Josef Schnurrer GmbH & Co.
Hans-Striegl-Straße 16
92637 Weiden
Deutschland

# Statische Berechnung

| | |
|---|---|
| Bauvorhaben: | Musterstatik für Stahlbetonrohr DN 500, Rohrüberdeckung H = 0,70 - 3,30 m |
| Beschreibung: | Stahlbetonrohre nach DIN EN 1916 mit DIN V 1201.<br>Verlegt nach DIN EN 1610, DWA-A 139 und den FBS-Verlegerichtlinien. |
| Auftraggeber: | Josef Schnurrer GmbH & Co. KG, Weiden |
| Bearbeiter: | Dipl.-Ing. (FH) Bernhard Graf<br>Josef Schnurrer GmbH & Co. KG<br>92637 Weiden |
| Statik-Nr.: | DN 500 |
| Datum: | 01.12.2022 |

Josef Schnurrer GmbH & Co.
Hans-Striegl-Straße 16
92637 Weiden
Deutschland

# Inhaltsangabe

**1 Bemerkungen** **4**

**2 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Position 1: DN 500, H = 0,70 m** **5**

2.1 Eingaben 5

2.1.1 Sicherheiten 5

2.1.2 Boden 5

2.1.3 Belastung 6

2.1.4 Einbau 6

2.1.5 Stahlbeton-Rohr 6

2.2 Ergebnisse 8

2.2.1 Zwischenergebnisse Rohr 8

2.2.1.1 Materialeigenschaften 8
2.2.1.2 Stahlbetonrohr 8
2.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12 9

2.2.2 Zwischenergebnisse 9

2.2.2.1 Silotheorie 9
2.2.2.2 Belastung 9
2.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB 9
2.2.2.4 Bodensteifigkeiten 9
2.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel 10
2.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit 10
2.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse 10
2.2.2.8 Beiwerte 10
2.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λR und λB 10
2.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang 10

2.2.3 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton 10

2.2.3.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse 10
2.2.3.2 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN EN 1916:2002 5.2.1) 10
2.2.3.3 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1) 11
2.2.3.4 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2) 11

2.2.4 Schnittkräfte , Langzeit 11

2.2.5 Bemessung Ringbewehrung 12

2.2.6 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08 5.2.5) 13

2.3 Vereinfachter Nachweis gegen Ermüden nach DIN EN 1992-1-1, 6.8.7 13

2.3.1 Nachweis der geschweißten Bewehrungskörbe 13

2.3.2 Nachweis Beton in der Druckzone 14

**3 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Position 2: DN 500, H = 3,30 m** **15**

3.1 Eingaben 15

3.1.1 Sicherheiten 15

3.1.2 Boden 15

3.1.3 Belastung 16
3.1.4 Einbau 16
3.1.5 Stahlbeton-Rohr 16
3.2 Ergebnisse 18
3.2.1 Zwischenergebnisse Rohr 18
3.2.1.1 Materialeigenschaften 18
3.2.1.2 Stahlbetonrohr 18
3.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12 19
3.2.2 Zwischenergebnisse 19
3.2.2.1 Silotheorie 19
3.2.2.2 Belastung 19
3.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB 19
3.2.2.4 Bodensteifigkeiten 19
3.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel 20
3.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit 20
3.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse 20
3.2.2.8 Beiwerte 20
3.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λR und λB 20
3.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang 20
3.2.3 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton 20
3.2.3.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse 20
3.2.3.2 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN EN 1916:2002 5.2.1) 20
3.2.3.3 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1) 21
3.2.3.4 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2) 21
3.2.4 Schnittkräfte , Langzeit 21
3.2.5 Bemessung Ringbewehrung 22
3.2.6 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (DIN V 1201:2004-08 5.2.5) 23

**4 Anhänge 24**

4.1 Verlegeanweisung 25
4.2 Hinweis mit Unterschrift 26

# 1 Bemerkungen

Vorbemerkungen:

- Verlegung der Rohre gemäß DIN EN 1610, DWA-A 139 und den FBS-Verlegevorschriften.
- Die in der statischen Berechnung getroffenen Annahmen sind bauseits an Ort und Stelle mit den tatsächlichen Verhältnissen zu vergleichen. Bei Abweichung ist eine Rücksprache mit dem Ersteller der Statik zu empfehlen.Änderungen an den Einbau- oder Lastbedingungen können eine neue statische Berechnung erforderlich machen.
- Die Rohrstatik betrifft nur die Beanspruchung quer zur Rohrachse. Eine fachgerechte gleichmäßige Auflagerung in Rohrlängsrichtung muss bauseits sichergestellt werden. (Siehe ATV-DVWK-A 127).
- Die statische Berechnung nach ATV-DVWK-A 127 setzt einen tragfähigen Baugrund voraus.
- Gegebenenfalls ist, besonders in der Leitungszone, das Eindringen des anstehenden Bodens oder die Verlagerung von Material der Leitungszone in den anstehenden Boden zu verhindern (DIN EN 1610 / 11.3).
- Bei Grundwasser im Rohrgraben sind besondere Maßnahmen zu treffen. Dies gilt besonders für das 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 Betonauflager berechnet und nichts anderes angegeben, so ist als Auflagerbeton mindestens ein C 16/20 zu verwenden.
- Bei Ausführung von Betonauflager bzw. –ummantelung darf mit der Seitenverfüllung erst begonnen werden, wenn der Auflagerbeton eine ausreichende Festigkeit erreicht hat.
- Zwischen Verbau und Betonauflager in der Grabensohle darf kein Kraft- oder Formschluss bestehen. D.h. zwischen Betonauflager 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

Josef Schnurrer GmbH & Co.
Hans-Striegl-Straße 16
92637 Weiden
Deutschland

# 2 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Position 1: DN 500, H = 0,70 m

Titel der Teilstatik: Position 1: DN 500, 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 2α´≥ 90°

Die Rohrstatik gilt alternativ auch ohne Verbau mit einem Böschungswinkel 60°.
Bodenarten: Hauptverfüllung G1 bis G4
Leitungszone G1
Anstehender Boden G1 bis G4

Bei Abweichungen in der Bauausführung bzw. den Baubedingungen kann ggf. ein neuer statischer Nachweis erforderlich sein mit dann anderen Auflagerbedingungen.

In der statischen Berechnung ist – gemäß ATV-DVWK A 127 Tabelle 8 – der Verdichtungsgrad in der Leitungszone und Hauptverfüllung mit 90 % angesetzt. Gemäß Vorgabe ist unter Straßen und Verkehrswegen eine Proctordichte von mindestens 97 % auszuführen.

Schlussfolgerungen: Die vorliegende Musterstatik ist eine typisierte Berechnung. Grabenbedingungen mit Verbau können auch ungünstige Einbau- und Überschüttungsbedingungen aufweisen (z.B. Stufengraben, Spundwand, usw.). Es ist vor Anwendung kundenseits genau zu prüfen, ob die getroffenen Annahmen mit den tatsächlichen Bedingungen vor Ort übereinstimmen. Bei Abweichungen ist eine an die örtlichen Verhältnisse angepasste Berechnung erforderlich.

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

## 2.1 Eingaben

### 2.1.1 Sicherheiten

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

### 2.1.2 Boden

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

| | | | |
|---|---|---|---|
| Verdichtungsgrad E3: | $D_{Pr,E3}$ | 90,0 | % |
| E4 = 10 · E1: | Ja | | |
| Anwendung von Silotheorie: | Automatisch | | |
| K2 nach Norm: | Ja | | |

### 2.1.3 Belastung

| | | | |
|---|---|---|---|
| Überdeckungshöhe: | h | 0,70 | m |
| Minimaler Grundwasserstand über Sohle: | $h_{W,min}$ | 1,00 | m |
| Maximaler Grundwasserstand über Sohle: | $h_{W,max}$ | 1,00 | m |
| Auftriebsnachweis führen: | Nein | | |
| Wichte des Bodens: | $\gamma_B$ | 20,0 | kN/m³ |
| Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb: | Nein | | |
| Zusätzliche Flächenlast: | $p_0$ | 0,0 | kN/m² |
| Innendruck, langzeitig: | $P_{I,L}$ | 0,00 | bar |
| Wasserfüllung (z.B. Staukanal): | Ja | | |
| Wichte Füllmedium: | $\gamma_F$ | 10,0 | kN/m³ |
| Verkehrslast: | Straße SLW 60 (mit Straßenaufbau) | | |
| Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis: | $\alpha_{qhT,dyn}$ | 0,00 | % |

### 2.1.4 Einbau

| | | | |
|---|---|---|---|
| Einbauweise: | Graben | | |
| Grabenbreite in Scheitelhöhe: | b | 1,60 | m |
| Mindestgrabenbreite prüfen: | Nein | | |
| Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln: | Ja | | |
| Böschungswinkel: | ß | 90 | ° |
| Überschüttungsbedingung: | A2 | | |
| Einbettungsbedingung: | B2 | | |
| Berücksichtigung der Unterrammung nach Bericht der ATV-AG 1.5.5.: | Nein | | |
| Dicke des Verbaus (einseitig): | $b_S$ | 0,10 | m |
| Auflagerart: | Lose | | |
| Auflagerwinkel: | 90° | | |
| Relative Ausladung automatisch ermitteln: | Ja | | |
| Untere Sockelhöhe vorgeben: | Nein | | |
| Gesamt-Sockelhöhe: | $h_s$ | 0,00 | m |

