



Einleitung

1. Rohr, Rohreinbau, Boden
2. Belastungen
3. Lastaufteilung auf das Rohr
4. Druckverteilung am Rohrumfang,
Beispiel Tragfähigkeitsnachweis
5. Schnittgrößen, Spannungen, Verformungen, Beullasten
6. Nachweise
7. Sonderfälle
8. Objektfragebogen
9. Ausblick

Anhang

A: Nachweise mit Hand

B: Nachweise mit EDV

C: Rohrmaße und Festigkeiten



Beispiel: Betonrohr DN 500

Eingaben (vgl. Objektfragebogen: A 127, Anhang 2)

Rohr: s. Skizze

- Betonrohr KW, DIN V 1202 (wandverstärkt)
- Nennweite DN 500 (= d_i)
- $d_a = \dots$ mm (= OD)
- $F_N = \dots$ kN/m (Scheiteldrucklast)

anstehender Boden (Zone 3)

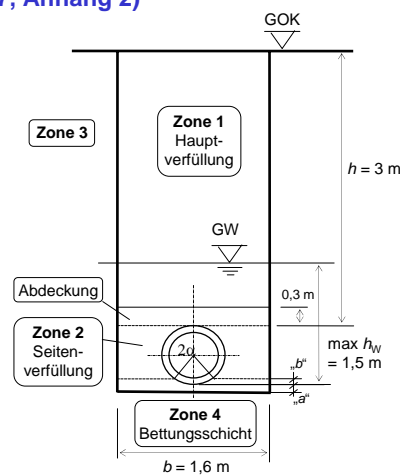
- Bodengruppe G3, $D_{Pr} = 90\%$
- GW: max $h_W = 1,5$ m über Rohrsohle
 - min $h_W = -0,5$ m

Seitenverfüllung (Zone 2)

- Bodenaustausch G1
- Einbettungsbedingung: Verbaugeräte

Hauptverfüllung (Zone 1)

- Einbau des Aushubs G3
- Überschüttungsbedingung: Verbaugeräte, schrittweise entfernt



**Bettungsschicht (Zone 4)**

- Sand-/Kiesauflager
- Auflagerwinkel $2\alpha = 90^\circ$

Lasten

- Erdlasten
- Straßenverkehrslast SLW 60
- Grundwasser
- Rohreigenlast
- Wasserfüllung

Die Grabenwände bleiben **nicht** auf Dauer erhalten.

Die Nachweise sind für die **Sicherheitsklasse A** zu erbringen!

Geometrie**DIN EN 1610, ATV-A 139**

untere Bettungsschicht: „a“ = $100 + DN/10 = 150 \text{ mm} \geq 100 \text{ mm}$ ATV-A 139, 7.2.1

obere Bettungsschicht: Auflagerwinkel $2\alpha = 90^\circ$

$$\rightarrow \text{„b“} = d_a/2 \cdot (1 - \cos \alpha) = 0,67 / 2 \cdot (1 - \cos 45^\circ) = 0,1 \text{ m}$$

Dicke der Abdeckung: gewählt 0,3 m

ATV-A 139, 5.4

Grabenbreite, Verbaudicke 10 cm:

a) OD: $b \geq OD + 0,70 + 2 \cdot 0,10 = 0,67 + 0,90 = 1,57 \text{ m}$

EN 1610, Tab. 1

b) Grabentiefe: $t = 3,0 + 0,67 + 0,15 = 3,82 \text{ m} \rightarrow b \geq 0,90 \text{ m}$

