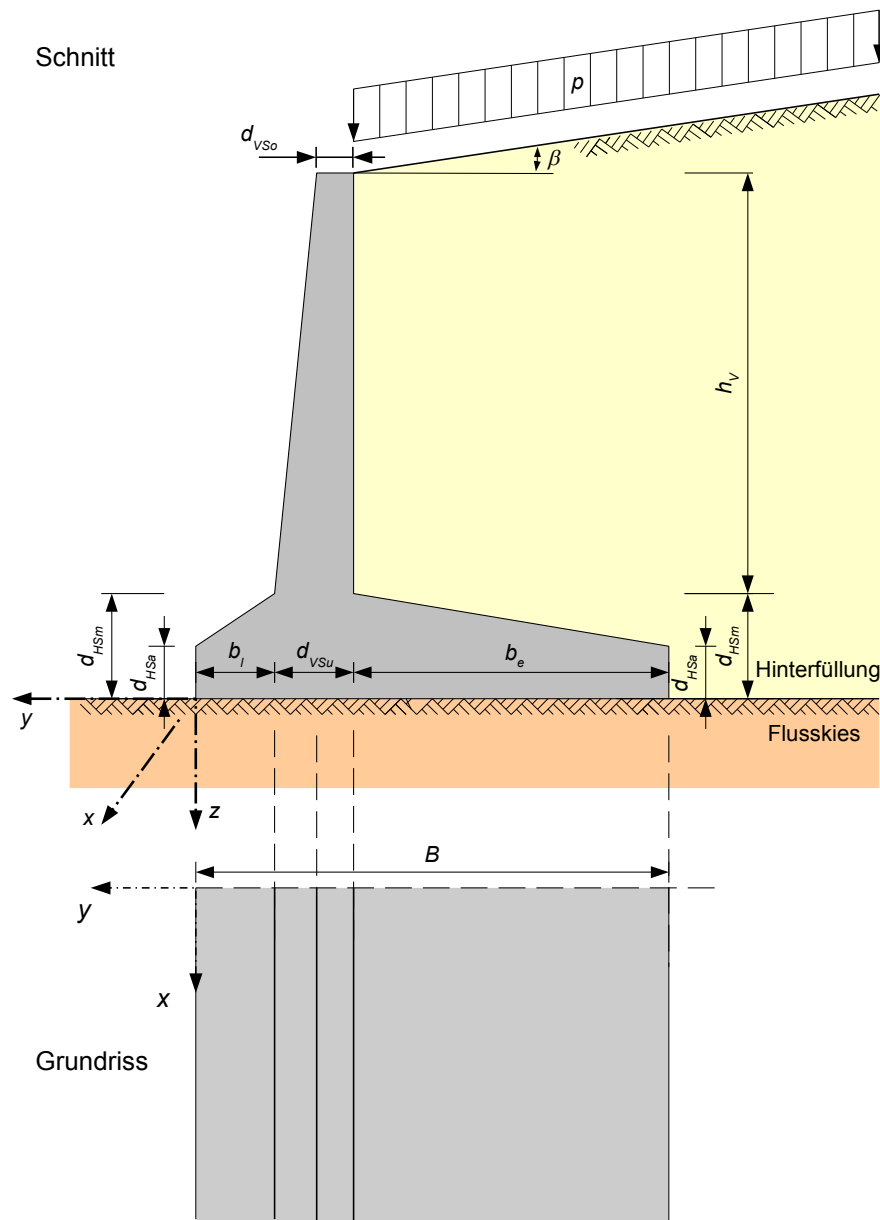


Berechnung von Winkelstützmauern

Ein Geländesprung wird durch eine Winkelstützmauer aus Betonfertigteilen gesichert. Geometrie und Baugrundsichtung sind der nachfolgenden Skizze zu entnehmen. Die unbegrenzte Oberflächenlast p ist als Verkehrslast zu berücksichtigen. (Lösung mit Erddruckneigung $2/3\varphi$ für E_{a3}).



