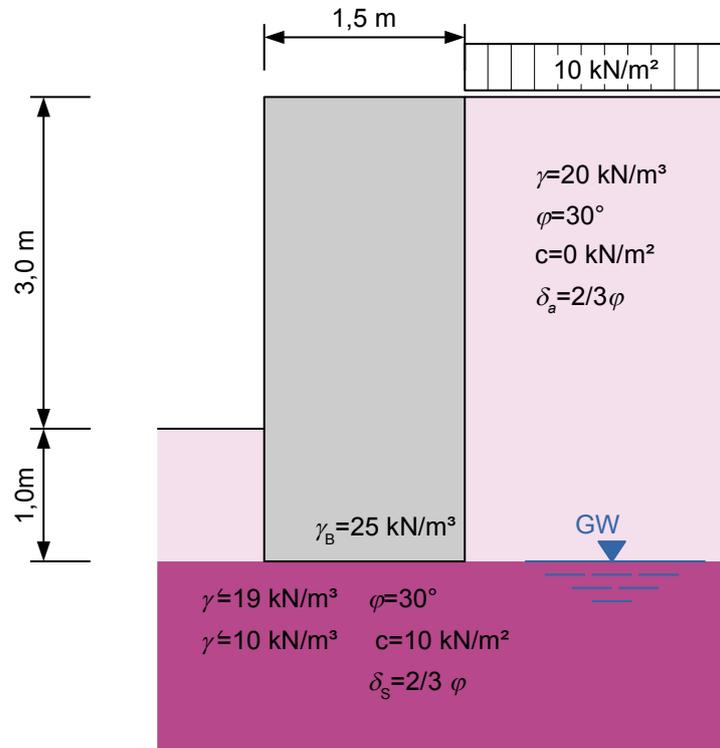


Nachweise einer Schwergewichtsmauer

Ein Geländesprung wird durch eine Schwergewichtsmauer aus Beton gesichert. Der Nachweis der Tragfähigkeit ist für die Bemessungssituation BS-P zu erbringen. Alle erforderlichen Angaben sind der nachfolgenden Skizze zu entnehmen. Die unbegrenzte Oberflächenlast p ist als Verkehrslast (veränderliche Einwirkung) anzusetzen.



Aufgabenstellung

1. Ermitteln Sie die charakteristischen Einwirkungen in der Sohlfuge getrennt für ständige und veränderliche Lasten als Grundlage für die Nachweise.
2. Führen Sie den Kippsicherheitsnachweis
3. Führen Sie den Gleitsicherheitsnachweis
4. Führen Sie Grundbruchnachweis.

1 Anfangsangaben

1.1 Geometrie

- $\alpha = 0^\circ$ Neigung der Mauerrückseite
- $\beta = 0^\circ$ Geländeneigung
- $h = 4 \text{ m}$ Höhe der Mauerrückseite
- $b = 1,5 \text{ m}$ Breite der Mauer
- $h_l = 3 \text{ m}$ Höhe der Mauer luftseitig

1.2 Kennwerte

- $\gamma_B = 25 \text{ kN/m}^3$ Wichte des Betons
- $\gamma_1 = 20 \text{ kN/m}^3$ Wichte des Bodens
- $\gamma_2' = 10 \text{ kN/m}^3$ Wichte des Bodens unter Auftrieb
- $\varphi_1 = 30^\circ$ Reibungswinkel Schicht 1

$$\begin{aligned}
c_1 &= 0 \text{ kN/m}^2 \text{ Kohäsion} \\
\varphi_2 &= 30^\circ \text{ Reibungswinkel Schicht 1} \\
c_2 &= 12 \text{ kN/m}^2 \text{ Kohäsion} \\
\delta_a &= \frac{2}{3} \cdot \varphi_1 = \frac{2}{3} \cdot 30 = 20^\circ \text{ Wandreibungswinkel (Aktivseite)} \\
\delta_p &= 0^\circ \text{ Wandreibungswinkel (Passivseite)} \\
p &= 10 \text{ kN/m}^2 \text{ Veränderliche Auflast}
\end{aligned}$$

1.2.1 Beiwerte

$$\begin{aligned}
\gamma_G &= 1.35 \quad \text{Teilsichereitsbeiwert ständige Einwirkungen für BS-P} \\
\gamma_Q &= 1.5 \quad \text{Teilsichereitsbeiwert veränderliche Einwirkungen für BS-P}
\end{aligned}$$

