                                                     |                     | Scheitel | Kämpfer | Sohle   |                     |
|-----------------------------------------------------|---------------------|----------|---------|---------|---------------------|
| Ideelles Widerstandsmoment, Zugseite                | $W_{id}$            | 936,86   | 936,86  | 936,86  | mm <sup>3</sup> /mm |
| Biegespannungsanteil aus Biegemomenten              | $\sigma_{M,E}$      | 1,5305   | 1,5806  | 1,7969  | N/mm <sup>2</sup>   |
| Spannungsanteil aus Normalkräften                   | $\sigma_{N,E}$      | -0,0302  | -0,3224 | -0,0589 | N/mm <sup>2</sup>   |
| Maßgebliche Biegezugspannung                        | $f_{t,fl}$          | 1,5003   | 1,2582  | 1,7379  | N/mm <sup>2</sup>   |
| Spannungsverhältnis                                 | $\sigma_N/\sigma_M$ | -0,0197  | -0,2040 | -0,0328 | [-]                 |
| Profilhöhe                                          | h                   | 75,00    | 75,00   | 75,00   | mm                  |
| Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9                     | $f_R$               | 0,94     | 0,90    | 0,93    | [-]                 |
| Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I | $\sigma_{VR}$       | 1,41     | 1,13    | 1,62    | 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 $\sigma_{VR}$ | 23,5 | 18,9 | 27,0 | % |
|-----------------------------------|-----------------|------|------|------|---|

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: | $\gamma_{Ed,fat}$ | 1,00 | [-] |
| Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl:  | $\gamma_{s,fat}$  | 1,15 | [-] |
| Beiwert nach DIN 1055-100, Tabelle A.2:       | $\psi_1$          | 1,00 | [-] |

|                               |       |         |                   |
|-------------------------------|-------|---------|-------------------|
| Elastizitätsmodul Betonstahl: | $E_s$ | 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):            | $E_{cm}$                  | 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: | $\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$ | 74,00  | N/mm <sup>2</sup> |
| Modifizierte Betondruckfestigkeit:            | $f_{cd,fat}$              | 19,04  | N/mm <sup>2</sup> |

|                                  |       | Scheitel | Kämpfer | Sohle |       |
|----------------------------------|-------|----------|---------|-------|-------|
| $M_G = M_E - M_T$                |       |          |         |       |       |
| Moment aufgrund ständiger Lasten | $M_G$ | 0,186    | -0,210  | 0,253 | kNm/m |

$$N_G = N_E - N_T$$

|                                                                   |               |        |        |        |       |
|-------------------------------------------------------------------|---------------|--------|--------|--------|-------|
| Normalkraft aufgrund ständiger Lasten                             | $N_G$         | -3,410 | -6,365 | -3,653 | kN/m  |
| Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment aufgrund ständiger Lasten   | $M_{Gs}$      | 0,184  | 0,213  | 0,251  | kNm/m |
| Bemessungsmoment, ständig                                         | $M'_{Gs,min}$ | 0,184  | 0,213  | 0,251  | kNm/m |
| Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse                            | $z_{s1}$      | -0,5   | 0,5    | -0,5   | mm    |
| Moment für Ermüdungsnachweis                                      | $M_{Q,dyn}$   | 0,418  | -0,425 | 0,478  | kNm/m |
| Normalkraft für Ermüdungsnachweis                                 | $N_{Q,dyn}$   | 0,340  | -6,416 | -0,340 | kN/m  |
| Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment aufgrund dynamischer Lasten | $M_{Qs,dyn}$  | 0,418  | 0,428  | 0,478  | kNm/m |
| Bemessungsmoment, dynamisch                                       | $M'_{Qs,dyn}$ | 0,418  | 0,428  | 0,478  | kNm/m |