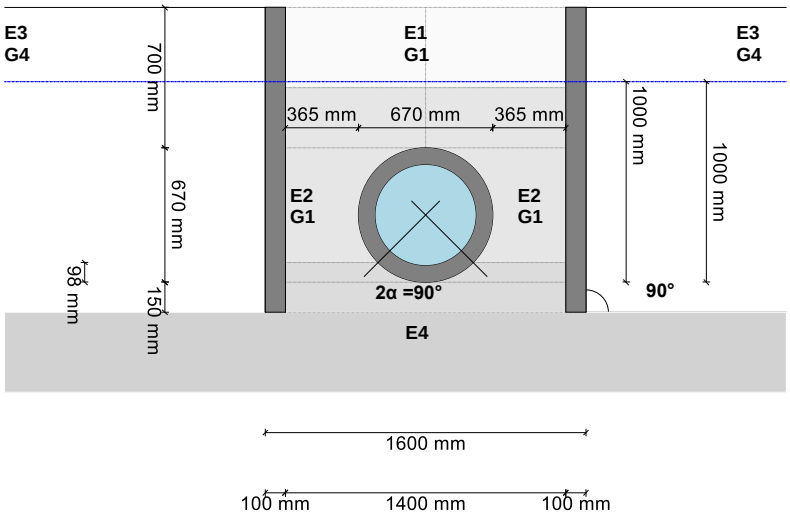
### 2.1.5 Stahlbeton-Rohr

| | | | |
|---|---|---|---|
| Auswahl der Eingaben: | Di und s | | |
| Innendurchmesser: | $d_i$ | 500 | mm |
| Wandstärke: | s | 85 | mm |
| Betongüte: | C35/45 | | |
| Betonstahl nach Norm: | Ja | | |
| Nachweis der Rissbreite: | Nein | | |
| Manuelle Vorgabe max fR: | Nein | | |
| Lastklasse ermitteln: | Nein | | |
| Lastwechsel-Zahl manuell: | Nein | | |
| Dyn. Nachweis für: | 2·10^6 Lastwechsel | | |
| Verhältnis E-Moduli manuell: | Nein | | |
| | | | |
| Bewehrungsführung: | Einlagig | | |
| Expositionsklasse außen: | XA2: Chemisch mäßig angreifend | | |
| Expositionsklasse innen: | XA2: Chemisch mäßig angreifend | | |
| Besondere Maßnahmen: | Ja | | |
| Abstand Längsbewehrung nach Norm: | Ja | | |
| | | | |
| Durchmesser Ringbewehrung: | $Ø_{rad}$ | 6,0 | mm |
| Achsabstand Ringbewehrung: | e | 95 | mm |
| Durchmesser Längsbewehrung: | $Ø_{ax}$ | 6,0 | mm |
| Anzahl der Längsstäbe: | $n_{ax}$ | 6 | [-] |
| | | | |
| Exzentrizität Scheitel: | $Z_{s,Scheitel}$ | 0,0 | mm |
| Exzentrizität Kämpfer: | $Z_{s,Kämpfer}$ | 0,0 | mm |
| Exzentrizität Sohle wie Scheitel: | Ja | | |

Josef Schnurrer GmbH & Co.
Hans-Striegl-Straße 16
92637 Weiden
Deutschland

| | |
|---|---|
| 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 m Sand- oder Kies-Sand-Auflager 2α´≥ 90°
Dicke der oberen Bettungsschicht b ≥ 98 mm
Dicke der unteren Bettungsschicht a ≥ 150 mm

Die Rohrstatik gilt alternativ auch ohne Verbau mit einem Böschungswinkel 60°.
Bodenarten: Hauptverfüllung G1 bis G4
Leitungszone G1
Anstehender Boden G1 bis G4

Die Bettung mit Sand- oder Kies-Sand-Auflager ist besonders sorgfältig auszuführen. Vor allem muss der Zwickelbereich der Bettung (obere Bettungsschicht b) mindestens so gut verdichtet sein wie die untere Bettungsschicht a.

Der Bodenaustausch in der Leitungszone mit Boden der Gruppe G1 ist zwingend einzuhalten.

Bei Abweichungen in der Bauausführung bzw. den Baubedingungen kann ggf. ein neuer statischer Nachweis erforderlich sein mit dann anderen Auflagerbedingungen.

In der statischen Berechnung ist – gemäß ATV-DVWK A 127 Tabelle 8 – der Verdichtungsgrad in der Leitungszone und Hauptverfüllung mit 90 % angesetzt. Gemäß Vorgabe ist unter Straßen und Verkehrswegen eine Proctordichte von mindestens 97 % auszuführen.

## 2.2 Ergebnisse

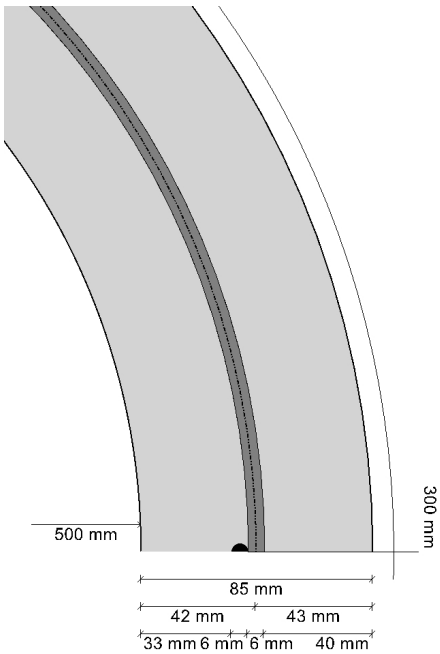
### 2.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

| | | | |
|---|---|---|---|
| Innendurchmesser: | $d_i$ | 500,0 | mm |
| Außendurchmesser: | $d_a$ | 670,0 | mm |
| Mittlerer Radius: | $r_m$ | 292,50 | mm |
| Wanddicke: | s | 85,00 | mm |
| Verhältnis Radius zu Wanddicke: | $r_m/s$ | 3,441 | [-] |
| Korrekturfaktor Krümmung innen: | $\alpha_{ki}$ | 1,097 | [-] |
| Korrekturfaktor Krümmung außen: | $\alpha_{ka}$ | 0,903 | [-] |
| Lokale Vorverformung: | $\delta_{v,l}$ | 0,00 | % |
| Vorverformung (Ovalisierung vor Last): | $\delta_{v,A}$ | 0,00 | % |
| Radiale Profilfläche: | $A_{rad}$ | 85,00 | mm²/mm |
| Trägheitsabstand: | e | 42,50 | mm |
| Trägheitsmoment: | I | 51.177,08 | mm^4/mm |
| Äußeres Widerstandsmoment: | $W_a$ | 1.204,17 | mm³/mm |
| Inneres Widerstandsmoment: | $W_i$ | 1.204,17 | mm³/mm |
| Flächenverhältnis: | $\kappa_Q$ | 1,2 | [-] |

2.2.1.1 Materialeigenschaften

| | | | |
|---|---|---|---|
| Wichte des Rohrwerkstoffs: | $\gamma_R$ | 25,0 | kN/m³ |
| Querkontraktionszahl: | v | 0,15 | [-] |
| Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit: | $f_{ck,cyl}$ | 35,0 | N/mm² |
| Charakteristische Würfeldruckfestigkeit: | $f_{ck,cube}$ | 45,0 | N/mm² |
| Druckfestigkeit: | $f_{cm}$ | 43,0 | N/mm² |
| Mittlere Zugfestigkeit: | $f_{ctm}$ | 3,2 | N/mm² |
| Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul): | $E_{cm}$ | 34.077 | N/mm² |

2.2.1.2 Stahlbetonrohr




| | | | |
|---|---|---|---|
| Durchmesser Längsbewehrung: | $Ø_{ax}$ | 6,0 | mm |
| Anzahl der Längsstäbe: | $n_{ax}$ | 6 | [-] |
| Durchmesser Ringbewehrung: | $Ø_{rad}$ | 6,0 | mm |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Achsabstand Ringbewehrung: | | | e | 95 | mm |
| Exzentrizität Scheitel: | | | $Z_{s,Scheitel}$ | 0,0 | mm |
| Exzentrizität Kämpfer: | | | $Z_{s,Kämpfer}$ | 0,0 | mm |
| Exzentrizität Sohle wie Scheitel: | | | Ja | | |
| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
| Profilhöhe | h | 85,00 | 85,00 | 85,00 | mm |
| Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse | $z_{s1}$ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | mm |
| Statische Höhe innen | $d_{S,i}$ | 42,5 | 42,5 | 42,5 | mm |
| Statische Höhe außen | $d_{S,e}$ | 42,5 | 42,5 | 42,5 | mm |
| Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton nach DIN V 1201:2004-08: | | | n | 15,0 | [-] |
| | $z_{id}$ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | mm |
| Ideelle Querschnittsfläche | $A_{id}$ | 894,64 | 894,64 | 894,64 | cm²/m |
| Ideelles Trägheitsmoment | $I_{id}$ | 51.177,1 | 51.177,1 | 51.177,1 | mm^4/mm |
| Ideelles Widerstandsmoment, außen | $W_{id,a}$ | 1.204,17 | 1.204,17 | 1.204,17 | mm³/mm |
| Ideelles Widerstandsmoment, innen | $W_{id,i}$ | 1.204,17 | 1.204,17 | 1.204,17 | mm³/mm |
| Vorhandene Betondeckung, innen | $c_{nom,i}$ | 33,5 | 33,5 | 33,5 | mm |
| Vorhandene Betondeckung, außen | $c_{nom,e}$ | 39,5 | 39,5 | 39,5 | mm |

2.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

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

### 2.2.2 Zwischenergebnisse

2.2.2.1 Silotheorie

| | | | |
|---|---|---|---|
| Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): | κ | 1,000 | [-] |
| Erdlastbeiwert κ0 für Flächenlast (Silotheorie): | $κ_0$ | 1,000 | [-] |

κ0 und κ wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.