EN 1610, Tab. 2

$$\rightarrow \text{gewählt: } b = 1,6 \text{ m}$$

**Konzept Tragfähigkeitsnachweis****1. Lasten****ATV-A 127**

Abminderung für Silowirkung: $\kappa = \dots$

Bodenwichte: $\gamma_B = \dots$

S. 11, Tab. 1

Erdlast: $p_E = \kappa \cdot \gamma_B \cdot h + \kappa_0 \cdot p_0 = \dots$

S. 17, Gl. (5.01, 5.02)

Verkehrslast: $p = \dots$

S. 20, Diagr. D2d

$$p_V = \varphi \cdot p = \dots$$

S. 21, Gl. (5.11)

2. Bodeneigenschaften (Verformungsmoduln E_B)

anstehender Boden: $E_3 = \dots$

S. 11, Tab. 1

Hauptverfüllung (G?, A?): $E_1 = \dots$

Text zu **A** S. 18; S. 24, Tab. 8

Seitenverfüllung (G?, B?): $E_{2,0} = \dots$

Text zu **B** S. 23; S. 24, Tab. 8

Abminderung von $E_{2,0}$ für

a) Kriechen des Bodens: $f_1 = \dots$

S. 11, Tab. 1

b) Grundwassereinfluss: $f_2 = \dots$

S. 24, Gl. (6.01)

c) schmaler Graben: $\alpha_B = \dots$

S. 25, Diagr. D5

abgeminderter Verformungsmodul: $E_2 = \dots$

S. 25, Gl. (6.02)

Verformungsmodul der Bettungsschicht: $E_4 = \dots$

S. 24, 6.2.2

3. Lastaufteilung

ATV-A 127

relative Ausladung $a = \dots$ S. 25, Bild 9
 wirksame relative Ausladung $a' = a \cdot E_1 / E_2 = \dots$ S. 26, Gl. (6.05)
 maximaler Konzentrationsfaktor $\max \lambda = \lambda_R = \dots$ S. 26, Diagr. D6
 oder Gl. (6.04)
 Einfluss der relativen Grabenbreite $\lambda_{RG} = \dots$ S. 30, Gl. (6.21a)
 oder Diagr. D9

4. Druckverteilung am Rohrumfang

Vertikaler Erddruck, auf den Rohrscheitel bezogen $q_v = \dots$ S. 31, Gl. (6.24)

5. Tragfähigkeitsnachweis

Scheiteldruckkraft für Betonrohr DN 500 KW: $F_N = \dots$ [Bautabellen]
Einbauziffer für Auflagerwinkel $2\alpha = 90^\circ$: $EZ = \dots$ S. 36, Tab. 11

Nachweis:

$$\gamma = \frac{F_N \cdot EZ}{q_v \cdot d_a} = \dots > \dots = \text{erf } \gamma$$
 S. 35, Gl. (9.02)
 + S. 41, Tab. 12

**Berechnung**1. Lasten

ATV-A 127

keine Abminderung für Silowirkung: $\kappa = 1,0$ (Grabenwände bleiben **nicht** erhalten)

Bodenwichte: $\gamma_B = 20 \text{ kN/m}^3$ ATV-A 127, S. 11, Tab. 1
 ($\gamma_B' = 10 \text{ kN/m}^3$ **nicht** berücksichtigt, da $\min h_W < 0$)

Erdlast:

$p_E = \kappa \cdot \gamma_B \cdot h + \kappa_0 \cdot p_0 = 1,0 \cdot 20 \cdot 3,0 + 0 = 60,0 \text{ kN/m}^2$ S. 17, Gl. (5.01, 5.02)

Verkehrslast:

SLW 60, $h = 3,0 \text{ m} \rightarrow p = 17,5 \text{ kN/m}^2$ S. 20, Diagr. D2d
 $\phi = 1,2$ (Stoßbeiwert) S. 21, Tab. T6
 $\rightarrow p_V = \phi \cdot p = 1,2 \cdot 17,5 = 21,0 \text{ kN/m}^2$ S. 21, Gl. (5.11)



2. Bodeneigenschaften (Verformungsmodul E_B)

anstehender Boden: $E_3 = 2 \text{ N/mm}^2$ S. 11, Tab. 1
 Hauptverfüllung (G3, Überschüttungsbedingung A2): $E_1 = 2 \text{ N/mm}^2$ S. 24, Tab. 8
 Seitenverfüllung (G1, Einbettungsbedingung B2): $E_{2,0} = 6 \text{ N/mm}^2$ S. 24, Tab. 8
 (mit der Anfangsverdichtung $D_{Pr} \geq 95\%$, aus G1 + B2 folgt nach dem Ziehen des Verbaus die Verdichtung $D_{Pr} = 90\%$!)

