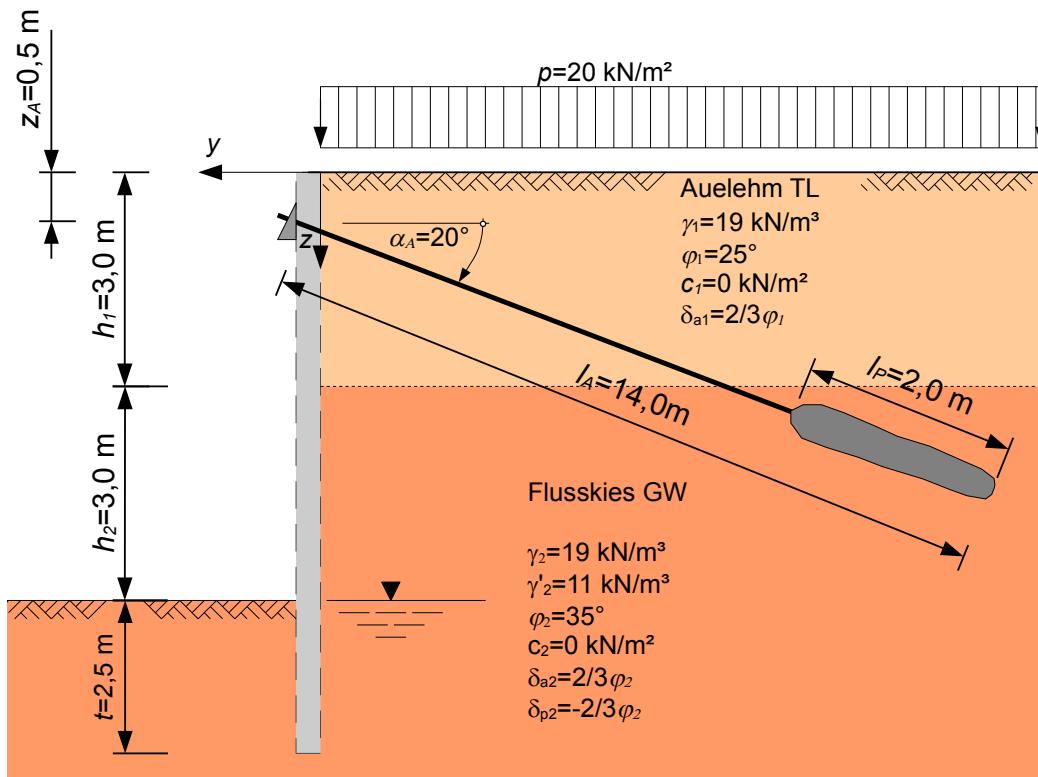


Frei aufgelagerte, einfach gestützte Spundwand

Ein Geländesprung wird durch eine Spundwand vorübergehend als Baugrubenverbau gesichert. Geometrie und Baugrundschichtung sind der nachfolgenden Skizze zu entnehmen. Als statisches System wird eine frei aufgelagerte, einfach verankerte Spundwand gewählt. Das Spundwandprofil ist ein Larssen 603 (Angaben des Herstellers: Eigenlast $m = 108,0 \text{ kg/m}^2$ bzw. $g = 1,06 \text{ kN/m}^2$, Querschnitssfläche $A_b = 138,3 \text{ cm}^2/\text{m}$, Beschichtungsfläche $A_s = 1,3 \text{ m}^2/\text{m}$, Breite $b = 600 \text{ mm}$, Höhe $h = 310 \text{ mm}$, Breite des Mittelabschnitts $b_m = 377 \text{ mm}$). Der Spitzenwiderstand der Drucksondierung liegt bei $q_c = 15 \text{ MN/m}^2$. Als Spitzenwiderstand der Spundbohlen darf $q_b = 1900 \text{ kN/m}^2$ angesetzt werden (Spitzenwiderstand von Fertigrammpfählen, Abminde rung für doppeltes Stahlträgerprofil). Es sind folgende Größen zu berechnen bzw. folgende Nachweise sind zu führen:

1. Nachweis des Erdwiderlagers
2. Berechnung des Bemessungswertes der Ankerkraft
3. Berechnung des max. Feldmoments (Bemessungswert)
4. Nachweis der Verträglichkeit der Erddruckneigung δ_p
5. Nachweis gegen Versinken von Bauteilen.