### 2.3.1 Nachweis der geschweißten Bewehrungskörbe

|                                                                                                                                  |                                |        |        |        |                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------------------|
| Statische Höhe                                                                                                                   | $d$                            | 0,037  | 0,038  | 0,037  | m                  |
| $x = \frac{n \cdot \text{vorh } a_s}{b} \cdot \left( -1 + 1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{n \cdot \text{vorh } a_s} \right)^{0,50}$ |                                |        |        |        |                    |
| Höhe der Betondruckzone                                                                                                          | $x$                            | 0,009  | 0,010  | 0,009  | m                  |
| $d-x = d - x$                                                                                                                    |                                |        |        |        |                    |
| Höhe der Zugzone                                                                                                                 | $d-x$                          | 0,028  | 0,028  | 0,028  | m                  |
| Innerer Hebelarm                                                                                                                 | $z$                            | 0,034  | 0,035  | 0,034  | m                  |
| Betonspannung                                                                                                                    | $\sigma_{c,dyn}$               | 2,621  | 2,575  | 3,001  | 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                                                                                                     | $\sigma_{s,dyn}$               | 44,829 | 20,824 | 48,754 | N/mm <sup>2</sup>  |
| Kontrolle                                                                                                                        | $\sigma_{s,dyn,kon}$           | 44,829 | 20,824 | 48,754 | N/mm <sup>2</sup>  |
| Ermittelter Wert                                                                                                                 | $\Delta\sigma_{s,eq}$          | 44,829 | 20,824 | 48,754 | N/mm <sup>2</sup>  |
| $\Delta\sigma_{Rsk}/Y_{s,fat} = \frac{74.000.000}{Y_{s,fat}}$                                                                    |                                |        |        |        |                    |
| Maximalwert (abgeminderte Schwingbreite)                                                                                         | $\Delta\sigma_{Rsk}/Y_{s,fat}$ | 64,348 | 64,348 | 64,348 | N/mm <sup>2</sup>  |
| Vorhandene Bewehrung                                                                                                             | vorh. $a_s$                    | 2,83   | 2,83   | 2,83   | cm <sup>2</sup> /m |
| $\text{erf. } a_s = \frac{\Delta\sigma_{s,eq}}{\Delta\sigma_{Rsk}/Y_{s,fat}} \cdot \text{vorh. } a_s$                            |                                |        |        |        |                    |
| Erforderliche Bewehrung aus Ermüden                                                                                              | erf. $a_s$                     | 1,97   | 0,91   | 2,14   | cm <sup>2</sup> /m |
| Ausnutzung Ermüden Stahl                                                                                                         | $U \sigma_{s,dyn}$             | 69,7   | 32,4   | 75,8   | %                  |

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                                      | $M'_{Ed,dyn}$     | 0,602 | 0,641 | 0,729 | kNm/m             |
| $\sigma'_{c,max} = \sigma_{c,dyn} \cdot \frac{M'_{Ed,dyn}}{M'_{Qs,dyn}}$ |                   |       |       |       |                   |
| Maximale Betondruckspannung                                              | $\sigma'_{c,max}$ | 3,775 | 3,855 | 4,577 | N/mm <sup>2</sup> |

$$\sigma'_{c,min} = \sigma_{c,dyn} \cdot \frac{M'_{Gs,min}}{M'_{Qs,dyn}}$$

|                             |                   |       |       |       |                   |
|-----------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------------------|
| Minimale Betondruckspannung | $\sigma'_{c,min}$ | 1,154 | 1,280 | 1,575 | 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 | $U_{\sigma'c,max,eff}$   | 0,198 | 0,202 | 0,240 | [-] |
| Ausnutzung Ermüden maximale Spannung        | $U_{\sigma_{s,max,dyn}}$ | 37,6  | 38,2  | 44,7  | %   |

$$U_{\sigma'c,min,eff} = 0,50 + 0,45 \cdot \frac{\sigma'_{c,min}}{f_{cd,fat}}$$

DIN EN 1992-1-1 Gl. (6.77)

|                                             |                          |       |       |       |     |
|---------------------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-----|
| Ausnutzung bei minimaler Betondruckspannung | $U_{\sigma'c,min,eff}$   | 0,527 | 0,530 | 0,537 | [-] |
| Ausnutzung Ermüden minimale Spannung        | $U_{\sigma_{s,min,dyn}}$ | 58,6  | 58,9  | 59,7  | %   |
| Ausnutzung Ermüden Beton                    | $U_{\sigma_{c,dyn}}$     | 58,6  | 58,9  | 59,7  | %   |

Der Nachweis gegen Ermüden des Betons ist erbracht.

Alle Nachweise für die Bemessung des Stahlbetons wurden erbracht.

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

Titel der Teilstatik: Position 2: DN 400 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. Stufengraben, Spundwand, usw.). Es ist vor Anwendung kundenseits genau zu prüfen, ob die getroffenen Annahmen mit den tatsächlichen Bedingungen vor Ort übereinstimmen. Bei Abweichungen ist eine an die örtlichen Verhältnisse angepasste Berechnung erforderlich.