2.2.2.2 Belastung

| | | | |
|---|---|---|---|
| Grundwasserstand über Scheitel: | $h_{W,Scheitel}$ | 0,33 | m |
| Wichte Verfüllung unter Wasser: | γ' | 11,00 | kN/m³ |
| Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast: | $P_{Erd}$ | 11,03 | kN/m² |
| Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast: | $P_E$ | 11,03 | kN/m² |
| Spannung aufgrund Verkehrslast: | $P_V$ | 78,15 | kN/m² |
| Enthaltener Stoßfaktor: | ϕ | 1,20 | [-] |
| Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert: | $p_T$ | 53,18 | kN/m² |

2.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

| | | | |
|---|---|---|---|
| E-Modul Verfüllung unter Last: | $E_{1,σ}$ | 6,00 | N/mm² |

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

| | | | |
|---|---|---|---|
| E-Modul anstehender Boden: | $E_{3,σ}$ | 1,53 | N/mm² |
| E-Modul Einbettung unter Last: | $E_{20,σ}$ | 6,00 | N/mm² |
| Reduktionsfaktor für das Kriechen: | $f_1$ | 1,000 | [-] |
| Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: | $D_{pr,E20}$ | 0,90 | [-] |
| Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): | $f_2$ | 0,750 | [-] |
| Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5): | $α_{B0}$ | 0,333 | [-] |
| Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): | $α_B$ | 0,642 | [-] |
| E-Modul Einbettung (abgemindert): | $E_{2,σ}$ | 2,89 | N/mm² |
| E-Modul Boden unter dem Rohr: | $E_{4,σ}$ | 60,00 | N/mm² |

2.2.2.4 Bodensteifigkeiten

| | | | |
|---|---|---|---|
| Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: | $Δ_f$ | 1,010 | [-] |
| Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: | ζ | 0,740 | [-] |
| Horizontale Bettungssteifigkeit: | $S_{Bh}$ | 1,282 | N/mm² |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Vertikale Bettungssteifigkeit: | $S_{Bv}$ | 2,888 | N/mm² |

2.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

| | | | |
|---|---|---|---|
| Auflagerwinkel: | 2α | 90 | ° |
| Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr: | $t_r$ | 0,098 | m |
| Berechnete Ausladung: | a | 1,00 | [-] |
| Wirksame Ausladung: | a' | 2,078 | [-] |
| Innerer Reibungswinkel: | φ' | 20,000 | ° |
| Wandreibungswinkel: | δ | 6,667 | ° |

2.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

| | | | |
|---|---|---|---|
| Elastizitätsmodul in Ringrichtung: | $E_R$ | 34.077,1 | N/mm² |
| Radiale Biegezugfestigkeit: | $\sigma_{RBZ}$ | 5,5 | N/mm² |
| Radiale Biegedruckfestigkeit: | $\sigma_{RBD}$ | 35,0 | N/mm² |
| Rohrsteifigkeit: | $S_R$ | 69.689 | kN/m² |

2.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

| | | | |
|---|---|---|---|
| Systemsteifigkeit, gewichtet: | $V_{RB,w}$ | 54,3737 | [-] |
| Steifigkeitsverhältnis: | $V_S$ | 221,2522 | [-] |
| Resultierender Verformungsbeiwert: | $c'_v$ | -0,1091 | [-] |

2.2.2.8 Beiwerte

| | | | |
|---|---|---|---|
| Erdruckbeiwert (Einbettung): | $K_2$ | 0,500 | [-] |
| Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck: | K* | 0,002 | [-] |
| Resultierender Verformungsbeiwert: | $c'_h$ | 0,1003 | [-] |
| Resultierender Verformungsbeiwert: | $c'_{h,qh*}$ | -0,0742 | [-] |

2.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λR und λB

| | | | |
|---|---|---|---|
| Maximaler Konzentrationsfaktor: | max λ | 1,473 | [-] |

Für Rohre großer Steifigkeit (VRB > 1) ist die Berechnung mit λR = max λ nach Abschnitt 6.3.1 weiterzuführen.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert: | $\lambda_R$ | 1,473 | [-] |
| Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss: | $\lambda_{RG}$ | 1,219 | [-] |
| Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert: | $\lambda_{fo}$ | 3,895 | [-] |
| Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert: | $\lambda_{fu}$ | 0,832 | [-] |
| Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert: | $\lambda_{RG}$ | 1,219 | [-] |
| Konzentrationsfaktor Boden: | $\lambda_B$ | 0,842 | [-] |

2.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

| | | | |
|---|---|---|---|
| Vertikale Gesamtlast: | $q_v$ | 91,59 | kN/m² |
| Seitendruck: | $q_h$ | 6,49 | kN/m² |
| Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung): | $q^*_{hw}$ | 0,00 | kN/m² |

### 2.2.3 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton

2.2.3.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse

| | |
|---|---|
| Mindestbetongüte, Außen: | C35/45 |
| Mindestbetongüte, Innen: | C35/45 |
| Betongüte: | C35/45 |

Die Mindestbetongüte wird eingehalten.

2.2.3.2 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN EN 1916:2002 5.2.1)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Vorhandene Ringbewehrung: | vorh. $a_{sring}$ | 2,98 | cm²/m |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindest-Ringbewehrung DIN EN 1916: | | | min. $a_s$ | 2,13 | cm²/m |

| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---|---|---|---|---|---|
| Vorhandene Bewehrung | vorh. $a_s$ | 2,98 | 2,98 | 2,98 | cm²/m |
| Mindestbewehrung | min. $a_s$ | 2,13 | 2,13 | 2,13 | cm²/m |
| Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN) | U min. $a_s$ | 71,4 | 71,4 | 71,4 | % |

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

2.2.3.3 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Maximaler Soll-Abstand Längsbewehrung: | $e_{L,max}$ | 450 | mm |
| Anzahl der Längsstäbe: | $n_{ax}$ | 6 | [-] |
| Angesetzter Radius: | r | 290 | mm |
| Vorhandener Umfang Längsbewehrung: | $U_{L,vor}$ | 1.800 | mm |
| Vorhandener Abstand Längsbewehrung: | $e_{L,vor}$ | 300 | mm |
| Vorhandene Längsbewehrung: | vorh $a_{S,L}$ | 0,94 | cm²/m |

Der Abstand der Längsstäbe ist ausreichend klein.

2.2.3.4 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2)

Es wird ein Vorhaltemaß von 10 mm angesetzt (Rohr nach DIN V 1201).
Die erforderliche Betonüberdeckung wurde aufgrund 'besonderer Maßnahmen' um 5 mm reduziert.

| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---|---|---|---|---|---|
| Erf. Betondeckung außen | erf. $c_{nom,e}$ | 30,0 | 30,0 | 30,0 | mm |
| Vorhandene Betondeckung, außen | $c_{nom,e}$ | 39,5 | 39,5 | 39,5 | mm |

Die Betondeckung (außen) ist ausreichend.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Erf. Betondeckung innen | erf. $c_{nom,i}$ | 30,0 | 30,0 | 30,0 | mm |
| Vorhandene Betondeckung, innen | $c_{nom,i}$ | 33,5 | 33,5 | 33,5 | mm |