Aufgabenstellung:

1. Berechnen Sie die charakteristischen Beanspruchungen in der Sohlfuge für die Nachweise des Grenzzustands der Tragfähigkeit ULS der Gründung (äußere Standsicherheit). Stellen Sie dazu die Erddruckbelastung dar!
2. Berechnen Sie die charakteristische Beanspruchung für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit der Gründung (Grenzzustand SLS) sowie für die Dimensionierung der Bauteilquerschnitte (charakteristisches Biegemoment) am Anschnitt des erdseitigen Horizontalschenkels getrennt für ständige Lasten und veränderliche Einwirkungen! Die Bauteilgeometrie darf vereinfacht werden.

Eingangsgrößen, Bezeichner

Stützmauer

$$\begin{aligned}b_l &= 0.3 \text{ m Breite luftseitig} \\d_{VSo} &= 0.2 \text{ m Dicke Vertikalschenkel oben} \\d_{VSu} &= 0.3 \text{ m Dicke Vertikalschenkel unten} \\b_e &= 2.4 \text{ m Breite erdseitig} \\B &= b_l + d_{VSu} + b_e = 0.3 + 0.3 + 2.4 = 3 \text{ m Gesamtbreite} \\h_V &= 3.6 \text{ m Höhe Vertikalschenkel} \\d_{HSa} &= 0.2 \text{ m Dicke Horizontalschenkel außen} \\d_{HSm} &= 0.4 \text{ m Dicke Horizontalschenkel mittig} \\H &= h_V + d_{HSm} = 3.6 + 0.4 = 4 \text{ m Gesamthöhe} \\\gamma_B &= 25 \text{ kN/m}^3 \\\beta &= 5^\circ \text{ Neigung der Geländeoberfläche} \\p &= 5 \text{ kN/m}^2 \text{ unbegrenzte Oberflächenlast als veränderliche Einwirkung}\end{aligned}$$

Baugrundkennwerte

Schicht 1: Hinterfüllung

$$\begin{aligned}\gamma_1 &= 20 \text{ kN/m}^3 \\\varphi_1 &= 30^\circ \\c_1 &= 0 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Schicht 2: Flusskies

$$\begin{aligned}\gamma_2 &= 18 \text{ kN/m}^3 \\\varphi_2 &= 35^\circ \\c_2 &= 0 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Teilsicherheiten GEO-2, Bemessungssituation BS-P

$$\gamma_G = 1.35; \gamma_Q = 1.5; \gamma_{R,h} = 1.1$$

1 Beanspruchungen für den Nachweis der Gründung

1.1 Bemessungsfall (Gegengleitfläche)

$$\begin{aligned}\vartheta' &= 90 + \varphi_1 - \vartheta = 90 + 30 - 57.481 = 62.519^\circ \\\vartheta_{vorh} &= \left(\arctan \left(\frac{h_V + d_{HSm} - d_{HSa}}{b_e} \right) \right)^{deg} = \left(\arctan \left(\frac{3.6 + 0.4 - 0.2}{2.4} \right) \right)^{deg} \\&= 57.724^\circ \\h_{\vartheta'} &= b_e \cdot \tan \vartheta'^{\circ} = 2.4 \cdot \tan 62.519^\circ \\&= 4.614 \Rightarrow \text{Gleitfläche schneidet Vertikalschenkel nicht.}\end{aligned}$$

Die Berechnung erfolgt nach Fall 2b!

$$\begin{aligned}h_2 &= h_V + d_{HSm} - d_{HSa} + b_e \cdot \tan \beta^\circ = 3.6 + 0.4 - 0.2 + 2.4 \cdot \tan 5^\circ \\&= 4.01 \text{ m Höhe des senkrechten Schnitts durch den Boden}\end{aligned}$$