Eingangsgrößen, Bezeichner

Teilsicherheitsbeiwerte

Es handelt sich um eine Baugrube. Deshalb ist die BS-T nach DIN EN 1997-1 zugrunde zu legen.

$$\gamma_G = 1.2; \gamma_Q = 1.3; \gamma_{R,e} = 1.3$$

$$\gamma_b = 1.4 \quad \text{Pfahlwiderstand, Erfahrungswerte}$$

Geometrie

$$t = 2.5 \text{ m Einbindetiefe}$$

$$h_1 = 3 \text{ m Höhe Schicht 1}$$

$$h_2 = 3 \text{ m Höhe Schicht 2}$$

Spundwand

$$g_{spw} = 1.06 \text{ kN/m}^2 \text{ Eigengewicht der Spundwand}$$

$$A_{b,spw} = 138.3 \text{ cm}^2/\text{m Querschnittsfläche je lfd. m}$$

$$A_{s,spw} = 1.3 \text{ m}^2/\text{m Beschichtungsfläche einseitig je lfd. m}$$

$$b_{spw} = 600 \text{ mm Breite der Spundbohle}$$

$$b_{m,spw} = 377 \text{ mm Breite des mittleren Abschnitts der Spundbohle}$$

$$h_{spw} = 310 \text{ mm Höhe der Spundbohlen gemäß Datenblatt}$$

$$q_b = 1900 \text{ kN/m}^2 \text{ Spitzenwiderstand}$$

$$t_A = 0.5 \text{ m Tiefe der Anker unter GOF}$$

$$\kappa_x = 0.6 \text{ Faktor zur Berechnung der Lage des Erdauflagers (nichtbindige oder steife bindige Böden)}$$

$$\alpha_A = 20^\circ \text{ Ankerneigung}$$

Baugrund

$$\gamma_1 = 19 \text{ kN/m}^3 \text{ Wichte Auelehm}$$

$$c_1 = 0 \text{ kN/m}^2 \text{ Kohäsion Auelehm}$$

$$\varphi_1 = 25^\circ \text{ Reibungswinkel Auelehm}$$

$$\delta_{a1} = \frac{\varphi_1 \cdot 2}{3} = \frac{25 \cdot 2}{3} \\ = 16.667^\circ \text{ Erddruckneigungswinkel aktiv, Auelehm}$$

$$\gamma_2 = 19 \text{ kN/m}^3 \text{ Wichte Flusskies}$$

$$\gamma'_2 = 11 \text{ kN/m}^3 \text{ Wichte unter Auftrieb Flusskies}$$

$$c_2 = 0 \text{ kN/m}^2 \text{ Kohäsion Flusskies}$$

$$\varphi_2 = 35^\circ \text{ Reibungswinkel Flusskies}$$

$$\delta_{a2} = \frac{2}{3} \cdot \varphi_2 = \frac{2}{3} \cdot 35 \\ = 23.333^\circ \text{ Erddruckneigungswinkel Flusskies aktive Seite}$$

$$\delta_{p2} = -\frac{2}{3} \cdot \varphi_2 = -\frac{2}{3} \cdot 35 \\ = -23.333^\circ \text{ Erddruckneigungswinkel passiv, Flusskies}$$

$$q_c = 15 \text{ MN/m}^2 \text{ Spitzendruck der Drucksondierung im Flusskies}$$

