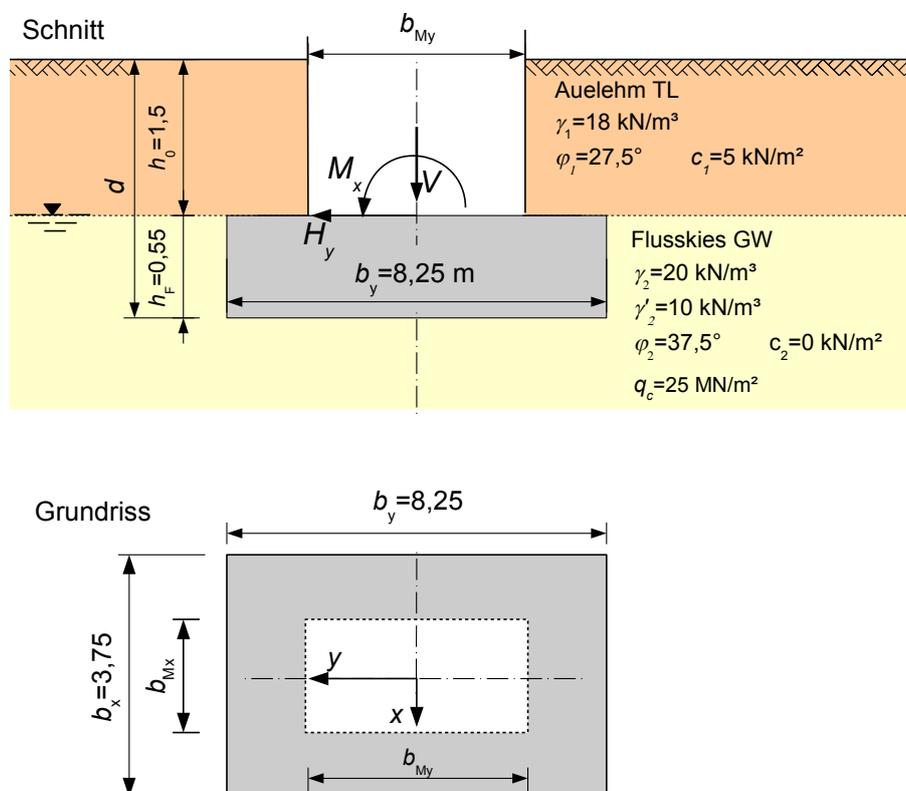


Grundbau, bewehrtes Einzelfundament - Straßenbrücke Achse 80

Als Variante für die Gründung des Brückenpfeilers der Achse 80 ist ein Stahlbetonfundament entworfen worden. Es sind die rechnerischen Nachweise für die Bemessungssituation BS-P zu führen. Die Verkehrslast ist als veränderliche Einwirkung anzusetzen. Eine Reaktion an der Stirnseite soll nicht berücksichtigt werden. Die Berechnung umfasst die folgenden Schritte:

1. Berechnung der Einwirkungen und Beanspruchungen.
2. Nachweis des Sohlwiderstands.
3. Grundbruchnachweis.
4. Gleitsicherheitsnachweis.
5. Kippsicherheitsnachweis.



Anfangsangaben, Bezeichner

Belastung, Geometrie

Aus der aufgehenden Konstruktion sind folgende Lasten durch die Gründung abzutragen:

$$V_G = 23880 \text{ kN ständige Last in kN}$$

$$V_Q = 4630 \text{ kN veränderliche Last (Lastmodell 1)}$$

$$H_{y,Q} = 956.8 \text{ kN veränderliche Horizontalkräfte}$$

$$M_{x,Q} = 11679.6 \text{ kNm Moment infolge veränderlicher Last}$$

$$b_{Mx} = 1.75; b_{My} = 4 \text{ m Stützenquerschnitt}$$

$$\gamma_{\text{Beton},k} = 24 \text{ kN/m}^3 \text{ Wichte des Betons C25}$$

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3 \text{ Wichte Wasser}$$

$$b_x = 3.75; b_y = 8.25 \text{ m gewählte Geometrie des Fundaments}$$

$$h_F = 0.55 \text{ m gewählte Dicke des Fundaments}$$

$$d = 2.05 \text{ m Einbindetiefe}$$

Baugrund

Schicht 1: Auelehm (TL)