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

**2.2.4 Schnittkräfte , Langzeit**

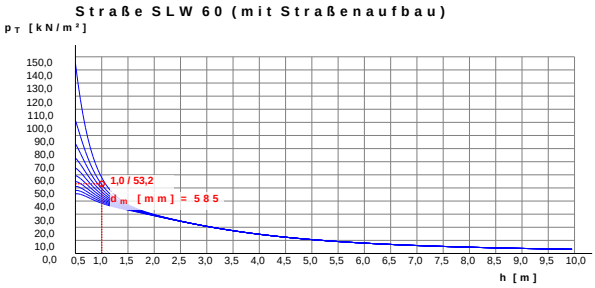
| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---|---|---|---|---|---|
| Mittlerer Radius | $r_m$ | 292,50 | 292,50 | 292,50 | mm |
| Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung | $M_{qv}$ | 2,147 | -2,186 | 2,461 | kNm/m |
| Moment aufgrund Seitendruck | $M_{qh}$ | -0,139 | 0,139 | -0,139 | kNm/m |
| Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck | $M^*_{qh}$ | 0,000 | 0,000 | 0,000 | kNm/m |
| Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung) | $M^*_{qw}$ | 0,000 | 0,000 | 0,000 | kNm/m |
| Moment aufgrund Eigengewicht | $M_g$ | 0,076 | -0,088 | 0,117 | kNm/m |
| Moment aufgrund Wasserfüllung | $M_w$ | 0,053 | -0,061 | 0,080 | kNm/m |
| Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck | $M_{pw}$ | -0,006 | -0,006 | -0,006 | kNm/m |
| Summe der Momente | ΣM | 2,131 | -2,203 | 2,513 | kNm/m |

| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---|---|---|---|---|---|
| Mittlerer Radius | $r_m$ | 292,50 | 292,50 | 292,50 | mm |
| Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung | $N_{qv}$ | 1,420 | -26,791 | -1,420 | kN/m |
| Normalkraft aufgrund Seitendruck | $N_{qh}$ | -1,898 | 0,000 | -1,898 | kN/m |
| Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck | $N^*_{qh}$ | 0,000 | 0,000 | 0,000 | kN/m |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung) | $N^*_{qw}$ | 0,000 | 0,000 | 0,000 | kN/m |
| Normalkraft aufgrund Eigengewicht | $N_g$ | 0,207 | -0,976 | -0,207 | kN/m |
| Normalkraft aufgrund Wasserfüllung | $N_w$ | 0,571 | 0,184 | 1,140 | kN/m |
| Normalkraft aufgrund WasserdruckIInnendruck | $N_{pw}$ | -3,350 | -3,350 | -3,350 | kN/m |
| Summe der Normalkräfte | $\Sigma N$ | -3,050 | -30,934 | -5,734 | 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: | $p_T$ | 53,18 kN/m² |
| Abminderungsfaktor αV nach Tabelle 14 für Verkehrslasten: | $\alpha_V$ | 0,50 [-] |
| Abgeminderte vertikale Bodenspannung für Ermüdung: | dyn $p_V$ | 26,589 kN/m² |

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

| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $m_{qv}$ | 0,274 | -0,279 | 0,314 | [-] |
| Moment aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last | dyn $M_{qv}$ | 0,623 | -0,635 | 0,714 | kNm/m |
| Summe der Momente aufgrund Verkehrslast | $M_{QK,dyn}$ | 0,623 | -0,635 | 0,714 | kNm/m |
| | $n_{pv}$ | 0,053 | -1,000 | -0,053 | [-] |
| Normalkraft aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last | dyn $N_{qv}$ | 0,412 | -7,777 | -0,412 | kN/m |
| Summe der Normalkräfte aufgrund Verkehrslast | $N_{QK,dyn}$ | 0,412 | -7,777 | -0,412 | kN/m |

### 2.2.5 Bemessung Ringbewehrung

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton: | $\gamma_{RC}$ | 1,50 | [-] |
| Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl: | $\gamma_{RS}$ | 1,15 | [-] |
| Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit: | $f_{ck,cyl}$ | 35,0 | N/mm² |
| Bemessungswert Beton: | $f_{cd}$ | 19,83 | N/mm² |
| Nennstreckgrenze: | $f_{yk}$ | 500 | N/mm² |
| Bemessungswert Betonstahl: | $f_{yd}$ | 434,78 | N/mm² |

| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---|---|---|---|---|---|
| Summe der Momente | $M_E$ | 2,131 | -2,203 | 2,513 | kNm/m |
| Summe der Momente inkl. Teilssicherheitsbeiwert | $M_{E,d}$ | 2,877 | -2,973 | 3,393 | kNm/m |
| Summe Normalkraft | $N_E$ | -3,050 | -30,934 | -5,734 | kN/m |
| Summe der Normalkräfte inkl. Teilssicherheitsbeiwert | $N_{E,d}$ | -4,118 | -41,761 | -7,741 | kN/m |
| Bemessung: | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
| Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse | $z_{s1}$ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | mm |
| Auslegungsmoment Plattenbemessung | $M_{Ed,s}$ | 2,877 | 2,973 | 3,393 | kNm/m |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Statische Höhe | d | 0,043 | 0,043 | 0,043 | m |
| Normiertes Auslegungsmoment | $\mu_{Ed,s}$ | 0,0803 | 0,0830 | 0,0947 | [-] |
| Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad | ω | 0,0839 | 0,0869 | 0,0998 | [-] |
| Rechenwert der Stahlgrenzspannung | $\sigma_{s,d}$ | 434,78 | 434,78 | 434,78 | N/mm² |
| Vorhandene Bewehrung | vorh. $a_s$ | 2,98 | 2,98 | 2,98 | cm²/m |
| Erforderliche Bewehrung (Bemessung) | $a_{s,calc}$ | 1,53 | 0,72 | 1,76 | cm²/m |
| Ausnutzung Bewehrung (Bemessung) | U $a_{s,calc}$ | 51,5 | 24,3 | 59,0 | % |

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

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

| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---|---|---|---|---|---|
| Ideelles Widerstandsmoment, Zugseite | $W_{id}$ | 1.204,17 | 1.204,17 | 1.204,17 | mm³/mm |
| Biegespannungsanteil aus Biegemomenten | $\sigma_{M,E}$ | 1,7699 | 1,8291 | 2,0869 | N/mm² |
| Spannungsanteil aus Normalkräften | $\sigma_{N,E}$ | -0,0341 | -0,3458 | -0,0641 | N/mm² |
| Maßgebliche Biegezugspannung | $\sigma_{bz}$ | 1,7358 | 1,4833 | 2,0228 | N/mm² |
| Spannungsverhältnis | $\sigma_N/\sigma_M$ | -0,0193 | -0,1890 | -0,0307 | [-] |
| Profilhöhe | h | 85,00 | 85,00 | 85,00 | mm |
| Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9 | $f_R$ | 0,96 | 0,90 | 0,95 | [-] |
| Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I | $\sigma_{VR}$ | 1,66 | 1,33 | 1,92 | N/mm² |
| Mittlere Zugfestigkeit: | | | $f_{ctm}$ | 3,2 | N/mm² |
| Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201: | | | max $\sigma_{VR}$ | 5,50 | N/mm² |
| Ausnutzung Rohrvergleichsspannung | U $\sigma_{VR}$ | 30,2 | 24,3 | 34,9 | % |

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

## 2.3 Vereinfachter Nachweis gegen Ermüden nach DIN EN 1992-1-1, 6.8.7

| | | | |
|---|---|---|---|
| Teilsicherheitsbeiwert dynamische Einwirkung: | $\gamma_{Ed,fat}$ | 1,00 | [-] |
| Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl: | $\gamma_{s,fat}$ | 1,15 | [-] |
| Beiwert nach DIN 1055-100, Tabelle A.2: | $\psi_1$ | 1,00 | [-] |
| Elastizitätsmodul Betonstahl: | $E_s$ | 200.000 | N/mm² |
| Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul): | $E_{cm}$ | 34.077 | N/mm² |
| Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton: | n | 5,87 | [-] |
| Querschnittsbreite: | b | 1,00 | m |
| Schwingbreite für 2·10^6 Zyklen: | $\Delta\sigma_{Rsk}(N^*)$ | 74,00 | N/mm² |
| Modifizierte Betondruckfestigkeit: | $f_{cd,fat}$ | 17,06 | N/mm² |

| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---|---|---|---|---|---|
| Moment aufgrund ständiger Lasten | $M_G$ | 0,299 | -0,337 | 0,414 | kNm/m |
| Normalkraft aufgrund ständiger Lasten | $N_G$ | -4,262 | -8,075 | -4,523 | kN/m |
| Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment aufgrund ständiger Lasten | $M_{Gs}$ | 0,299 | 0,337 | 0,414 | kNm/m |
| Bemessungsmoment, ständig | $M'_{Gs,min}$ | 0,299 | 0,337 | 0,414 | kNm/m |
| Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse | $z_{s1}$ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | mm |
| Moment für Ermüdungsnachweis | $M_{Q,dyn}$ | 0,623 | -0,635 | 0,714 | kNm/m |
| Normalkraft für Ermüdungsnachweis | $N_{Q,dyn}$ | 0,412 | -7,777 | -0,412 | kN/m |
| Auf die Zugbewehrung bezogenes Moment aufgrund dynamischer Lasten | $M_{Qs,dyn}$ | 0,623 | 0,635 | 0,714 | kNm/m |
| Bemessungsmoment, dynamisch | $M'_{Qs,dyn}$ | 0,623 | 0,635 | 0,714 | kNm/m |

### 2.3.1 Nachweis der geschweißten Bewehrungskörbe

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Statische Höhe | d | 0,043 | 0,043 | 0,043 | m |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Höhe der Betondruckzone | x | 0,011 | 0,011 | 0,011 | m |
| Höhe der Zugzone | d-x | 0,032 | 0,032 | 0,032 | m |
| Innerer Hebelarm | z | 0,039 | 0,039 | 0,039 | m |
| Betonspannung | $\sigma_{c,dyn}$ | 3,028 | 3,083 | 3,470 | N/mm² |
| Spannung in der Zugbewehrung | $\sigma_{s,dyn}$ | 55,113 | 28,578 | 60,187 | N/mm² |
| Kontrolle | $\sigma_{s,dyn,kon}$ | 55,113 | 28,578 | 60,187 | N/mm² |
| Ermittelter Wert | $\Delta\sigma_{s,equ}$ | 55,113 | 28,578 | 60,187 | N/mm² |
| Maximalwert (abgeminderte Schwingbreite) | $\Delta\sigma_{Rsk}/\gamma_{s,fat}$ | 64,348 | 64,348 | 64,348 | N/mm² |
| Vorhandene Bewehrung | vorh. $a_s$ | 2,98 | 2,98 | 2,98 | cm²/m |
| Erforderliche Bewehrung aus Ermüden | erf. $a_s$ | 2,55 | 1,32 | 2,78 | cm²/m |
| Ausnutzung Ermüden Stahl | U $\sigma_{s,dyn}$ | 85,6 | 44,4 | 93,5 | % |

Der Nachweis gegen Ermüden der Bewehrung ist erbracht.