1.3 Einwirkungen - allgemein

$$\begin{aligned}
G &= h \cdot b \cdot 1 \cdot \gamma_B = 4 \cdot 1.5 \cdot 1 \cdot 25 \\
&= 150 \text{ kN/m} - \text{Eigengewicht der Mauer für 1 m Streifen} \\
K_{agh} &= K_{agh100} [\alpha^\circ; \beta^\circ; \delta_a^\circ; \varphi_1^\circ] = K_{agh100} [0^\circ; 0^\circ; 20^\circ; 30^\circ] \\
&= 0.279 \quad \text{Erddruckbeiwert aktiv} \\
e_{agho} &= 0 \text{ kN/m}^2 \\
e_{aghu} &= h \cdot \gamma_1 \cdot K_{agh} = 4 \cdot 20 \cdot 0.279 = 22.351 \text{ kN/m}^2 \\
E_{agh} &= \frac{e_{agho} + e_{aghu}}{2} \cdot h = \frac{0 + 22.351}{2} \cdot 4 = 44.701 \text{ kN/m} \\
z_{heag} &= \frac{h}{3} = \frac{4}{3} \\
&= 1.333 \text{ m Hebelarm von } E_{agh} \text{ im Bezug zur Sohlfuge} \\
E_{agv} &= E_{agh} \cdot \tan(\alpha^\circ + \delta_a^\circ) = 44.701 \cdot \tan(0^\circ + 20^\circ) = 16.27 \text{ kN/m} \\
K_{aph} &= K_{aph100} [\alpha^\circ; \beta^\circ; \delta_a^\circ; \varphi_1^\circ] = K_{aph100} [0^\circ; 0^\circ; 20^\circ; 30^\circ] \\
&= 0.279 \quad \text{Erddruckbeiwert aktiv infolge Auflast} \\
e_{aph} &= K_{aph} \cdot p = 0.279 \cdot 10 \\
&= 2.794 \text{ kN/m}^2 \text{ Erddruck infolge Auflast} \\
E_{aph} &= e_{aph} \cdot h = 2.794 \cdot 4 = 11.175 \text{ kN/m} \\
z_{heap} &= \frac{h}{2} = \frac{4}{2} \\
&= 2 \text{ m Hebelarm von } E_{aph} \text{ im Bezug zur Sohlfuge} \\
E_{apv} &= E_{aph} \cdot \tan(\alpha^\circ + \delta_a^\circ) = 11.175 \cdot \tan(0^\circ + 20^\circ) = 4.067 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

Ermittlung des passiven Erddrucks, für die Nachweise des Streifenfundaments ist der Erddruckneigungswinkel mit 0 anzusetzen!

$$\begin{aligned}
K_{pgh} &= K_{pghP} [-\alpha^\circ; \beta^\circ; \delta_p^\circ; \varphi_1^\circ] = K_{pghP} [-0^\circ; 0^\circ; 0^\circ; 30^\circ] \\
&= 3 \text{ Erddruckbeiwert nach Pregel} \\
e_{pgho} &= 0 \text{ kN/m}^2 \\
e_{pghu} &= (h - h_l) \cdot \gamma_1 \cdot K_{pgh} = (4 - 3) \cdot 20 \cdot 3 = 60 \text{ kN/m}^2 \\
E_{pgh} &= \frac{e_{pghu}}{2} \cdot (h - h_l) = \frac{60}{2} \cdot (4 - 3) = 30 \text{ kN/m} \\
z_{hep} &= \frac{1}{3} \cdot (h - h_l) = \frac{1}{3} \cdot (4 - 3) \\
&= 0.333 \text{ m Hebelarm von } E_{pgh} \text{ im Bezug zur Sohlfuge} \\
B_k &= \frac{E_{pgh}}{2} = \frac{30}{2} \\
&= 15 \text{ kN/m Reaktion an der Stirnseite für BS-P}
\end{aligned}$$

Die Reaktion an der Stirnseite B_k darf wie eine ständige Einwirkung angesetzt werden, wenn der passive Erddruck nicht als Widerstand in Rechnung gestellt wird. Sie darf maximal der halben passiven Erddruckkraft entsprechen. Die Summe aller Horizontalkräfte darf nicht in Richtung der Hinterfüllung wirken!