$$\gamma_1 = 18 \text{ kN/m}^3$$

Schicht 2: Flusskies (GW)

$$\gamma_2 = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$\varphi_k = 37.5^\circ$$

$$\sigma_{R,d0} = 980 \text{ kN/m}^2 \text{ Grundwert des Bemessungswerts des Sohlwiderstands}$$

$$q_c = 25 \text{ MN/m}^2 \text{ Spitzenwiderstand der Drucksondierung}$$

1 Berechnung der Einwirkungen und Beanspruchungen

1.1 Festlegung der Leiteinwirkung

$$\psi_0 = 0.8 \quad \text{Kombinationsbeiwert}$$

Die Leiteinwirkung wird hier jeweils als die Einwirkung in Richtung des betrachteten Widerstands gewählt. Beim Grundbruchnachweis ist die Leiteinwirkung die Vertikalkraft V_Q , beim Gleitwiderstand die Horizontalkraft $H_{y,Q}$ und beim Kippnachweis das Moment $M_{x,Q}$. Auf die genaue Untersuchung der ungünstigsten Kombination wurde verzichtet.

1.2 Eigengewicht, Erdauflast

$$\begin{aligned} G_F &= (\gamma_{\text{Beton},k} - \gamma_w) \cdot b_x \cdot b_y \cdot h_F = (24 - 10) \cdot 3.75 \cdot 8.25 \cdot 0.55 \\ &= 238.219 \text{ kN Eigengewicht Fundament unter Auftrieb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_E &= \gamma_1 \cdot (b_x \cdot b_y - b_{Mx} \cdot b_{My}) \cdot (d - h_F) \\ &= 18 \cdot (3.75 \cdot 8.25 - 1.75 \cdot 4) \cdot (2.05 - 0.55) \\ &= 646.313 \text{ kN Erdauflast} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{GQ,k} &= V_G + V_Q + G_F + G_E = 23880 + 4630 + 238.219 + 646.313 \\ &= 29394.531 \text{ kN} \end{aligned}$$

2 Nachweis des Sohlwiderstands

2.1 Anfangsangaben

Nachweis für die Bemessungssituation BS-P im Grenzzustand GEO-2/STR.

$$\gamma_G = 1.35 \quad \text{Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen}$$

$$\gamma_Q = 1.5 \quad \text{Beanspruchungen aus veränderlichen Einwirkungen}$$

2.2 charakteristische Beanspruchung der Sohle (Fundamentmitte)

$$\begin{aligned} V_{GQ,k} &= V_G + G_F + G_E + V_Q = 23880 + 238.219 + 646.313 + 4630 \\ &= 29394.531 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{Q,k} = V_Q = 4630 \text{ kN Leiteinwirkung}$$

$$\begin{aligned} H_{y,Q,k} &= H_{y,Q,rep} = H_{y,Q} \cdot \psi_0 = 956.8 \cdot 0.8 \\ &= 765.44 \text{ kN repräsentativer Wert der veränderliche Last aus Wind} \end{aligned}$$

$$M_{x,Q,rep} = M_{x,Q} \cdot \psi_0 = 11679.6 \cdot 0.8 = 9343.68 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{x,GQ,k} &= M_{x,Q,rep} + H_{y,Q,rep} \cdot h_F = 9343.68 + 765.44 \cdot 0.55 \\ &= 9764.672 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$e_y = \frac{M_{x,GQ,k}}{V_{GQ,k}} = \frac{9764.672}{29394.531} = 0.332 \text{ m}$$

Berechnung der Sohlspannung für den Sohlwiderstandsnachweis mit der wirksamen Fläche!

$$\begin{aligned}
b'_x &= b_x = 3.75 \text{ m wirksame Breite} \\
b'_y &= b_y - 2 \cdot e_y = 8.25 - 2 \cdot 0.332 = 7.586 \text{ m wirksame Länge} \\
\sigma_{e,d} &= \frac{(V_G + G_F + G_E) \cdot \gamma_G + V_Q \cdot \gamma_Q}{b'_x \cdot b'_y} = \frac{(23880 + 238.219 + 646.313) \cdot 1.35 + 4630 \cdot 1.5}{3.75 \cdot 7.586} \\
&= 1419.428 \text{ kN/m}^2 \text{ Bemessungswert der Beanspruchung}
\end{aligned}$$