1.2 Erdauflast

$$G_{Boden} = \frac{h_V + h_2}{2} \cdot b_e \cdot \gamma_1 = \frac{3.6 + 4.01}{2} \cdot 2.4 \cdot 20 = 182.639 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}
z_{Hap,3} &= \frac{d_{HSa}}{2} = \frac{0.2}{2} = 0.1 \text{ m} \\
E_{agh} &= E_{agh,2} + E_{agh,3} = 54.015 + 4.889 = 58.904 \text{ kN/m} \\
E_{aph} &= E_{aph,2} + E_{aph,3} = 6.735 + 0.297 = 7.032 \text{ kN/m} \\
E_{agv} &= E_{agv,2} + E_{agv,3} = 4.726 + 1.779 = 6.505 \text{ kN/m} \\
E_{apv} &= E_{apv,2} + E_{apv,3} = 0.589 + 0.108 = 0.697 \text{ kN/m} \\
y_{ag} &= y_{ap} = -B = -3 \text{ m}
\end{aligned}$$

1.6 Größe und Lage der Resultierenden

1.6.1 Momente bzgl. vorderen Wandfußpunkt

$$\begin{aligned}
\Sigma M_G &= G_{Boden} \cdot y_{Boden} + G_{Wand} \cdot y_{Wand} + M_{Eag} \\
&= 182.639 \cdot -1.822 + 45.75 \cdot -0.926 + 63.972 = -311.09 \text{ kNm/m} \\
\Sigma M_Q &= P \cdot y_P + M_{Eaq} = 12.046 \cdot -1.8 + 12.788 = -8.895 \text{ kNm/m}
\end{aligned}$$

1.6.2 Beanspruchung in der Sohle

$$\begin{aligned}
V_{G,k} &= G_{Boden} + G_{Wand} + E_{agv} = 182.639 + 45.75 + 6.505 = 234.894 \text{ kN/m} \\
e_{yG} &= \frac{B}{2} + \frac{\Sigma M_G}{V_{G,k}} = \frac{3}{2} + \frac{-311.09}{234.894} = 0.176 \text{ m Außermitte} \\
V_{GQ,k} &= V_{G,k} + E_{apv} + P = 234.894 + 0.697 + 12.046 = 247.638 \text{ kN/m} \\
e_{yGQ} &= \frac{B}{2} + \frac{\Sigma M_G + \Sigma M_Q}{V_{GQ,k}} = \frac{3}{2} + \frac{-311.09 + -8.895}{247.638} = 0.208 \text{ m Außermitte} \\
H_{G,k} &= E_{agh,2} + E_{agh,3} = 54.015 + 4.889 = 58.904 \text{ kN/m} \\
H_{GQ,k} &= H_{G,k} + E_{aph} = 58.904 + 7.032 = 65.936 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