Berechnungsart: Stahlbeton  
Skizzen (Einbau/Rohr) in Ausdruck: Ja

## 3.1 Eingaben

### 3.1.1 Sicherheiten

|                                                                    |                                       |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Sicherheitsklasse:                                                 | A (Regelfall)                         |
| Sicherheit Stabilität nach Tabelle 13:                             | Ohne Vorverformungen (2,5 / 2,0)      |
| Zulässige Verformung:                                              | 6% (Regelfall)                        |
| Behandlung von Innendruck:                                         | Gemäß Fußnote des ATV-DVWK-A 127      |
| Kleinere Biegedruck-Sicherheiten:                                  | Nein (ATV-DVWK-A 127)                 |
| Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung:                  | Nach Regelwerk                        |
| Berücksichtigung von dyn pvh*:                                     | Nach Norm                             |
| Berücksichtigung der Vorverformungen Typ A in Verformungsnachweis: | Nein                                  |
| Behandlung Systemsteifigkeit VRB nach:                             | ATV-DVWK-A 127:2000 (nach Rechenwert) |
| Rohrsteifigkeit nach Regelwerk:                                    | Ja                                    |

### 3.1.2 Boden

|                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| Bodengruppe Verfüllung:        | G1                      |
| Berechnung E1:                 | Tabelle 8 (A127)        |
| Bodengruppe Einbettung:        | G1                      |
| Berechnung E20:                | Tabelle 8 (A127)        |
| Bodengruppe anstehender Boden: | G4                      |
| Berechnung E3:                 | Verdichtungsgrad        |
| Verdichtungsgrad E3:           | DPr,E3      90,0      % |

E4 = 10 · E1:

Anwendung von Silotheorie:

K2 nach Norm:

Ja

Automatisch

Ja

### 3.1.3 Belastung

Überdeckungshöhe:

Minimaler Grundwasserstand über Sohle:

Maximaler Grundwasserstand über Sohle:

Auftriebsnachweis führen:

Wichte des Bodens:

Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb:

Zusätzliche Flächenlast:

Innendruck, langfristig:

Wasserfüllung (z.B. Staukanal):

Wichte Füllmedium:

Verkehrslast:

Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis:

|                                   |      |                   |
|-----------------------------------|------|-------------------|
| h                                 | 3,30 | m                 |
| h <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>I,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              | 1,50 | 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>                | 550 | mm |
| d <sub>i</sub>                | 400 | mm |
| C40/50                        |     |    |
| Ja                            |     |    |
| Nein                          |     |    |
| Nein                          |     |    |
| Nein                          |     |    |
| 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> | 6,0 | mm  |
| e                | 100 | 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>       | 29,0 mm |
| c <sub>Sch</sub>       | 29,0 mm |
| Ja                     |         |

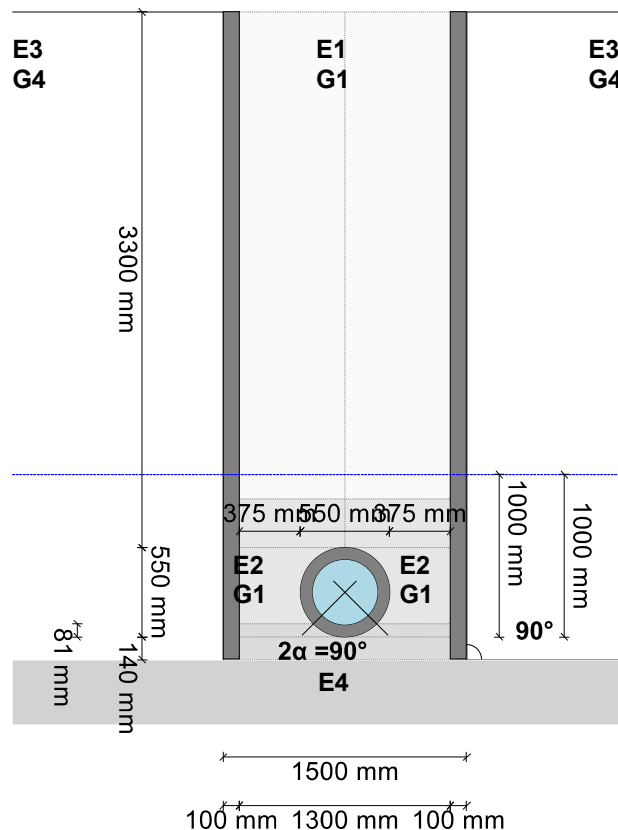
Teilsicherheiten manuell definieren:

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

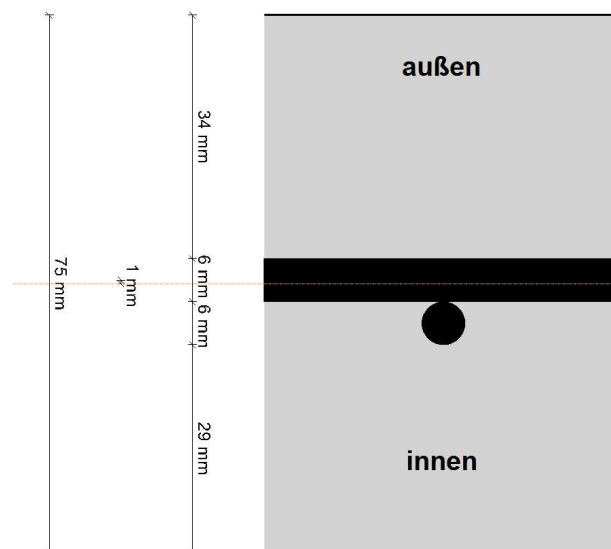
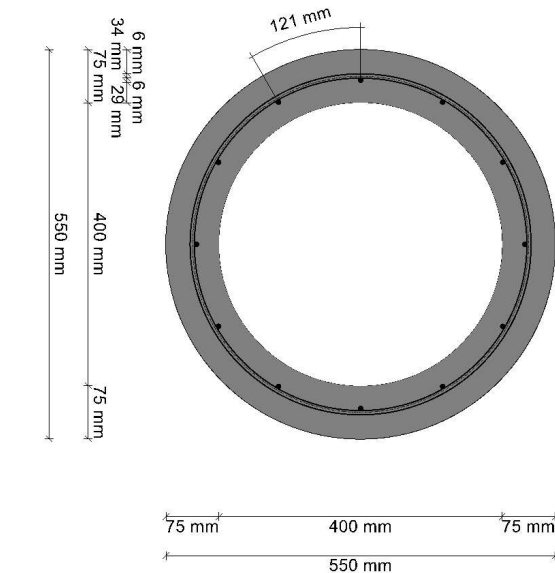
### 3.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

|                                               |                |           |                     |
|-----------------------------------------------|----------------|-----------|---------------------|
| Innendurchmesser:                             | $d_i$          | 400,0     | mm                  |
| Außendurchmesser:                             | $d_a$          | 550,0     | mm                  |
| Mittlerer Radius:                             | $r_m$          | 237,50    | mm                  |
| Wanddicke:                                    | $s$            | 75,00     | mm                  |
| Verhältnis Radius zu Wanddicke:               | $r_m/s$        | 3,167     | [-]                 |
| $\alpha_{ki} = 1 + \frac{0,075}{3 \cdot r_m}$ |                |           |                     |
| Korrekturfaktor Krümmung innen:               | $\alpha_{ki}$  | 1,105     | [-]                 |
| $\alpha_{ka} = 1 - \frac{0,075}{3 \cdot r_m}$ |                |           |                     |
| Korrekturfaktor Krümmung außen:               | $\alpha_{ka}$  | 0,895     | [-]                 |
| Lokale Vorverformung:                         | $\delta_{v,l}$ | 0,00      | %                   |
| Vorverformung (Ovalisierung vor Last):        | $\delta_{v,A}$ | 0,00      | %                   |
| Radiale Profilfläche:                         | $A_{rad}$      | 75,00     | mm <sup>2</sup> /mm |
| Trägheitsabstand:                             | $e$            | 37,50     | mm                  |
| Trägheitsmoment:                              | $I$            | 35.156,25 | mm <sup>4</sup> /mm |
| Äußeres Widerstandsmoment:                    | $W_a$          | 937,50    | mm <sup>3</sup> /mm |
| Inneres Widerstandsmoment:                    | $W_i$          | 937,50    | 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:             |           |          | $\varnothing_{rad}$ | 6,0   | mm  |
| Achsabstand Ringbewehrung:             |           |          | $e$                 | 100   | mm  |
| Exzentrizität Scheitel:                |           |          | $Z_{s,Sch}$         | 0,0   | mm  |
| Exzentrizität Kämpfer:                 |           |          | $Z_{s,K}$           | 0,0   | mm  |
| Exzentrizität Sohle wie Scheitel:      |           |          | Ja                  |       |     |
|                                        |           | Scheitel | Kämpfer             | Sohle |     |
| Profilhöhe                             | $h$       | 75,00    | 75,00               | 75,00 | mm  |
| Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse | $z_{s1}$  | -0,5     | 0,5                 | -0,5  | mm  |
| Statische Höhe innen                   | $d_{s,i}$ | 38,0     | 38,0                | 38,0  | mm  |
| Statische Höhe außen                   | $d_{s,e}$ | 37,0     | 37,0                | 37,0  | mm  |