2.3 Sohlwiderstand

Bemessungswert des Sohlwiderstands muss um 40 % reduziert werden, da Grundwasser in Höhe der Sohle

außerdem Abminderung wegen Lastneigung

$$\begin{aligned}
\sigma_{R,d2} &= \sigma_{R,d0} \cdot 0.6 \cdot \left(1 - \frac{H_{y,Q,k}}{V_{GQ,k}}\right) = 980 \cdot 0.6 \cdot \left(1 - \frac{765.44}{29394.531}\right) \\
&= 572.688 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

Erhöhung um 50% da Boden hoher Festigkeit gemäß Tab. 3.6 ansteht

$$\sigma_{R,d} = \sigma_{R,d2} \cdot 1.5 = 572.688 \cdot 1.5 = 859.033 \text{ kN/m}^2$$

2.4 Nachweis

darf geführt werden wenn $T_k/N_k < 0,2$

$$\begin{aligned}
\kappa_T &= \frac{H_{y,Q,k}}{V_{GQ,k}} = \frac{765.44}{29394.531} \\
&= 0.026 \quad \text{wird nicht erfüllt, Nachweis trotzdem} \\
\mu &= \frac{\sigma_{e,d}}{\sigma_{R,d}} = \frac{1419.428}{859.033} = 1.652 \quad \text{Nachweis nicht erfüllt}
\end{aligned}$$

Der Nachweis des Sohlwiderstands ist nicht erfüllt. Es müssen alle Nachweise der Grenzzustände ULS und SLS geführt werden.

3 Grundbruchnachweis

3.1 Anfangsangaben

Der Nachweis wird für die Bemessungssituation BS-P geführt und gehört zur Gruppe GEO-2/STR.

$$\begin{aligned}
\gamma_G &= 1.35 \quad \text{Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen} \\
\gamma_Q &= 1.5 \quad \text{Beanspruchungen aus veränderlichen Einwirkungen} \\
\gamma_{R,v} &= 1.4 \quad \text{Grundbruchwiderstand}
\end{aligned}$$

3.2 Beanspruchung

3.2.1 Einwirkung – Reaktion an der Stirnseite B_k (nur bei Grundbruch)

Ansatz einer Bodenreaktion an der Stirnseite, Erddruckbeiwert nach Sokolovski/Pregl

$$\delta_{p2} = 0^\circ \text{ passiver Erddruckneigungswinkel}$$

Es darf eine Reaktionskraft B_k an der Stirnseite berücksichtigt werden, die höchstens die Größe der charakteristischen Beanspruchungen bzw. 50% des mit $\delta_p = 0$ ermittelten passiven Erddrucks betragen darf.

$$K_{pgh} = K_{pghP} [0; 0; \delta_{p2}^\circ; \varphi_k^\circ] = K_{pghP} [0; 0; 0^\circ; 37.5^\circ] = 4.112$$

$$\begin{aligned}
z_{h,Bk} &= \frac{2 \cdot e_{pgho} + e_{pghu}}{3 \cdot (e_{pgho} + e_{pghu})} \cdot h_F = \frac{2 \cdot 0 + 22.616}{3 \cdot (0 + 22.616)} \cdot 0.55 \\
&= 0.183 \text{ m Hebelarm von } B_k
\end{aligned}$$