Resultierende Beanspruchungen bezogen auf den Mittelpunkt

$$\begin{aligned}\Sigma H_{G,k} &= E_{agh} - B_k = 44.701 - 15 = 29.701 \text{ kN/m} \\ \Sigma H_{Q,k} &= E_{aph} = 11.175 \text{ kN/m} \\ \Sigma H_k &= \Sigma H_{G,k} + \Sigma H_{Q,k} = 29.701 + 11.175 = 40.877 \text{ kN/m} \\ \Sigma V_{G,k} &= E_{agv} + G = 16.27 + 150 = 166.27 \text{ kN/m} \\ \Sigma V_{Q,k} &= E_{apv} = 4.067 \text{ kN/m} \\ \Sigma V_k &= \Sigma V_{G,k} + \Sigma V_{Q,k} = 166.27 + 4.067 = 170.337 \text{ kN/m} \\ \Sigma M_{G,k} &= E_{agh} \cdot z_{heag} - \frac{E_{agv} \cdot b}{2} - B_k \cdot z_{hep} \\ &= 44.701 \cdot 1.333 - \frac{16.27 \cdot 1.5}{2} - 15 \cdot 0.333 = 42.399 \text{ kNm/m} \\ \Sigma M_{Q,k} &= E_{aph} \cdot z_{heap} - \frac{E_{apv} \cdot b}{2} = 11.175 \cdot 2 - \frac{4.067 \cdot 1.5}{2} = 19.3 \text{ kNm/m} \\ \Sigma M_k &= \Sigma M_{G,k} + \Sigma M_{Q,k} = 42.399 + 19.3 = 61.699 \text{ kNm/m}\end{aligned}$$

2 Kippsicherheit

2.0 Anfangsangaben

Der Nachweis der Kippsicherheit gehört zur Gruppe EQU. Es werden destabilisierende und stabilisierende Momente um die maßgebende Kippkante verglichen. Außerdem muss die Sohle infolge ständiger und veränderlicher Lasten mindestens bis zum Schwerpunkt unter Druckbelastung stehen.

$$\begin{aligned}\gamma_{G,dst} &= 1.1 && \text{Teilsicherheitsbeiwert ständige destabilisierende Einwirkung} \\ \gamma_{Q,dst} &= 1.5 && \text{Teilsicherheitsbeiwert veränderliche destabilisierende Einwirkung} \\ \gamma_{G,stab} &= 0.9 && \text{Teilsicherheitsbeiwert ständige stabilisierende Einwirkung}\end{aligned}$$

2.1 Einwirkungen

Erddruck infolge Eigengewicht, infolge Auflast, Eigengewicht der Mauer, siehe oben!

2.2 destabilisierende Momente

Es werden die Momente um die vordere Fundamentkante (Kippkante) betrachtet. Maßgebend ist jeweils das Moment infolge einer Einwirkung, z. B. infolge Erddruck durch Eigengewicht. Bei der Berechnung des Moments sind deshalb die Vertikal- und die Horizontalkräfte mit den jeweiligen Hebelarmen zu berücksichtigen. Als positiv wird hier die destabilisierend Drehrichtung vereinbart.

$$\begin{aligned}M_{k,eaq} &= E_{agh} \cdot z_{heag} - E_{agv} \cdot b = 44.701 \cdot 1.333 - 16.27 \cdot 1.5 \\ &= 35.197 \text{ kNm/m Moment infolge } E_{ag} \text{ um die Kippkante} \\ M_{k,eap} &= E_{aph} \cdot z_{heap} - E_{apv} \cdot b = 11.175 \cdot 1.333 - 4.067 \cdot 1.5 = 8.799\end{aligned}$$

2.3 stabilisierende Momente

$$\begin{aligned}M_{k,G} &= -\frac{G \cdot b}{2} = -\frac{150 \cdot 1.5}{2} \\ &= -112.5 \text{ kNm/m Moment infolge Eigengewicht der Mauer} \\ M_{k,Bk} &= -B_k \cdot z_{hep} = -15 \cdot 0.333 = -5 \text{ kNm/m}\end{aligned}$$