Abminderung von $E_{2,0}$ für

a) Kriechen des Bodens: $f_1 = 1,0$ (Bodengruppe G1 in Zone 2) S. 11, Tab. 1

b) Grundwassereinfluss:
 $f_2 = \frac{D_{Pr} - 75}{20} = \frac{90 - 75}{20} = 0,75$ S. 24, Gl. (6.01)

c) schmaler Graben: $b/d_a = 1,60 / 0,67 = 2,39$
 $\rightarrow \alpha_B = 0,64$ S. 25, Diagr. D5

abgeminderter Verformungsmodul

$E_2 = f_1 \cdot f_2 \cdot \alpha_B \cdot E_{2,0}$ S. 25, Gl. (6.02)
 $= 1,0 \cdot 0,75 \cdot 0,64 \cdot 6 = 2,9 \text{ N/mm}^2$

Verformungsmodul der Bettungsschicht

$E_4 = 10 \cdot E_1 = 10 \cdot 2 = 20 \text{ N/mm}^2$ S. 24, 6.2.2



3. Lastaufteilung

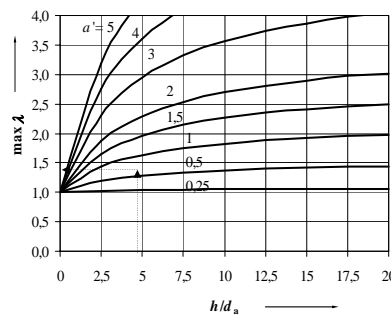
relative Ausladung: $a = 1,0$ (Kreisrohr, Kies-/Sandauflager) S. 25, Bild 9

wirksame relative Ausladung $a' = a \cdot E_1/E_2 = 1,0 \cdot 2,0/2,9 = 0,69$ S. 26, Gl. (6.05)
 (Die Bedingung $a' \geq 0,26$ ist erfüllt.)

Parameter für Diagramm D6: $h/d_a = 3 / 0,67 = 4,48$ und $E_4/E_1 = 10$:

maximaler
Konzentrations-
faktor im Boden
über dem Rohr

$\rightarrow \max \lambda \approx 1,4$



S. 26, Diagr. D6



Konzentrationsfaktor im Boden über dem **biegesteifen** Rohr:

$$\lambda_R = \max \lambda = 1,4$$

S. 26, 6.3.2

Einfluss der relativen Grabenbreite, $b/d_a = 1,6 / 0,67 = 2,39 < 4,0$:

$$\lambda_{RG} = \frac{\lambda_R - 1}{3} \cdot \frac{b}{d_a} + \frac{4 - \lambda_R}{3} = \frac{1,4 - 1}{3} \cdot 2,39 + \frac{4 - 1,4}{3} = 1,19$$

S. 30, Gl. (6.21a)

Grenzwerte für λ_{RG} :

$$\lambda_{t0} = 4,0 - 0,15 \cdot h = 3,55$$

S. 31, Gl. (6.23a)

$$K_1 = 0,5 \quad \text{und} \quad \delta = \varphi' = 25^\circ:$$

S. 18, Tab. 4 und S. 11, Tab. 1

$$\lambda_{fu} = \frac{1 - e^{-2 \cdot \frac{3}{0,67} \cdot 0,5 \cdot \tan 25^\circ}}{2 \cdot \frac{3}{0,67} \cdot 0,5 \cdot \tan 25^\circ} = 0,42$$

S. 17, Gl. (5.04)

Die Bedingung $\lambda_{fu} \leq \lambda_{RG} \leq \lambda_{t0}$ ist erfüllt: $0,42 \leq 1,19 \leq 3,55$



4. Druckverteilung am Rohrumfang

$$q_v = \lambda_{RG} \cdot p_E + p_V = 1,19 \cdot 60,0 + 21,0 = 92,4 \text{ kN/m}^2$$

S. 31, Gl. (6.24)

(Der horizontale Erddruck q_h wird für den Tragfähigkeitsnachweis nicht benötigt.)

5. Tragfähigkeitsnachweis

Bei gegebener Scheiteldruckkraft F_N (= Bruchlast) kann näherungsweise der Tragfähigkeitsnachweis geführt werden, sonst ist der Spannungsnachweis erforderlich.

Scheiteldruckkraft für Betonrohr DN 500 KW:

$$F_N = 80 \text{ kN/m} \quad \text{aus Scheiteldruckversuch}$$

[Bautabellen]

Einbauziffer für Auflagerwinkel $2\alpha = 90^\circ$: **EZ = 1,91**

S. 35, Tab. 11

(Eigenlast und Wasserfüllung sind im Nachweis enthalten.)

Nachweis:

$$\gamma = \frac{F_N \cdot EZ}{q_v \cdot d_a} = \frac{80 \cdot 1,91}{92,4 \cdot 0,67} = 2,47 > 2,2 = \text{erf } \gamma$$

S. 35, Gl. (9.02)

+ S. 41, Tab. 12

Die Betonrohrleitung DN 500 ist standsicher.