### 2.3.2 Nachweis Beton in der Druckzone

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Bemessungsmoment, ständig+dynamisch | $M'_{Ed,dyn}$ | 0,923 | 0,972 | 1,128 | kNm/m |
| Maximale Betondruckspannung | $\sigma'_{c,max}$ | 4,481 | 4,720 | 5,479 | N/mm² |
| Minimale Betondruckspannung | $\sigma'_{c,min}$ | 1,453 | 1,637 | 2,009 | N/mm² |
| Ausnutzung bei maximaler Betondruckspannung | $U_{\sigma'c,max,eff}$ | 0,263 | 0,277 | 0,321 | [-] |
| Ausnutzung Ermüden maximale Spannung | U $\sigma_{s,max,dyn}$ | 48,8 | 50,9 | 58,1 | % |
| Ausnutzung bei minimaler Betondruckspannung | $U_{\sigma'c,min,eff}$ | 0,538 | 0,543 | 0,553 | [-] |
| Ausnutzung Ermüden minimale Spannung | U $\sigma_{s,min,dyn}$ | 59,8 | 60,4 | 61,4 | % |
| Ausnutzung Ermüden Beton | U $\sigma_{c,dyn}$ | 59,8 | 60,4 | 61,4 | % |

Der Nachweis gegen Ermüden des Betons ist erbracht.

Alle Nachweise für die Bemessung des Stahlbetons wurden erbracht.

Josef Schnurrer GmbH & Co.
Hans-Striegl-Straße 16
92637 Weiden
Deutschland

# 3 Statik nach ATV-DVWK-A 127, 3.Auflage: Position 2: DN 500, H = 3,30 m

Titel der Teilstatik: Position 2: DN 500, 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 2α´≥ 90°

Die Rohrstatik gilt alternativ auch ohne Verbau mit einem Böschungswinkel 60°.
Bodenarten: Hauptverfüllung G1 bis G4
Leitungszone G1
Anstehender Boden G1 bis G4

Bei Abweichungen in der Bauausführung bzw. den Baubedingungen kann ggf. ein neuer statischer Nachweis erforderlich sein mit dann anderen Auflagerbedingungen.

In der statischen Berechnung ist – gemäß ATV-DVWK A 127 Tabelle 8 – der Verdichtungsgrad in der Leitungszone und Hauptverfüllung mit 90 % angesetzt. Gemäß Vorgabe ist unter Straßen und Verkehrswegen eine Proctordichte von mindestens 97 % auszuführen.

Schlussfolgerungen: Die vorliegende Musterstatik ist eine typisierte Berechnung. Grabenbedingungen mit Verbau können auch ungünstige Einbau- und Überschüttungsbedingungen aufweisen (z.B. Stufengraben, Spundwand, usw.). Es ist vor Anwendung kundenseits genau zu prüfen, ob die getroffenen Annahmen mit den tatsächlichen Bedingungen vor Ort übereinstimmen. Bei Abweichungen ist eine an die örtlichen Verhältnisse angepasste Berechnung erforderlich.

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

## 3.1 Eingaben

### 3.1.1 Sicherheiten

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

### 3.1.2 Boden

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

| | | | |
|---|---|---|---|
| Verdichtungsgrad E3: | $D_{Pr,E3}$ | 90,0 | % |
| E4 = 10 · E1: | Ja | | |
| Anwendung von Silotheorie: | Automatisch | | |
| K2 nach Norm: | Ja | | |

### 3.1.3 Belastung

| | | | |
|---|---|---|---|
| Überdeckungshöhe: | h | 3,30 | m |
| Minimaler Grundwasserstand über Sohle: | $h_{W,min}$ | 1,00 | m |
| Maximaler Grundwasserstand über Sohle: | $h_{W,max}$ | 1,00 | m |
| Auftriebsnachweis führen: | Nein | | |
| Wichte des Bodens: | $\gamma_B$ | 20,0 | kN/m³ |
| Manuelle Angabe der Wichte des Bodens unter Auftrieb: | Nein | | |
| Zusätzliche Flächenlast: | $p_0$ | 0,0 | kN/m² |
| Innendruck, langzeitig: | $P_{I,L}$ | 0,00 | bar |
| Wasserfüllung (z.B. Staukanal): | Ja | | |
| Wichte Füllmedium: | $\gamma_F$ | 10,0 | kN/m³ |
| Verkehrslast: | Straße SLW 60 (mit Straßenaufbau) | | |
| Ansatz horizontaler Belastungen aus Verkehr im Ermüdungsnachweis: | $\alpha_{qhT,dyn}$ | 0,00 | % |

### 3.1.4 Einbau

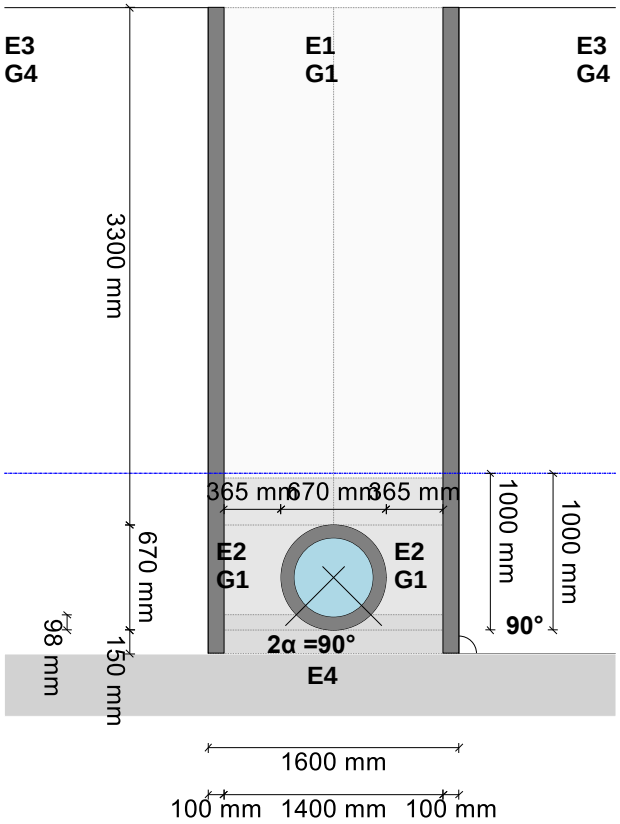
| | | | |
|---|---|---|---|
| Einbauweise: | Graben | | |
| Grabenbreite in Scheitelhöhe: | b | 1,60 | m |
| Mindestgrabenbreite prüfen: | Nein | | |
| Stärke der Bettungsschicht automatisch ermitteln: | Ja | | |
| Böschungswinkel: | ß | 90 | ° |
| Überschüttungsbedingung: | A2 | | |
| Einbettungsbedingung: | B2 | | |
| Berücksichtigung der Unterrammung nach Bericht der ATV-AG 1.5.5.: | Nein | | |
| Dicke des Verbaus (einseitig): | $b_S$ | 0,10 | m |
| Auflagerart: | Lose | | |
| Auflagerwinkel: | 90° | | |
| Relative Ausladung automatisch ermitteln: | Ja | | |
| Untere Sockelhöhe vorgeben: | Nein | | |
| Gesamt-Sockelhöhe: | $h_s$ | 0,00 | m |

### 3.1.5 Stahlbeton-Rohr

| | | | |
|---|---|---|---|
| Auswahl der Eingaben: | Di und s | | |
| Innendurchmesser: | $d_i$ | 500 | mm |
| Wandstärke: | s | 85 | mm |
| Betongüte: | C35/45 | | |
| Betonstahl nach Norm: | Ja | | |
| Nachweis der Rissbreite: | Nein | | |
| Manuelle Vorgabe max fR: | Nein | | |
| Lastklasse ermitteln: | Nein | | |
| Lastwechsel-Zahl manuell: | Nein | | |
| Dyn. Nachweis für: | 2·10^6 Lastwechsel | | |
| Verhältnis E-Moduli manuell: | Nein | | |
| | | | |
| Bewehrungsführung: | Einlagig | | |
| Expositionsklasse außen: | XA2: Chemisch mäßig angreifend | | |
| Expositionsklasse innen: | XA2: Chemisch mäßig angreifend | | |
| Besondere Maßnahmen: | Ja | | |
| Abstand Längsbewehrung nach Norm: | Ja | | |
| | | | |
| Durchmesser Ringbewehrung: | $Ø_{rad}$ | 6,0 | mm |
| Achsabstand Ringbewehrung: | e | 95 | mm |
| Durchmesser Längsbewehrung: | $Ø_{ax}$ | 6,0 | mm |
| Anzahl der Längsstäbe: | $n_{ax}$ | 6 | [-] |
| | | | |
| Exzentrizität Scheitel: | $Z_{s,Scheitel}$ | 0,0 | mm |
| Exzentrizität Kämpfer: | $Z_{s,Kämpfer}$ | 0,0 | mm |
| Exzentrizität Sohle wie Scheitel: | Ja | | |

| | |
|---|---|
| Teilsicherheiten manuell definieren: | Nein |
| Bewehrungsmenge ermitteln: | Nicht ermitteln |

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




Hinweise Skizze: Einzelgraben mit Verbau. Rückbau des Verbau schrittweise beim Verfüllen und Verdichtung nach dem Ziehen sicherstellen!
H = 0,70 - 3,30 m Sand- oder Kies-Sand-Auflager 2α´≥ 90°
Dicke der oberen Bettungsschicht b ≥ 98 mm
Dicke der unteren Bettungsschicht a ≥ 150 mm

Die Rohrstatik gilt alternativ auch ohne Verbau mit einem Böschungswinkel 60°.
Bodenarten: Hauptverfüllung G1 bis G4
Leitungszone G1
Anstehender Boden G1 bis G4

Die Bettung mit Sand- oder Kies-Sand-Auflager ist besonders sorgfältig auszuführen. Vor allem muss der Zwickelbereich der Bettung (obere Bettungsschicht b) mindestens so gut verdichtet sein wie die untere Bettungsschicht a.