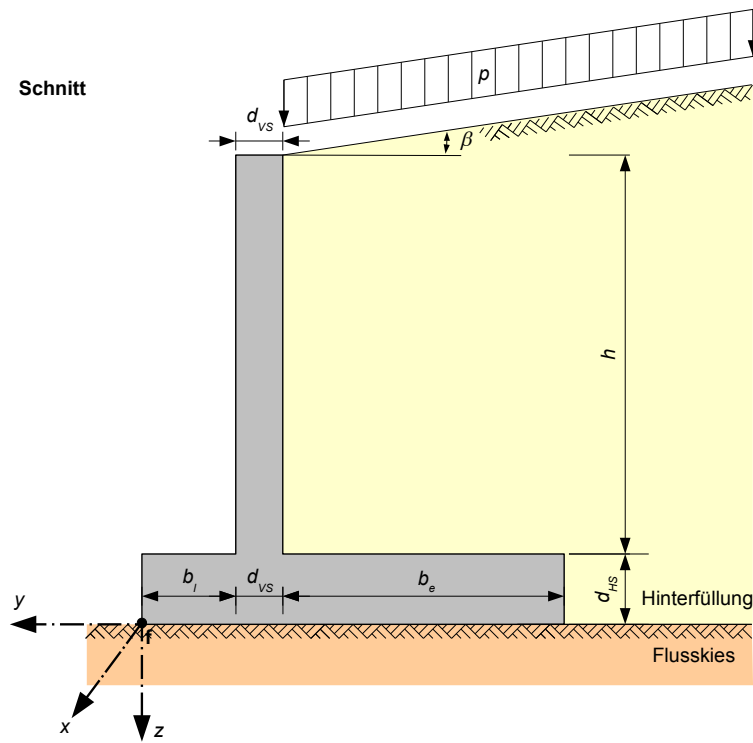
1.7 Gleitsicherheitsnachweis

$$\begin{aligned}
R_{h,d} &= \frac{V_{GQ,k} \cdot \tan \delta_{S,k}^\circ}{\gamma_{R,h}} = \frac{247.638 \cdot \tan 23.333^\circ}{1.1} = 97.11 \text{ kN/m} \\
\mu_h &= \frac{H_d}{R_{h,d}} = \frac{90.068}{97.11} = 0.927 \quad \text{Nachweis erfüllt}
\end{aligned}$$

2 Beanspruchungen für Bauteilbemessung

2.1 Vereinfachungen Geometrie

$$\begin{aligned}
d_{HS} &= \frac{d_{HSa} + d_{HSm}}{2} = \frac{0.2 + 0.4}{2} = 0.3 \text{ m} \\
d_{VS} &= \frac{d_{VSu} + d_{VSo}}{2} = \frac{0.3 + 0.2}{2} = 0.25 \text{ m} \\
b_l &= B - b_e - d_{VS} = 3 - 2.4 - 0.25 \\
&= 0.35 \text{ m luftseitiger Schenkel} \\
h &= H - d_{HS} = 4 - 0.3 = 3.7 \text{ m innere Vertikalschenkelhöhe}
\end{aligned}$$



2.2 Erdauflast

wird aus der vorangegangenen Rechnung übernommen

2.3 Eigengewicht Wand

wird aus der vorangegangenen Rechnung übernommen

2.4 Verkehrslast P

wird aus der vorangegangenen Rechnung übernommen

2.5 Belastender Erddruck

2.5.1 Erddruckbeiwerte

$$K_{a0gh} = K_{a0ph} = \frac{K_{agh} + K_{0gh}}{2} = \frac{0.336 + 0.5}{2} = 0.418$$

2.5.2 Erddruckkräfte

$$E_{a0gv,1} = E_{a0gh,1} \cdot \tan(\delta^\circ - \alpha^\circ) = 57.218 \cdot \tan(5^\circ - 0^\circ) = 5.006 \text{ kN/m}$$

$$E_{a0pv,1} = E_{a0ph,1} \cdot \tan(\delta^\circ - \alpha^\circ) = 7.732 \cdot \tan(5^\circ - 0^\circ) = 0.676 \text{ kN/m}$$

$$y_{a0g,1} = y_{a0p,1} = -(b_l + d_{VS}) = -(0.35 + 0.25) = -0.6 \text{ m}$$

$$E_{a0gv,2} = E_{a0gh,2} \cdot \tan(\delta^\circ - \alpha^\circ) = 10.181 \cdot \tan(5^\circ - 0^\circ) = 0.891 \text{ kN/m}$$

$$E_{a0pv,2} = E_{a0ph,2} \cdot \tan(\delta^\circ - \alpha^\circ) = 0.627 \cdot \tan(5^\circ - 0^\circ) = 0.055 \text{ kN/m}$$

$$y_{a0g,2} = y_{a0p,2} = -B = -3 \text{ m}$$

2.6 Resultierende

2.6.1 Beanspruchungen (Kräfte, Momente)

Momente (bezogen auf den vorderen Wandfußpunkt)