$$B_k = 0 \text{ kN Es wird hier keine Reaktionskraft angesetzt!}$$

$$V_{Q,k} = V_Q = 4630 \text{ kN Leiteinwirkung}$$

$$\begin{aligned}
V_{GQ,k} &= V_G + G_F + G_E + V_{Q,k} = 23880 + 238.219 + 646.313 + 4630 \\
&= 29394.531 \text{ kN} \\
H_{y,Q,k} &= H_{y,Q,rep} = H_{y,Q} \cdot \psi_0 = 956.8 \cdot 0.8 \\
&= 765.44 \text{ kN repräsentativer Wert der veränderliche Last aus Wind} \\
M_{x,Q,rep} &= M_{x,Q} \cdot \psi_0 = 11679.6 \cdot 0.8 = 9343.68 \text{ kNm} \\
M_{x,GQ,k} &= M_{x,Q,rep} + H_{y,Q,rep} \cdot h_F = 9343.68 + 765.44 \cdot 0.55 \\
&= 9764.672 \text{ kNm} \\
M_{x2} &= M_{x,GQ,k} = 9764.672 \text{ kNm} \\
e_{y2} &= \frac{M_{x2}}{V_{GQ,k}} = \frac{9764.672}{29394.531} = 0.332 \text{ m (Außermitte)} \\
b'_{y2} &= b_y - 2 \cdot e_{y2} = 8.25 - 2 \cdot 0.332 = 7.586 \text{ m wirksame Länge} \\
H_k &= H_{y,Q,k} = 765.44 \text{ kN tangentielle Beanspruchung in der Sohle}
\end{aligned}$$

3.3 Grundbruchwiderstand

$$\begin{aligned}
b' &= b_x = 3.75 \text{ m wirksame Breite} \\
a' &= b'_{y2} = 7.586 \text{ m wirksame Länge} \\
R_{N,k} &= a' \cdot b' \cdot (\gamma_2 \cdot d \cdot N_{d0} \cdot \nu_d \cdot i_d + \gamma_2 \cdot b' \cdot N_{b0} \cdot \nu_b \cdot i_b) \\
&= 7.586 \cdot 3.75 \cdot (10 \cdot 2.05 \cdot 45.811 \cdot 1.301 \cdot 0.965 + 10 \cdot 3.75 \cdot 34.385 \cdot 0.852 \cdot 0.94) \\
&= 62931.253 \text{ kN}
\end{aligned}$$

3.4 Nachweis

$$\begin{aligned}
R_{N,d} &= \frac{R_{N,k}}{\gamma_{R,v}} = \frac{62931.253}{1.4} = 44950.895 \text{ kN} \\
V_d &= (V_G + G_E + G_F) \cdot \gamma_G + V_Q \cdot \gamma_Q \\
&= (23880 + 646.313 + 238.219) \cdot 1.35 + 4630 \cdot 1.5 \\
&= 40377.117 \text{ kN Bemessungswert der Normalkraft in der Sohlfläche} \\
\mu_V &= \frac{V_d}{R_{N,d}} = \frac{40377.117}{44950.895} = 0.898
\end{aligned}$$

4 Gleitsicherheit

4.1 Anfangsangaben

$$\delta_{S,k} = \frac{2}{3} \cdot \varphi_k = \frac{2}{3} \cdot 37.5 = 25^\circ \text{ Sohlreibung}$$

Der Nachweis wird für die Bemessungssituation BS-P geführt.

$$\begin{aligned}
\gamma_G &= 1.35 && \text{Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen} \\
\gamma_Q &= 1.5 && \text{Beanspruchungen aus veränderlichen Einwirkungen} \\
\gamma_{R,h} &= 1.1 && \text{Teilsicherheitsbeiwert Gleitwiderstand} \\
\gamma_{R,e} &= 1.4 && \text{Teilsicherheitsbeiwert passiver Erddruck}
\end{aligned}$$

4.2 Beanspruchung

$$\begin{aligned}
V_{Q,k} &= V_Q \cdot \psi_0 = 4630 \cdot 0.8 \\
&= 3704 \text{ kN repräsentativer Wert der veränderliche Last} \\
V_{GQ,k} &= V_G + G_F + G_E + V_{Q,k} = 23880 + 238.219 + 646.313 + 3704 \\
&= 28468.531 \text{ kN} \\
H_{y,Q,k} &= H_{y,Q} = 956.8 \text{ kN Leiteinwirkung} \\
M_{x,Q,rep} &= M_{x,Q} \cdot \psi_0 = 11679.6 \cdot 0.8 = 9343.68 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$M_{x,GQ,k} = M_{x,Q,rep} + H_{y,Q,k} \cdot h_F = 9343.68 + 956.8 \cdot 0.55 = 9869.92 \text{ kNm}$$

$$e_y = \frac{M_{x,GQ,k}}{V_{GQ,k}} = \frac{9869.92}{28468.531} = 0.347 \text{ m}$$