Der Bodenaustausch in der Leitungszone mit Boden der Gruppe G1 ist zwingend einzuhalten.

Bei Abweichungen in der Bauausführung bzw. den Baubedingungen kann ggf. ein neuer statischer Nachweis erforderlich sein mit dann anderen Auflagerbedingungen.

In der statischen Berechnung ist – gemäß ATV-DVWK A 127 Tabelle 8 – der Verdichtungsgrad in der Leitungszone und Hauptverfüllung mit 90 % angesetzt. Gemäß Vorgabe ist unter Straßen und Verkehrswegen eine Proctordichte von mindestens 97 % auszuführen.

## 3.2 Ergebnisse

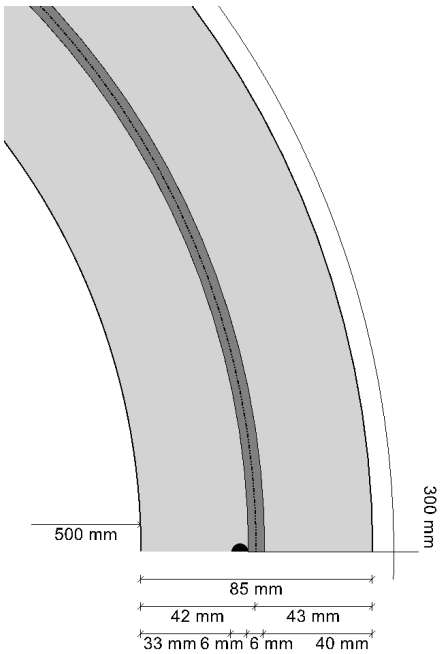
### 3.2.1 Zwischenergebnisse Rohr

| | | | |
|---|---|---|---|
| Innendurchmesser: | $d_i$ | 500,0 | mm |
| Außendurchmesser: | $d_a$ | 670,0 | mm |
| Mittlerer Radius: | $r_m$ | 292,50 | mm |
| Wanddicke: | s | 85,00 | mm |
| Verhältnis Radius zu Wanddicke: | $r_m/s$ | 3,441 | [-] |
| Korrekturfaktor Krümmung innen: | $\alpha_{ki}$ | 1,097 | [-] |
| Korrekturfaktor Krümmung außen: | $\alpha_{ka}$ | 0,903 | [-] |
| Lokale Vorverformung: | $\delta_{v,l}$ | 0,00 | % |
| Vorverformung (Ovalisierung vor Last): | $\delta_{v,A}$ | 0,00 | % |
| Radiale Profilfläche: | $A_{rad}$ | 85,00 | mm²/mm |
| Trägheitsabstand: | e | 42,50 | mm |
| Trägheitsmoment: | I | 51.177,08 | mm^4/mm |
| Äußeres Widerstandsmoment: | $W_a$ | 1.204,17 | mm³/mm |
| Inneres Widerstandsmoment: | $W_i$ | 1.204,17 | mm³/mm |
| Flächenverhältnis: | $\kappa_Q$ | 1,2 | [-] |

3.2.1.1 Materialeigenschaften

| | | | |
|---|---|---|---|
| Wichte des Rohrwerkstoffs: | $\gamma_R$ | 25,0 | kN/m³ |
| Querkontraktionszahl: | v | 0,15 | [-] |
| Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit: | $f_{ck,cyl}$ | 35,0 | N/mm² |
| Charakteristische Würfeldruckfestigkeit: | $f_{ck,cube}$ | 45,0 | N/mm² |
| Druckfestigkeit: | $f_{cm}$ | 43,0 | N/mm² |
| Mittlere Zugfestigkeit: | $f_{ctm}$ | 3,2 | N/mm² |
| Mittlerer E-Modul (Sekantenmodul): | $E_{cm}$ | 34.077 | N/mm² |

3.2.1.2 Stahlbetonrohr




| | | | |
|---|---|---|---|
| Durchmesser Längsbewehrung: | $Ø_{ax}$ | 6,0 | mm |
| Anzahl der Längsstäbe: | $n_{ax}$ | 6 | [-] |
| Durchmesser Ringbewehrung: | $Ø_{rad}$ | 6,0 | mm |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Achsabstand Ringbewehrung: | | | e | 95 | mm |
| Exzentrizität Scheitel: | | | $Z_{s,Scheitel}$ | 0,0 | mm |
| Exzentrizität Kämpfer: | | | $Z_{s,Kämpfer}$ | 0,0 | mm |
| Exzentrizität Sohle wie Scheitel: | | | Ja | | |
| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
| Profilhöhe | h | 85,00 | 85,00 | 85,00 | mm |
| Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse | $z_{s1}$ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | mm |
| Statische Höhe innen | $d_{S,i}$ | 42,5 | 42,5 | 42,5 | mm |
| Statische Höhe außen | $d_{S,e}$ | 42,5 | 42,5 | 42,5 | mm |
| Verhältnis E-Modul Stahl zu E-Modul Beton nach DIN V 1201:2004-08: | | | n | 15,0 | [-] |
| | $z_{id}$ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | mm |
| Ideelle Querschnittsfläche | $A_{id}$ | 894,64 | 894,64 | 894,64 | cm²/m |
| Ideelles Trägheitsmoment | $I_{id}$ | 51.177,1 | 51.177,1 | 51.177,1 | mm^4/mm |
| Ideelles Widerstandsmoment, außen | $W_{id,a}$ | 1.204,17 | 1.204,17 | 1.204,17 | mm³/mm |
| Ideelles Widerstandsmoment, innen | $W_{id,i}$ | 1.204,17 | 1.204,17 | 1.204,17 | mm³/mm |
| Vorhandene Betondeckung, innen | $c_{nom,i}$ | 33,5 | 33,5 | 33,5 | mm |
| Vorhandene Betondeckung, außen | $c_{nom,e}$ | 39,5 | 39,5 | 39,5 | mm |

3.2.1.3 Mindestgrabenbreite nach DIN EN 1610:2015-12

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

### 3.2.2 Zwischenergebnisse

3.2.2.1 Silotheorie

| | | | |
|---|---|---|---|
| Erdlastbeiwert κ für Grabenlast (Silotheorie): | κ | 1,000 | [-] |
| Erdlastbeiwert κ0 für Flächenlast (Silotheorie): | $κ_0$ | 1,000 | [-] |

κ0 und κ wurden zu 1 gesetzt, da E1 größer E3 ist.

3.2.2.2 Belastung

| | | | |
|---|---|---|---|
| Grundwasserstand über Scheitel: | $h_{W,Scheitel}$ | 0,33 | m |
| Wichte Verfüllung unter Wasser: | γ' | 11,00 | kN/m³ |
| Vertikale Bodenspannung aufgrund Erdlast: | $P_{Erd}$ | 63,03 | kN/m² |
| Vertikale Bodenspannung aufgrund Erd- und Flächenlast: | $P_E$ | 63,03 | kN/m² |
| Spannung aufgrund Verkehrslast: | $P_V$ | 18,76 | kN/m² |
| Enthaltener Stoßfaktor: | ϕ | 1,20 | [-] |
| Spannung für Ermüden inkl. Stoßbeiwert: | $p_T$ | 16,90 | kN/m² |

3.2.2.3 Boden-Verformungsmoduln EB

| | | | |
|---|---|---|---|
| E-Modul Verfüllung unter Last: | $E_{1,σ}$ | 6,00 | N/mm² |

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

| | | | |
|---|---|---|---|
| E-Modul anstehender Boden: | $E_{3,σ}$ | 1,53 | N/mm² |
| E-Modul Einbettung unter Last: | $E_{20,σ}$ | 6,00 | N/mm² |
| Reduktionsfaktor für das Kriechen: | $f_1$ | 1,000 | [-] |
| Verdichtungsgrad aus Tabelle 8: | $D_{pr,E20}$ | 0,90 | [-] |
| Abminderungsfaktor E20 (Grundwasser): | $f_2$ | 0,750 | [-] |
| Abminderungsfaktor E20 (Diagramm 5): | $α_{B0}$ | 0,333 | [-] |
| Abminderungsfaktor E20 (enger Graben): | $α_B$ | 0,642 | [-] |
| E-Modul Einbettung (abgemindert): | $E_{2,σ}$ | 2,89 | N/mm² |
| E-Modul Boden unter dem Rohr: | $E_{4,σ}$ | 60,00 | N/mm² |