|                                                                    |             |          |                     |
|--------------------------------------------------------------------|-------------|----------|---------------------|
| Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton nach DIN V 1201:2004-08: | n           | 15,0     | [-]                 |
| $Z_{id}$                                                           | 0,0         | 0,0      | mm                  |
| Ideelle Querschnittsfläche                                         | $A_{id}$    | 792,41   | cm <sup>2</sup> /m  |
| Ideelles Trägheitsmoment                                           | $I_{id}$    | 35.157,2 | mm <sup>4</sup> /mm |
| Ideelles Widerstandsmoment, außen                                  | $W_{id,a}$  | 938,19   | mm <sup>3</sup> /mm |
| Ideelles Widerstandsmoment, innen                                  | $W_{id,i}$  | 938,86   | mm <sup>3</sup> /mm |
| Vorhandene Betondeckung, innen                                     | $C_{nom,i}$ | 29,0     | mm                  |
| Vorhandene Betondeckung, außen                                     | $C_{nom,e}$ | 34,0     | 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 $\kappa$ für Grabenlast (Silotheorie):    | $\kappa$   | 1,000 | [-] |
| Erdlastbeiwert $\kappa_0$ für Flächenlast (Silotheorie): | $\kappa_0$ | 1,000 | [-] |

$\kappa_0$  und  $\kappa$  wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.

#### 3.2.3.2 Belastung

|                                                        |                  |       |                   |
|--------------------------------------------------------|------------------|-------|-------------------|
| Grundwasserstand über Scheitel:                        | $h_{W,Scheitel}$ | 0,45  | m                 |
| Wichte Verfüllung unter Wasser:                        | $\gamma'$        | 11,00 | kN/m <sup>3</sup> |
| Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast:              | $P_{Erd}$        | 61,95 | kN/m <sup>2</sup> |
| Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast: | $P_E$            | 61,95 | kN/m <sup>2</sup> |
| Spannung aufgrund Verkehrslast:                        | $P_V$            | 18,76 | kN/m <sup>2</sup> |
| Enthaltener Stoßfaktor:                                | $\phi$           | 1,20  | [-]               |

#### 3.2.3.3 Boden-Verformungsmoduln EB

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

|                                        |                 |       |                   |
|----------------------------------------|-----------------|-------|-------------------|
| E-Modul anstehender Boden:             | $E_{3,\sigma}$  | 1,53  | N/mm <sup>2</sup> |
| E-Modul Einbettung (abgemindert):      | $E_{2,\sigma}$  | 3,23  | N/mm <sup>2</sup> |
| E-Modul Einbettung unter Last:         | $E_{20,\sigma}$ | 6,00  | N/mm <sup>2</sup> |
| Reduktionsfaktor für das Kriechen:     | $f_1$           | 1,000 | [-]               |
| Verdichtungsgrad aus Tabelle 8:        | $D_{pr,E20}$    | 0,90  | [-]               |
| Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser):  | $f_2$           | 0,750 | [-]               |
| Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5):   | $\alpha_{B0}$   | 0,333 | [-]               |
| Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): | $\alpha_B$      | 0,717 | [-]               |
| E-Modul Einbettung (abgemindert):      | $E_{2,\sigma}$  | 3,23  | N/mm <sup>2</sup> |
| E-Modul Boden unter dem Rohr:          | $E_{4,\sigma}$  | 60,00 | N/mm <sup>2</sup> |

#### 3.2.3.4 Bodensteifigkeiten

|                                                          |            |       |                   |
|----------------------------------------------------------|------------|-------|-------------------|
| Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit:           | $\Delta_f$ | 1,174 | [-]               |
| Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: | $\zeta$    | 0,752 | [-]               |
| Horizontale Bettungssteifigkeit:                         | $S_{Bh}$   | 1,456 | N/mm <sup>2</sup> |
| Vertikale Bettungssteifigkeit:                           | $S_{Bv}$   | 3,227 | N/mm <sup>2</sup> |