2.4 Nachweise

$$\begin{aligned}M_{d,dst} &= M_{k,eag} \cdot \gamma_{G,dst} + M_{k,eap} \cdot \gamma_{Q,dst} = 35.197 \cdot 1.1 + 8.799 \cdot 1.5 \\ &= 51.915\end{aligned}$$

$$M_{d,stab} = |(M_{k,G} + M_{k,Bk}) \cdot \gamma_{G,stab}| = |(-112.5 + -5) \cdot 0.9| = 105.75$$

$$\mu_k = \frac{M_{d,dst}}{M_{d,stab}} = \frac{51.915}{105.75} = 0.491$$

Ausmitte aus ständigen und veränderlichen Einwirkungen (2. Kernweite)

$$\begin{aligned}e_k &= \frac{\Sigma M_k}{\Sigma V_k} = \frac{61.699}{170.337} \\ &= 0.362 \text{ m Ausmitte im Bezug zur y-Achse}\end{aligned}$$

$$e_{k,max} = \frac{b}{3} = \frac{1.5}{3} = 0.5 \text{ m}$$

$$e_k \leq e_{k,max} = 0.362 \leq 0.5 = 1 \text{ Nachweis erfüllt}$$

$$\mu_{k2} = \frac{e_k}{e_{k,max}} = \frac{0.362}{0.5} = 0.724$$

Nachweis gegen Kippen für BS-P erfüllt. Für die Bemessungssituation BS-T sollte die Reaktion an der Stirnseite nicht angesetzt werden.

3 Gleitsicherheit

3.0 Anfangsangaben

Der Nachweis der Gleitsicherheit gehört zur Gruppe Geo-2. Es werden Beanspruchungen und Widerstände verglichen. Der passive Erddruck ist für diesen Nachweis ein Widerstand. Eine Reaktion an der Stirnseite darf deshalb nicht angesetzt werden.

$$\gamma_{Rh} = 1.1 \quad \text{Teilsichereheitsbeiwert Gleitwiderstand für BS-P}$$

$$\delta_{sk} = \frac{2 \cdot \varphi_2}{3} = \frac{2 \cdot 30}{3} = 20^\circ \text{ Sohlsreibungswinkel}$$

$$\gamma_{Re} = 1.4 \quad \text{Teilsichereheitsbeiwert Widerstand, passiver Erddruck für BS-P}$$

3.1 Einwirkungen

siehe Oben

3.2 Beanspruchungen

$$H_{G,k} = E_{agh} = 44.701 \text{ kN/m charakteristischer Wert der Tangentialkraft}$$

$$H_{Q,k} = E_{aph} = 11.175$$

$$V_{G,k} = G + E_{agv} = 150 + 16.27 = 166.27$$

$$V_{Q,k} = E_{apv} = 4.067$$

3.3 Widerstände

$$\begin{aligned}R_{h,k} &= (V_{G,k} + V_{Q,k}) \cdot \tan \delta_{sk}^\circ = (166.27 + 4.067) \cdot \tan 20^\circ \\ &= 61.998 \text{ kN/m Bemessungswert des Widerstands tangential}\end{aligned}$$

$$E_{ph,k} = E_{pgh} = 30$$

3.4 Nachweis

$$R_{h,d} = \frac{R_{h,k}}{\gamma_{Rh}} + \frac{E_{ph,k}}{\gamma_{Re}} = \frac{61.998}{1.1} + \frac{30}{1.4} = 77.79$$

$$H_d = H_{G,k} \cdot \gamma_G + H_{Q,k} \cdot \gamma_Q = 44.701 \cdot 1.35 + 11.175 \cdot 1.5 = 77.11$$

$$\mu_h = \frac{H_d}{R_{h,d}} = \frac{77.11}{77.79} = 0.991$$

4 Sicherheit gegen Grundbruch

4.0 Anfangsangaben

Der Nachweis gehört zur Gruppe Geo-2. Es werden Beanspruchungen und Widerstände in vertikaler Richtung verglichen. Der passive Erddruck ist für diesen Nachweis kein Widerstand. Es darf für BS-P eine Reaktion an der Stirnseite B_k angesetzt werden.

$$\gamma_{Rv} = 1.4 \quad \text{Teilsichereheitsbeiwert Grundbruchwiderstand für BS-P}$$

4.1 Einwirkungen

Die Reaktion an der Stirnseite darf für die Bemessungssituation BS-P angesetzt werden. Für temporäre Zustände, z. B. bei Herstellen eines Grabens vor dem Mauerfuß, ist zu prüfen, ob diese Reaktionskraft wirksam bleibt.