4.3 Widerstände

$$R_{h,k} = V_{GQ,k} \cdot \tan \delta_{S,k}^{\circ} = 28468.531 \cdot \tan 25^{\circ} = 13275.094 \text{ kN}$$

$$E_{phy,k} = 0 \text{ kN}$$

4.4 Nachweis

$$H_{y,d} = H_{y,Q,k} \cdot \gamma_Q = 956.8 \cdot 1.5$$

$$= 1435.2 \text{ kN Bemessungswert der Beanspruchung}$$

$$R_{h,d} = \frac{R_{h,k}}{\gamma_{R,h}} = \frac{13275.094}{1.1}$$

$$= 12068.267 \text{ kN Bemessungswert des Sohlwiderstands}$$

$$E_{ph,d} = \frac{E_{phy,k}}{\gamma_{R,e}} = \frac{0}{1.4}$$

$$= 0 \text{ kN Bemessungswert des Erdwiderstands}$$

$$\mu_H = \frac{H_{y,d}}{R_{h,d} + E_{ph,d}} = \frac{1435.2}{12068.267 + 0} = 0.119 \quad \text{Ausnutzungsgrad}$$

5 Kippsicherheit

5.1 Anfangsangaben

Der Nachweis gegen Gleichgewichtsverlust gehört zur Gruppe EQU.

$$\gamma_{G,dst} = 1.1 \quad \text{ständige, ungünstige destabilisierende Einwirkungen}$$

$$\gamma_{G,stb} = 0.9 \quad \text{günstige wirkende ständige Einwirkungen}$$

5.2 Beanspruchungen, charakteristische Werte

$$V_{Q,k} = V_{Q,rep} = V_Q \cdot \psi_0 = 4630 \cdot 0.8$$

$$= 3704 \text{ kN repräsentativer Wert}$$

$$V_{GQ,k} = V_G + G_F + G_E + V_{Q,k} = 23880 + 238.219 + 646.313 + 3704$$

$$= 28468.531 \text{ kN}$$

$$H_{y,Q,k} = H_{y,Q,rep} = H_{y,Q} \cdot \psi_0 = 956.8 \cdot 0.8$$

$$= 765.44 \text{ kN repräsentativer Wert der veränderliche Last}$$

$$M_{x,Q,k} = M_{x,Q} = 11679.6 \text{ kNm Leiteinwirkung}$$

$$M_{x,GQ,k} = M_{x,Q,rep} + H_{y,Q,rep} \cdot h_F = 9343.68 + 765.44 \cdot 0.55$$

$$= 9764.672 \text{ kNm}$$

$$e_{y3} = \frac{M_{x,GQ,k}}{V_{GQ,k}} = \frac{9764.672}{28468.531} = 0.343 \text{ m Ausmitte}$$

$$M_{dst,k} = M_{x,GQ,k} = 9764.672 \text{ kNm}$$

$$M_{stb,k} = \frac{V_{GQ,k} \cdot b_y}{2} = \frac{28468.531 \cdot 8.25}{2} = 117432.691 \text{ kNm}$$

5.3 Nachweis

$$M_{dst,d} = \gamma_{G,dst} \cdot M_{dst,k} = 1.1 \cdot 9764.672 = 10741.139 \text{ kNm}$$

$$M_{stb,d} = \gamma_{G,stb} \cdot M_{stb,k} = 0.9 \cdot 117432.691 = 105689.422 \text{ kNm}$$

$$\mu_M = \frac{M_{dst,d}}{M_{stb,d}} = \frac{10741.139}{105689.422} = 0.102$$

Die Kippsicherheit ist nachgewiesen, wenn infolge der Belastung durch ständige und veränder-

liche Einwirkungen die Sohle höchstens bis zum Schwerpunkt klafft. Es müssen außerdem die Grundbruch- und Gleitsicherheitsnachweise erfüllt sein. Die ungünstigste Lastkombination ist zu verwenden. Der Nachweis ist bei Rechteckfundamenten erbracht, wenn die Resultierende in der 2. Kernweite liegt (Ausmitte $< b/3$).

$$\frac{e_{y3}}{b_y} < \frac{1}{3} = \frac{0.343}{8.25} < \frac{1}{3} = 1$$