#### 3.2.3.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

|                 |           |    |   |
|-----------------|-----------|----|---|
| Auflagerwinkel: | $2\alpha$ | 90 | ° |
|-----------------|-----------|----|---|

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

|                                               |       |       |     |
|-----------------------------------------------|-------|-------|-----|
| Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr: | $t_r$ | 0,081 | m   |
| Berechnete Ausladung:                         | $a$   | 1,00  | [-] |
| Wirksame Ausladung:                           | $a'$  | 1,859 | [-] |

|                         |            |        |   |
|-------------------------|------------|--------|---|
| Innerer Reibungswinkel: | $\varphi'$ | 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:                   | $S_R$       | 92.429   | kN/m <sup>2</sup> |

### 3.2.3.7 Steifigkeitsverhältnisse

|                                    |            |          |     |
|------------------------------------|------------|----------|-----|
| Systemsteifigkeit, gewichtet:      | $V_{RB,w}$ | 63,4615  | [-] |
| Steifigkeitsverhältnis:            | $V_S$      | 257,2880 | [-] |
| Resultierender Verformungsbeiwert: | $c'_v$     | -0,1113  | [-] |

### 3.2.3.8 Beiwerte

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

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

|                                 |                |       |     |
|---------------------------------|----------------|-------|-----|
| Maximaler Konzentrationsfaktor: | $\max \lambda$ | 2,300 | [-] |
|---------------------------------|----------------|-------|-----|

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

|                                            |             |       |     |
|--------------------------------------------|-------------|-------|-----|
| Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert: | $\lambda_R$ | 2,300 | [-] |
|--------------------------------------------|-------------|-------|-----|

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

|                                                       |                |       |     |
|-------------------------------------------------------|----------------|-------|-----|
| Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss: | $\lambda_{RG}$ | 1,748 | [-] |
|-------------------------------------------------------|----------------|-------|-----|

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

|                                                    |                |       |     |
|----------------------------------------------------|----------------|-------|-----|
| Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert:  | $\lambda_{fo}$ | 3,505 | [-] |
| Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert: | $\lambda_{fu}$ | 0,406 | [-] |

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

|                                                   |                |       |     |
|---------------------------------------------------|----------------|-------|-----|
| Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert: | $\lambda_{RG}$ | 1,748 | [-] |
|---------------------------------------------------|----------------|-------|-----|

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

|                             |             |       |     |
|-----------------------------|-------------|-------|-----|
| Konzentrationsfaktor Boden: | $\lambda_B$ | 0,567 | [-] |
|-----------------------------|-------------|-------|-----|

### 3.2.3.10 Druckverteilung am Rohrumfang

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

|                       |       |        |                   |
|-----------------------|-------|--------|-------------------|
| Vertikale Gesamtlast: | $q_v$ | 127,06 | kN/m <sup>2</sup> |
|-----------------------|-------|--------|-------------------|

$$q_h = K_2 \cdot (\lambda_B \cdot P_E + 0 \cdot \gamma_B + 0,275 \cdot \gamma')$$

|                                         |            |       |                   |
|-----------------------------------------|------------|-------|-------------------|
| Seitendruck:                            | $q_h$      | 19,07 | 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. $a_{sring}$ | 2,83          | cm <sup>2</sup> /m |
| Mindest-Ringbewehrung DIN EN 1916:                       |              |                  | min. $a_s$        | 1,88          | cm <sup>2</sup> /m |
| Vorhandene Bewehrung                                     | vorh. $a_s$  | Scheitel<br>2,83 | Kämpfer<br>2,83   | Sohle<br>2,83 | cm <sup>2</sup> /m |
| min. $a_s = 0,0025 \cdot h$ 0.25% in DIN 1916:2002 5.2.1 |              |                  |                   |               |                    |
| Mindestbewehrung                                         | min. $a_s$   | 1,88             | 1,88              | 1,88          | cm <sup>2</sup> /m |
| Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN)              | U min. $a_s$ | 66,3             | 66,3              | 66,3          | %                  |

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

#### 3.2.4.3 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: | $r$ | 235 | 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: | $U_{L,vor}$ | 1.455 | mm |
|------------------------------------|-------------|-------|----|

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

|                                     |                |      |                    |
|-------------------------------------|----------------|------|--------------------|
| Vorhandener Abstand Längsbewehrung: | $e_{L,vor}$    | 121  | mm                 |
| Vorhandene Längsbewehrung:          | vorh $a_{s,L}$ | 2,33 | 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<br>25,0 | Kämpfer<br>25,0 | Sohle<br>25,0 | mm |
| $c_{nom,e} = \frac{h}{2} + Z_{s1} - \frac{\varnothing_{rad}}{2}$ |                  |                  |                 |               |    |
| Vorhandene Betondeckung, außen                                   | $c_{nom,e}$      | 34,0             | 34,0            | 34,0          | mm |