3.2.2.4 Bodensteifigkeiten

| | | | |
|---|---|---|---|
| Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: | $Δ_f$ | 1,010 | [-] |
| Korrekturfaktor für die horizontale Bettungssteifigkeit: | ζ | 0,740 | [-] |
| Horizontale Bettungssteifigkeit: | $S_{Bh}$ | 1,282 | N/mm² |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Vertikale Bettungssteifigkeit: | $S_{Bv}$ | 2,888 | N/mm² |

3.2.2.5 Auflagerwinkel, wirksame Ausladung und Reibungswinkel

| | | | |
|---|---|---|---|
| Auflagerwinkel: | 2α | 90 | ° |
| Höhe Auflager von Auflagerwinkel bis UK Rohr: | $t_r$ | 0,098 | m |
| Berechnete Ausladung: | a | 1,00 | [-] |
| Wirksame Ausladung: | a' | 2,078 | [-] |
| Innerer Reibungswinkel: | φ' | 20,000 | ° |
| Wandreibungswinkel: | δ | 6,667 | ° |

3.2.2.6 Rohrwerkstoffkennwerte und Ringsteifigkeit

| | | | |
|---|---|---|---|
| Elastizitätsmodul in Ringrichtung: | $E_R$ | 34.077,1 | N/mm² |
| Radiale Biegezugfestigkeit: | $\sigma_{RBZ}$ | 5,5 | N/mm² |
| Radiale Biegedruckfestigkeit: | $\sigma_{RBD}$ | 35,0 | N/mm² |
| Rohrsteifigkeit: | $S_R$ | 69.689 | kN/m² |

3.2.2.7 Steifigkeitsverhältnisse

| | | | |
|---|---|---|---|
| Systemsteifigkeit, gewichtet: | $V_{RB,w}$ | 54,3737 | [-] |
| Steifigkeitsverhältnis: | $V_S$ | 221,2522 | [-] |
| Resultierender Verformungsbeiwert: | $c'_v$ | -0,1091 | [-] |

3.2.2.8 Beiwerte

| | | | |
|---|---|---|---|
| Erdruckbeiwert (Einbettung): | $K_2$ | 0,500 | [-] |
| Beiwert für den Bettungsreaktionsdruck: | K* | 0,002 | [-] |
| Resultierender Verformungsbeiwert: | $c'_h$ | 0,1003 | [-] |
| Resultierender Verformungsbeiwert: | $c'_{h,qh*}$ | -0,0742 | [-] |

3.2.2.9 Konzentrationsfaktoren λR und λB

| | | | |
|---|---|---|---|
| Maximaler Konzentrationsfaktor: | max λ | 2,329 | [-] |

Für Rohre großer Steifigkeit (VRB > 1) ist die Berechnung mit λR = max λ nach Abschnitt 6.3.1 weiterzuführen.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Konzentrationsfaktor über Rohr, Startwert: | $\lambda_R$ | 2,329 | [-] |
| Konzentrationsfaktor über Rohr, unter Grabeneinfluss: | $\lambda_{RG}$ | 1,615 | [-] |
| Konzentrationsfaktor über Rohr, oberer Grenzwert: | $\lambda_{fo}$ | 3,505 | [-] |
| Konzentrationsfaktor über Rohr, unterer Grenzwert: | $\lambda_{fu}$ | 0,465 | [-] |
| Konzentrationsfaktor über Rohr, endgültiger Wert: | $\lambda_{RG}$ | 1,615 | [-] |
| Konzentrationsfaktor Boden: | $\lambda_B$ | 0,557 | [-] |

3.2.2.10 Druckverteilung am Rohrumfang

| | | | |
|---|---|---|---|
| Vertikale Gesamtlast: | $q_v$ | 120,54 | kN/m² |
| Seitendruck: | $q_h$ | 19,40 | kN/m² |
| Bettungsreaktionsdruck (Wasserfüllung): | $q^*_{hw}$ | 0,00 | kN/m² |

### 3.2.3 Nicht lastabhängige Nachweise, Stahlbeton

3.2.3.1 Mindestbetongüte infolge der gewählten Expositionsklasse

| | |
|---|---|
| Mindestbetongüte, Außen: | C35/45 |
| Mindestbetongüte, Innen: | C35/45 |
| Betongüte: | C35/45 |

Die Mindestbetongüte wird eingehalten.

3.2.3.2 Überprüfung der Mindestbewehrung (DIN EN 1916:2002 5.2.1)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Vorhandene Ringbewehrung: | vorh. $a_{sring}$ | 2,98 | cm²/m |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindest-Ringbewehrung DIN EN 1916: | | | min. $a_s$ | 2,13 | cm²/m |

| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---|---|---|---|---|---|
| Vorhandene Bewehrung | vorh. $a_s$ | 2,98 | 2,98 | 2,98 | cm²/m |
| Mindestbewehrung | min. $a_s$ | 2,13 | 2,13 | 2,13 | cm²/m |
| Ausnutzung Bewehrung (Mindestbewehrung DIN) | U min. $a_s$ | 71,4 | 71,4 | 71,4 | % |

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

3.2.3.3 Abstand und Anzahl der Längsstäbe (DIN V 1201:2004-08 5.2.1)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Maximaler Soll-Abstand Längsbewehrung: | $e_{L,max}$ | 450 | mm |
| Anzahl der Längsstäbe: | $n_{ax}$ | 6 | [-] |
| Angesetzter Radius: | r | 290 | mm |
| Vorhandener Umfang Längsbewehrung: | $U_{L,vor}$ | 1.800 | mm |
| Vorhandener Abstand Längsbewehrung: | $e_{L,vor}$ | 300 | mm |
| Vorhandene Längsbewehrung: | vorh $a_{S,L}$ | 0,94 | cm²/m |

Der Abstand der Längsstäbe ist ausreichend klein.

3.2.3.4 Betondeckung (DIN V 1201:2004-08 5.2.2)

Es wird ein Vorhaltemaß von 10 mm angesetzt (Rohr nach DIN V 1201).
Die erforderliche Betonüberdeckung wurde aufgrund 'besonderer Maßnahmen' um 5 mm reduziert.

| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---|---|---|---|---|---|
| Erf. Betondeckung außen | erf. $c_{nom,e}$ | 30,0 | 30,0 | 30,0 | mm |
| Vorhandene Betondeckung, außen | $c_{nom,e}$ | 39,5 | 39,5 | 39,5 | mm |

Die Betondeckung (außen) ist ausreichend.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Erf. Betondeckung innen | erf. $c_{nom,i}$ | 30,0 | 30,0 | 30,0 | mm |
| Vorhandene Betondeckung, innen | $c_{nom,i}$ | 33,5 | 33,5 | 33,5 | mm |

Die Betondeckung (innen) ist ausreichend.

**3.2.4 Schnittkräfte , Langzeit**

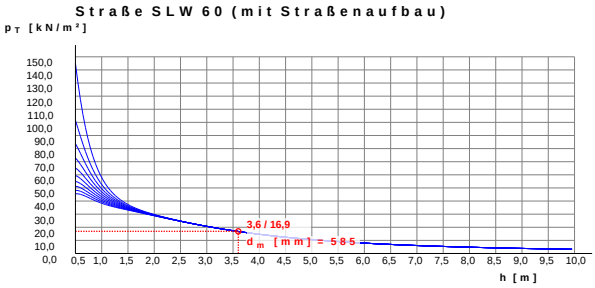
| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---|---|---|---|---|---|
| Mittlerer Radius | $r_m$ | 292,50 | 292,50 | 292,50 | mm |
| Moment aufgrund vertikaler Gesamtbelastung | $M_{qv}$ | 2,826 | -2,877 | 3,238 | kNm/m |
| Moment aufgrund Seitendruck | $M_{qh}$ | -0,415 | 0,415 | -0,415 | kNm/m |
| Moment aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck | $M^*_{qh}$ | 0,000 | 0,000 | 0,000 | kNm/m |
| Moment aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung) | $M^*_{qw}$ | 0,000 | 0,000 | 0,000 | kNm/m |
| Moment aufgrund Eigengewicht | $M_g$ | 0,076 | -0,088 | 0,117 | kNm/m |
| Moment aufgrund Wasserfüllung | $M_w$ | 0,053 | -0,061 | 0,080 | kNm/m |
| Moment aufgrund Wasserdruck/Innendruck | $M_{pw}$ | -0,006 | -0,006 | -0,006 | kNm/m |
| Summe der Momente | ΣM | 2,534 | -2,617 | 3,015 | kNm/m |

| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---|---|---|---|---|---|
| Mittlerer Radius | $r_m$ | 292,50 | 292,50 | 292,50 | mm |
| Normalkraft aufgrund vertikaler Gesamtbelastung | $N_{qv}$ | 1,869 | -35,259 | -1,869 | kN/m |
| Normalkraft aufgrund Seitendruck | $N_{qh}$ | -5,674 | 0,000 | -5,674 | kN/m |
| Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreaktionsdruck | $N^*_{qh}$ | 0,000 | 0,000 | 0,000 | kN/m |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Normalkraft aufgrund horiz. Bettungsreakt. (Wasserfüllung) | $N^*_{qw}$ | 0,000 | 0,000 | 0,000 | kN/m |
| Normalkraft aufgrund Eigengewicht | $N_g$ | 0,207 | -0,976 | -0,207 | kN/m |
| Normalkraft aufgrund Wasserfüllung | $N_w$ | 0,571 | 0,184 | 1,140 | kN/m |
| Normalkraft aufgrund WasserdruckIInnendruck | $N_{pw}$ | -3,350 | -3,350 | -3,350 | kN/m |
| Summe der Normalkräfte | $\Sigma N$ | -6,377 | -39,402 | -9,959 | 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: | $p_T$ | 16,90 | kN/m² |
| Abminderungsfaktor αV nach Tabelle 14 für Verkehrslasten: | $\alpha_V$ | 0,50 | [-] |
| Abgeminderte vertikale Bodenspannung für Ermüdung: | dyn $p_V$ | 8,451 | kN/m² |