$$\begin{aligned} M_{G,1} &= G_{Wand} \cdot y_{Wand} + G_{Boden} \cdot y_{Boden} + E_{a0gv,1} \cdot y_{a0p,1} + E_{a0gv,2} \cdot y_{a0g,2} \\ &= 45.75 \cdot -0.926 + 182.639 \cdot -1.822 + 5.006 \cdot -0.6 + 0.891 \cdot -3 \\ &= -380.737 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{G,2} &= E_{a0gh,1} \cdot z_{Ha0g,1} + E_{a0gh,2} \cdot z_{Ha0g,2} \\
&= 57.218 \cdot 1.533 + 10.181 \cdot 0.148 = 89.243 \text{ kNm/m} \\
M_G &= M_{G,1} + M_{G,2} = -380.737 + 89.243 = -291.494 \text{ kNm/m} \\
M_Q &= P \cdot y_P + E_{a0ph,1} \cdot z_{Ha0p,1} + E_{a0ph,2} \cdot z_{Ha0p,2} + E_{a0pv,1} \cdot y_{a0g,1} + E_{a0pv,2} \cdot y_{a0p,2} \\
&= 12.046 \cdot -1.8 + 7.732 \cdot 2.15 + 0.627 \cdot 0.15 + 0.676 \cdot -0.6 + 0.055 \cdot -3 \\
&= -5.535 \text{ kNm/m} \\
H_{GQ} &= E_{a0gh,1} + E_{a0gh,2} + E_{a0ph,1} + E_{a0ph,2} = 57.218 + 10.181 + 7.732 + 0.627 \\
&= 75.759 \\
H_G &= E_{a0gh,1} + E_{a0gh,2} = 57.218 + 10.181 = 67.4 \\
V_G &= G_{Wand} + G_{Boden} + E_{a0gv,1} + E_{a0gv,2} = 45.75 + 182.639 + 5.006 + 0.891 \\
&= 234.286 \text{ kN/m} \\
e_G &= \frac{B}{2} + \frac{M_G}{V_G} = \frac{3}{2} + \frac{-291.494}{234.286} = 0.256 \text{ m} \\
V_{GQ} &= G_{Wand} + G_{Boden} + P + E_{a0gv,1} + E_{a0gv,2} + E_{a0pv,1} + E_{a0pv,2} \\
&= 45.75 + 182.639 + 12.046 + 5.006 + 0.891 + 0.676 + 0.055 \\
&= 247.063 \text{ kN/m} \\
e_{GQ} &= \frac{B}{2} + \frac{M_G + M_Q}{V_{GQ}} = \frac{3}{2} + \frac{-291.494 - 5.535}{247.063} = 0.298 \text{ m}
\end{aligned}$$

2.6.2 Sohlspannungsverteilung

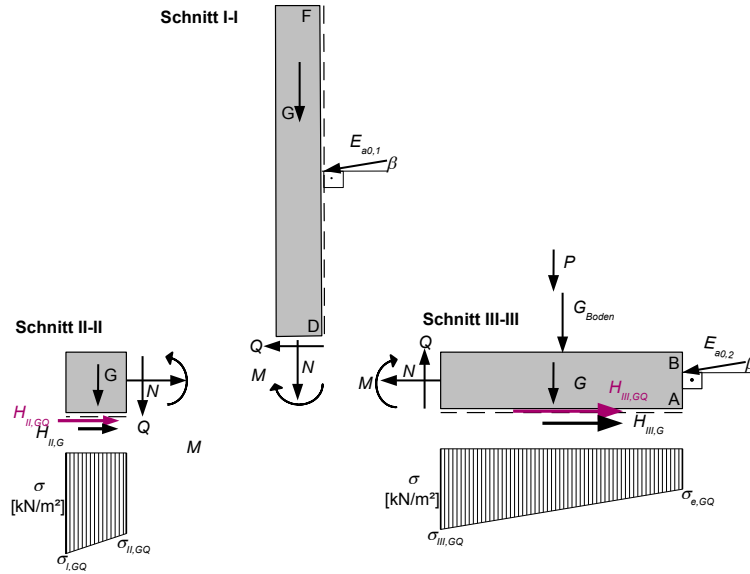
Die Belastung setzt sich aus ständigen und veränderlichen Einwirkungen zusammen. Eine getrennte Berechnung und anschließende Superposition ist nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich (z. B. keine klaffende Fuge, veränderliche Einwirkungen müssen Vertikalkomponenten enthalten). Es wird deshalb der physikalisch logische Ansatz gewählt, d. h. es erfolgt die Berechnung für die Lastfälle (G+Q) und den Lastfall (G). Zur Berechnung der Beanspruchungen im maßgebenden Schnitt muss die Differenz gebildet werden.