Die Betondeckung (außen) ist ausreichend.

|                         |                  |      |      |      |    |
|-------------------------|------------------|------|------|------|----|
| Erf. Betondeckung innen | erf. $c_{nom,i}$ | 25,0 | 25,0 | 25,0 | mm |
|-------------------------|------------------|------|------|------|----|

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

|                                |             |      |      |      |    |
|--------------------------------|-------------|------|------|------|----|
| Vorhandene Betondeckung, innen | $c_{nom,i}$ | 29,0 | 29,0 | 29,0 | mm |
|--------------------------------|-------------|------|------|------|----|

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

### 3.2.5 Schnittkräfte , Langzeit

Rerounding-Faktor (Abminderung Momente):

|                                                                         |            | Scheitel | r<br>Kämpfer | 1,000<br>Sohle | [-]    |
|-------------------------------------------------------------------------|------------|----------|--------------|----------------|--------|
| Mittlerer Radius                                                        | $r_m$      | 237,50   | 237,50       | 237,50         | mm     |
| $M_{qv} = m_{qv} \cdot q_v \cdot r_m^2 \cdot r$                         |            |          |              |                | (8.01) |
| Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung                              | $M_{qv}$   | 1,964    | -2,000       | 2,250          | kNm/m  |
| $M_{qh} = m_{qh} \cdot q_h \cdot r_m^2 \cdot r$                         |            |          |              |                | (8.03) |
| Moment aufgrund Seitendruck                                             | $M_{qh}$   | -0,269   | 0,269        | -0,269         | kNm/m  |
| $M_g = m_g \cdot \gamma_R \cdot A_{rad} \cdot r_m^2 \cdot r$            |            |          |              |                | (8.07) |
| Moment aufgrund Eigengewicht                                            | $M_g$      | 0,044    | -0,051       | 0,068          | kNm/m  |
| $M_w = m_w \cdot \gamma_F \cdot r_m^3 \cdot r$                          |            |          |              |                | (8.09) |
| Moment aufgrund Wasserfüllung                                           | $M_w$      | 0,028    | -0,033       | 0,043          | kNm/m  |
| Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck                                  | $M_{pw}$   | -0,005   | -0,005       | -0,005         | kNm/m  |
| $\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$ |            |          |              |                |        |
| Summe der Momente                                                       | $\Sigma M$ | 1,763    | -1,819       | 2,088          | kNm/m  |

|                                                       |          | Scheitel | Kämpfer | Sohle  | mm     |
|-------------------------------------------------------|----------|----------|---------|--------|--------|
| Mittlerer Radius                                      | $r_m$    | 237,50   | 237,50  | 237,50 | mm     |
| $N_{qv} = n_{pv} \cdot q_v \cdot r_m$                 |          |          |         |        | (8.02) |
| Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung       | $N_{qv}$ | 1,599    | -30,178 | -1,599 | kN/m   |
| $N_{qh} = n_{qh} \cdot q_h \cdot r_m$                 |          |          |         |        | (8.04) |
| Normalkraft aufgrund Seitendruck                      | $N_{qh}$ | -4,529   | 0,000   | -4,529 | kN/m   |
| $N_g = n_g \cdot \gamma_R \cdot A_{rad} \cdot r_m$    |          |          |         |        | (8.08) |
| Normalkraft aufgrund Eigengewicht                     | $N_g$    | 0,148    | -0,700  | -0,148 | kN/m   |
| $N_w = n_w \cdot \gamma_F \cdot r_m^2$                |          |          |         |        | (8.10) |
| Normalkraft aufgrund Wasserfüllung                    | $N_w$    | 0,376    | 0,121   | 0,752  | kN/m   |
| $N_{pw} = P_i \cdot r_i - 10.000 \cdot h_W \cdot r_a$ |          |          |         |        | (8.12) |
| Normalkraft aufgrund Wasserdruck/Innendruck           | $N_{pw}$ | -2,750   | -2,750  | -2,750 | kN/m   |

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

|                        |            |        |         |        |      |
|------------------------|------------|--------|---------|--------|------|
| Summe der Normalkräfte | $\Sigma N$ | -5,155 | -33,506 | -8,275 | kN/m |
|------------------------|------------|--------|---------|--------|------|