4.2 Beanspruchungen

charakteristische Werte der resultierenden Vertikal- und Horizontalkräfte und Momente.

$$\begin{aligned} e_{GQ,k} &= \frac{\Sigma M_k}{\Sigma V_k} = \frac{61.699}{170.337} \\ &= 0.362 \text{ m Ausmitte aus ständigen und veränderlichen Einwirkungen} \\ b' &= b - 2 \cdot e_{GQ,k} = 1.5 - 2 \cdot 0.362 = 0.776 \text{ m wirksame Breite} \end{aligned}$$

4.3 Grundbruchwiderstand

Tragfähigkeitsbeiwerte

$$\begin{aligned} N_{d0} &= \frac{1 + \sin \varphi_2^\circ}{1 - \sin \varphi_2^\circ} \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi_2^\circ} = \frac{1 + \sin 30^\circ}{1 - \sin 30^\circ} \cdot e^{\pi \cdot \tan 30^\circ} = 18.401 \\ N_{c0} &= \frac{N_{d0} - 1}{\tan \varphi_2^\circ} = \frac{18.401 - 1}{\tan 30^\circ} = 30.14 \\ N_{b0} &= (N_{d0} - 1) \cdot \tan \varphi_2^\circ = (18.401 - 1) \cdot \tan 30^\circ = 10.047 \end{aligned}$$

Formbeiwerte - Streifenfundament, alle Formbeiwerte 1,0

$$\begin{aligned} \nu_d &= 1 \\ \nu_b &= 1 \\ \nu_c &= 1 \end{aligned}$$

Lastneigungsbeiwerte

$$\begin{aligned} \delta &= \arctan \left(\frac{\Sigma H_k}{\Sigma V_k} \right)^{deg} = \arctan \left(\frac{40.877}{170.337} \right)^{deg} = 13.494 \\ \omega &= 90^\circ = 1.571 \\ m_b &= 2 \\ m &= m_b = 2 \\ i_d &= (1 - \tan \delta^\circ)^m = (1 - \tan 13.494^\circ)^2 = 0.578 \\ i_b &= (1 - \tan \delta^\circ)^{m+1} = (1 - \tan 13.494^\circ)^{2+1} = 0.439 \\ i_c &= \frac{i_d \cdot N_{d0} - 1}{N_{d0} - 1} = \frac{0.578 \cdot 18.401 - 1}{18.401 - 1} = 0.553 \end{aligned}$$

Geländeneigungsbeiwerte λ , $\beta = 0$

$$\lambda_d = \lambda_b = \lambda_c = 1$$

Sohlneigungsbeiwerte ζ , Sohlfuge horizontal:

$$\xi_d = \xi_b = \xi_c = 1$$

Grundbruchwiderstand

$$\begin{aligned} N_d &= N_{d0} \cdot \nu_d \cdot i_d \cdot \lambda_d \cdot \xi_d = 18.401 \cdot 1 \cdot 0.578 \cdot 1 \cdot 1 = 10.629 \\ N_b &= N_{b0} \cdot \nu_b \cdot i_b \cdot \lambda_b \cdot \xi_b = 10.047 \cdot 1 \cdot 0.439 \cdot 1 \cdot 1 = 4.411 \\ N_c &= N_{c0} \cdot \nu_c \cdot i_c \cdot \lambda_c \cdot \xi_c = 30.14 \cdot 1 \cdot 0.553 \cdot 1 \cdot 1 = 16.678 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{v,k} &= b' \cdot (\gamma_1 \cdot (h - h_l) \cdot N_d + \gamma_2' \cdot b' \cdot N_b + c_2 \cdot N_c) \\
&= 0.776 \cdot (20 \cdot (4 - 3) \cdot 10.629 + 10 \cdot 0.776 \cdot 4.411 + 12 \cdot 16.678) \\
&= 346.622 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

4.4 Nachweis – Gegenüberstellung der Bemessungswerte

$$\begin{aligned}
V_d &= \Sigma V_{G,k} \cdot \gamma_G + \Sigma V_{Q,k} \cdot \gamma_Q = 166.27 \cdot 1.35 + 4.067 \cdot 1.5 \\
&= 230.566 \text{ kN/m} \\
R_{v,d} &= \frac{R_{v,k}}{\gamma_{Rv}} = \frac{346.622}{1.4} = 247.587 \text{ kN/m} \\
\mu_v &= \frac{V_d}{R_{v,d}} = \frac{230.566}{247.587} \\
&= 0.931 > 1 \Rightarrow \text{Nachweis nicht erfüllt!}
\end{aligned}$$