$$e_{GQ} < \frac{B}{6} \quad \text{Berechnung mit geschlossener Sohlfuge}$$

Infolge ständiger und veränderlicher Einwirkungen

$$\begin{aligned}
\sigma_{l,GQ} &= \frac{V_{GQ}}{B} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e_{GQ}}{B}\right) = \frac{247.063}{3} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 0.298}{3}\right) \\
&= 131.398 \text{ kN/m}^2 \text{ Randspannung luftseitig} \\
\sigma_{e,GQ} &= \frac{V_{GQ}}{B} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_{GQ}}{B}\right) = \frac{247.063}{3} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot 0.298}{3}\right) \\
&= 33.31 \text{ kN/m}^2 \text{ Randspannung erdseitig} \\
\sigma_{II,GQ} &= \sigma_{e,GQ} + \frac{(\sigma_{l,GQ} - \sigma_{e,GQ}) \cdot (B - b_l)}{B} = 33.31 + \frac{(131.398 - 33.31) \cdot (3 - 0.35)}{3} \\
&= 119.955 \text{ kN/m}^2 \\
\sigma_{III,GQ} &= \sigma_{e,GQ} + \frac{(\sigma_{l,GQ} - \sigma_{e,GQ}) \cdot b_e}{B} = 33.31 + \frac{(131.398 - 33.31) \cdot 2.4}{3} \\
&= 111.781 \text{ kN/m}^2 \\
k_{T,GQ} &= \frac{H_{GQ}}{V_{GQ}} = \frac{75.759}{247.063} = 0.307
\end{aligned}$$

$$= \frac{57.218 \cdot 3.7}{3} + \frac{7.732 \cdot 3.7}{2} - \frac{(5.006 + 0.676) \cdot 0.25}{2} = 84.164 \text{ kNm/m}$$



$$N_{I,G} = -d_{VS} \cdot h \cdot \gamma_B - E_{a0gv,1} = -0.25 \cdot 3.7 \cdot 25 - 5.006$$

$$= -28.131 \text{ kN/m}$$

$$Q_{I,G} = -E_{a0gh,1} = -57.218 \text{ kN/m}$$

$$M_{I,G} = \frac{E_{a0gh,1} \cdot h}{3} - \frac{E_{a0gv,1} \cdot d_{VS}}{2} = \frac{57.218 \cdot 3.7}{3} - \frac{5.006 \cdot 0.25}{2} = 69.944 \text{ kNm/m}$$

$$N_{I,Q} = N_{I,GQ} - N_{I,G} = -28.807 - -28.131 = -0.676 \text{ kN/m}$$

$$Q_{I,Q} = Q_{I,GQ} - Q_{I,G} = -64.951 - -57.218 = -7.732 \text{ kN/m}$$

$$M_{I,Q} = M_{I,GQ} - M_{I,G} = 84.164 - 69.944 = 14.22 \text{ kNm/m}$$

2.7.2 Schnitt II-II

Schnitt	N_G kN/m	Q_G kN/m	M_G kNm/m	N_Q kN/m	Q_Q kN/m	M_Q kNm/m
I-I	-28.131	-57.218	69.944	-0.676	-7.732	14.22
II-II	-11.531	37.457	4.924	-2.079	4.300	0.462
III-III	38.221	33.280	-68.386	4.359	6.241	-13.788