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

| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $m_{qv}$ | 0,274 | -0,279 | 0,314 | [-] |
| Moment aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last | dyn $M_{qv}$ | 0,198 | -0,202 | 0,227 | kNm/m |
| Summe der Momente aufgrund Verkehrslast | $M_{QK,dyn}$ | 0,198 | -0,202 | 0,227 | kNm/m |
| | $n_{pv}$ | 0,053 | -1,000 | -0,053 | [-] |
| Normalkraft aufgrund vertikaler Bodenspannung aufgrund dynamischer Last | dyn $N_{qv}$ | 0,131 | -2,472 | -0,131 | kN/m |
| Summe der Normalkräfte aufgrund Verkehrslast | $N_{QK,dyn}$ | 0,131 | -2,472 | -0,131 | kN/m |

### 3.2.5 Bemessung Ringbewehrung

| | | | |
|---|---|---|---|
| Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Beton: | $\gamma_{RC}$ | 1,50 | [-] |
| Teilsicherheitsbeiwert Tragwiderstand Stahl: | $\gamma_{RS}$ | 1,15 | [-] |
| Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit: | $f_{ck,cyl}$ | 35,0 | N/mm² |
| Bemessungswert Beton: | $f_{cd}$ | 19,83 | N/mm² |
| Nennstreckgrenze: | $f_{yk}$ | 500 | N/mm² |
| Bemessungswert Betonstahl: | $f_{yd}$ | 434,78 | N/mm² |

| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---|---|---|---|---|---|
| Summe der Momente | $M_E$ | 2,534 | -2,617 | 3,015 | kNm/m |
| Summe der Momente inkl. Teilssicherheitsbeiwert | $M_{E,d}$ | 3,421 | -3,534 | 4,070 | kNm/m |
| Summe Normalkraft | $N_E$ | -6,377 | -39,402 | -9,959 | kN/m |
| Summe der Normalkräfte inkl. Teilssicherheitsbeiwert | $N_{E,d}$ | -8,609 | -53,192 | -13,444 | kN/m |
| Bemessung: | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
| Exzentrizität (Ausmitte) von der Achse | $z_{s1}$ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | mm |
| Auslegungsmoment Plattenbemessung | $M_{Ed,s}$ | 3,421 | 3,534 | 4,070 | kNm/m |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Statische Höhe | d | 0,043 | 0,043 | 0,043 | m |
| Normiertes Auslegungsmoment | $\mu_{Ed,s}$ | 0,0955 | 0,0986 | 0,1136 | [-] |
| Erforderlicher mechanischer Bewehrungsgrad | $\omega$ | 0,1007 | 0,1042 | 0,1211 | [-] |
| Rechenwert der Stahlgrenzspannung | $\sigma_{s,d}$ | 434,78 | 434,78 | 434,78 | N/mm² |
| Vorhandene Bewehrung | vorh. $a_s$ | 2,98 | 2,98 | 2,98 | cm²/m |
| Erforderliche Bewehrung (Bemessung) | $a_{s,calc}$ | 1,75 | 0,80 | 2,04 | cm²/m |
| Ausnutzung Bewehrung (Bemessung) | U $a_{s,calc}$ | 58,9 | 26,8 | 68,5 | % |

Die gewählte Bewehrung ist ausreichend.

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

| | | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---|---|---|---|---|---|
| Ideelles Widerstandsmoment, Zugseite | $W_{id}$ | 1.204,17 | 1.204,17 | 1.204,17 | mm³/mm |
| Biegespannungsanteil aus Biegemomenten | $\sigma_{M,E}$ | 2,1042 | 2,1737 | 2,5035 | N/mm² |
| Spannungsanteil aus Normalkräften | $\sigma_{N,E}$ | -0,0713 | -0,4404 | -0,1113 | N/mm² |
| Maßgebliche Biegezugspannung | $\sigma_{bz}$ | 2,0329 | 1,7332 | 2,3922 | N/mm² |
| Spannungsverhältnis | $\sigma_N/\sigma_M$ | -0,0339 | -0,2026 | -0,0445 | [-] |
| Profilhöhe | h | 85,00 | 85,00 | 85,00 | mm |
| Beiwert nach DIN V 1201, Bild 9 | $f_R$ | 0,95 | 0,90 | 0,94 | [-] |
| Rohrvergleichsspannung unter Risskraft im Zustand I | $\sigma_{VR}$ | 1,92 | 1,56 | 2,25 | N/mm² |
| Mittlere Zugfestigkeit: | | | $f_{ctm}$ | 3,2 | N/mm² |
| Maximale Rohrvergleichsspannung nach DIN V 1201: | | | max $\sigma_{VR}$ | 5,50 | N/mm² |
| Ausnutzung Rohrvergleichsspannung | U $\sigma_{VR}$ | 35,0 | 28,3 | 40,8 | % |

Der Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist erbracht.

Alle Nachweise für die Bemessung des Stahlbetons wurden erbracht.

# 4 Anhänge

# Verlegeanweisung

Die von uns hergestellten Produkte, hier insbesondere

- Beton- und Stahlbetonrohre nach DIN EN 1916 und DIN V 1201
- Schachtfertigteile nach DIN EN 1917 und DIN 4034-1
- Schachtfertigteile nach DIN 4034-2
- Stahlbetonfertigteile und Stahlbetonschachtbauwerke

sind

- nach den Technischen Vorschriften, insbesondere nach DIN 19695, zu befördern und lagern.
- neben der FBS-Richtlinie für den Einbau von Rohren und Schachtfertigteilen aus Beton und Stahlbeton, sowie der FBS-Richtlinie für den Einbau von FBS-Schachtfertigteilen aus Beton und Stahlbeton, sind beim Entladen/Abladen, Lagern und Transport auf der Baustelle, Ablassen in den Graben und Einbau/Montage der Rohre und Schachtfertigteile die jeweils zum Zeitpunkt gültigen Unfallverhütungsvorschriften, wie BG-Regeln, u. a. DGUV Regel 100-500 „Betreiben von Arbeitsmitteln“, sowie DGUV Regel 101-001 Sicherheitsregeln „Transportanker und –systeme von Betonfertigteilen“ , zu beachten.
- nach DIN EN 1610 (DIN EN 476) und DWA-A 139, sowie den FBS-Einbaurichtlinien zu verlegen.
- bei Rohren mit seitlichen Verlegeankern (ab DN 1300), sowie bei Rohren mit Sonderquerschnitten (z.B. Drachenquerschnitt) für die Rohrmontage Rohrzuggeräte zu verwenden, die im Rohrschaft fixiert werden und das Rohr zusammenziehen.
  Dabei ist es hilfreich, dass die Rohrmontage durch Einsatz zusätzlich angebrachter Hubzüge – links und rechts an den Ankern des zu verlegenden zum verlegten Rohr – unterstützt wird.

Um Beschädigungen an den Beton- und Stahlbetonrohren beim Zusammenziehen zu vermeiden, sollen Rohrstoßfugenbegrenzer (Abstandhalter) im Muffengrund fixiert werden.

Die max. zulässige Abwinkelung von Rohrverbindungen dürfen die Werte nach DIN EN 476 nicht überschreiten. Dabei dürfen diese Werte nicht gezielt eingesetzt werden um die Rohre in einem Bogen zu verlegen.

Gemäß DWA-A 139 und FBS-Richtlinie für den Einbau von Rohren und Schachtfertigteilen sind die Ankermulden vor dem Verfüllen dauerhaft, dicht und korrosionssicher zu verschließen.

09/2019

**Hinweis:** Die vorliegenden rechnerischen Nachweise sind von den Eingangsparametern abhängig. Bereits geringe Abweichung dazu können zu erheblichen und nicht zulässigen Spannungsüberschreitungen führen. Daher ist vor Baubeginn und während der Bauausführung die Übereinstimmung aller Annahmen mit den örtlich vorliegenden Verhältnissen zu prüfen. Ggf. kann ein neuer statischer Nachweis erforderlich sein.

>Die Berechnung erfolgt für Rohre der Fa. SCHNURRER, Weiden<

Statische Berechnung aufgestellt, Weiden

Dipl.Ing. (FH) Bernhard Graf

JOSEF SCHNURRER GMBH & CO. KG
Betonwerk - Baustoffe
92637 WEIDEN, OPF.