### 3.2.6 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<br>1,763   | Kämpfer<br>-1,819 | Sohle<br>2,088 | kNm/m |
| M <sub>Ed</sub> = M <sub>G</sub> · Y <sub>G</sub> + M <sub>T</sub> · Y <sub>Q</sub>  |                             |                     |                   |                |       |
| Summe der Momente inkl. Teilssicherheitsbeiwert                                      | M <sub>Ed</sub>             | 2,380               | -2,456            | 2,819          | kNm/m |
| Summe Normalkraft                                                                    | N <sub>E</sub>              | -5,155              | -33,506           | -8,275         | kN/m  |
| N <sub>Ed</sub> = N <sub>G</sub> · 1,35 + N <sub>T</sub> · 1,35                      |                             |                     |                   |                |       |
| Summe der Normalkräfte inkl. Teilssicherheitsbeiwert                                 | N <sub>Ed</sub>             | -6,959              | -45,233           | -11,171        | kN/m  |
| Bemessung:                                                                           |                             | Scheitel            | Kämpfer           | Sohle          |       |
| Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse                                               | Z <sub>s1</sub>             | -0,5                | 0,5               | -0,5           | mm    |
| M <sub>E<sub>ds</sub></sub> =  M <sub>Ed</sub>   - N <sub>Ed</sub> · Z <sub>s1</sub> |                             |                     |                   |                |       |
| Auslegungsmoment Plattenbemessung                                                    | M <sub>E<sub>ds</sub></sub> | 2,376               | 2,479             | 2,813          | kNm/m |
| Rechenwert der Stahlgrenzspannung                                                    | σ <sub>s,d</sub>            | 434,78              | 434,78            | 434,78         | N/mm² |
| Statische Höhe                                                                       | d                           | 0,037               | 0,038             | 0,037          | m     |
| $\mu_{E_{ds}} = \frac{M_{E_{ds}}}{d^2 \cdot f_{cd}}$                                 |                             |                     |                   |                |       |
| Normiertes Auslegungsmoment                                                          | μ <sub>E<sub>ds</sub></sub> | 0,0766              | 0,0757            | 0,0907         | [-]   |
| Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad                                           | ω                           | 0,0799              | 0,0790            | 0,0953         | [-]   |
| $a_{s,calc} = \frac{\omega \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed}}{\sigma_{s,d}}$             |                             |                     |                   |                |       |
| Erforderliche Bewehrung (Bemessung)                                                  | a <sub>s,calc</sub>         | 1,38                | 0,52              | 1,58           | cm²/m |
| Vorhandene Bewehrung                                                                 | vorh. a <sub>s</sub>        | 2,83                | 2,83              | 2,83           | cm²/m |
| Ausnutzung Bewehrung (Bemessung)                                                     | U a <sub>s,calc</sub>       | 48,9                | 18,5              | 55,9           | %     |

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

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

|                                                     |                       |          |         |         |                     |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|----------|---------|---------|---------------------|
|                                                     |                       | Scheitel | Kämpfer | Sohle   |                     |
| Ideelles Widerstandsmoment, Zugseite                | $W_{id}$              | 936,86   | 936,86  | 936,86  | mm <sup>3</sup> /mm |
| Biegespannungsanteil aus Biegemomenten              | $\sigma_{M,E}$        | 1,8816   | 1,9418  | 2,2286  | N/mm <sup>2</sup>   |
| Spannungsanteil aus Normalkräften                   | $\sigma_{N,E}$        | -0,0651  | -0,4228 | -0,1044 | N/mm <sup>2</sup>   |
| Maßgebliche Biegezugspannung                        | $f_{t,fl}$            | 1,8165   | 1,5190  | 2,1242  | N/mm <sup>2</sup>   |
| Spannungsverhältnis                                 | $\sigma_{N/\sigma_M}$ | -0,0346  | -0,2178 | -0,0469 | [-]                 |
| Profilhöhe                                          | $h$                   | 75,00    | 75,00   | 75,00   | mm                  |
| Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9                     | $f_R$                 | 0,93     | 0,90    | 0,93    | [-]                 |
| Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I | $\sigma_{VR}$         | 1,69     | 1,37    | 1,97    | 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                | $U \sigma_{VR}$ | 28,2 | 22,8               | 32,8 | %                 |

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

Alle Nachweise für die Bemessung des Stahlbetons wurden erbracht.