$$p = 20 \text{ kN/m}^2 \text{ Verkehrslast}$$

$$p_G = 10 \text{ kN/m}^2 \text{ ständig wirkender Teil der Verkehrslast}$$

1 Nachweis Erdwiderlager

1.1 Einwirkungen - aktiver Erddruck

$$\begin{aligned} K_{agh1} &= Kagh [\alpha^\circ; \beta_H^\circ; \delta_{a1}^\circ; \varphi_1^\circ] = Kagh [0^\circ; 0^\circ; 16.667^\circ; 25^\circ] \\ &= 0.346 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{agh2} &= Kagh [\alpha^\circ; \beta_H^\circ; \delta_{a2}^\circ; \varphi_2^\circ] = Kagh [0^\circ; 0^\circ; 23.333^\circ; 35^\circ] \\ &= 0.224 \end{aligned}$$

ständige Einwirkungen

$$e_{agh1o} = p_G \cdot K_{agh1} = 10 \cdot 0.346$$

= 3.457 kN/m² Erddruck Schicht 1 oben

$$\begin{aligned} e_{agh1u} &= e_{agh1o} + h_1 \cdot K_{agh1} \cdot \gamma_1 = 3.457 + 3 \cdot 0.346 \cdot 19 \\ &= 23.159 \text{ kN/m}^2 \text{ Erddruck an der Unterkante der Schicht 1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{agh2o} &= e_{agh1u} \cdot \frac{K_{agh2}}{K_{agh1}} = 23.159 \cdot \frac{0.224}{0.346} \\ &= 15.036 \text{ kN/m}^2 \text{ Erddruck an der Oberkante der Schicht 2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{agh2u} &= e_{agh2o} + h_2 \cdot K_{agh2} \cdot \gamma_2 = 15.036 + 3 \cdot 0.224 \cdot 19 \\ &= 27.828 \text{ kN/m}^2 \text{ Erddruck Höhe Baugrubensohle} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{agh2B} &= e_{agh2u} + \kappa_x \cdot t \cdot K_{agh2} \cdot \gamma'_2 = 27.828 + 0.6 \cdot 2.5 \cdot 0.224 \cdot 11 \\ &= 31.531 \text{ kN/m}^2 \text{ Erddruck Widerlager} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{agh2t} &= e_{agh2u} + t \cdot K_{agh2} \cdot \gamma'_2 = 27.828 + 2.5 \cdot 0.224 \cdot 11 \\ &= 34 \text{ kN/m}^2 \text{ Erddruck Unterkante Spundwand} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{agh1} &= \frac{(e_{agh1o} + e_{agh1u}) \cdot h_1}{2} = \frac{(3.457 + 23.159) \cdot 3}{2} \\ &= 39.923 \text{ kN/m Erddruckkraft aus Schicht 1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{agh2} &= \frac{(e_{agh2o} + e_{agh2u}) \cdot h_2}{2} = \frac{(15.036 + 27.828) \cdot 3}{2} \\ &= 64.297 \text{ kN/m Erddruckkraft, Schicht 2 bis zur Baugrubensohle} \end{aligned}$$

$$z_{agh} = \frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{3 + 3}{2} = 3 \text{ m}$$

$$E_{agh} = E_{agh1} + E_{agh2} = 39.923 + 64.297 = 104.219 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} e_{agh} &= \frac{E_{agh}}{h} = \frac{104.219}{6} \\ &= 17.37 \text{ kN/m}^2 \text{ umgelagerter Erddruck bis zur Baugrubensohle} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{aghS} &= \frac{(e_{agh2u} + e_{agh2t}) \cdot t}{2} = \frac{(27.828 + 34) \cdot 2.5}{2} \\ &= 77.285 \text{ kN/m Erddruckkraft unterhalb der Baugrubensohle} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_{aghS} &= \frac{e_{agh2u} + 2 \cdot e_{agh2t}}{3 \cdot (e_{agh2u} + e_{agh2t})} \cdot t + h = \frac{27.828 + 2 \cdot 34}{3 \cdot (27.828 + 34)} \cdot 2.5 + 6 \\ &= 7.292 \text{ m Schwerpunkt der Erddruckkraft unterhalb der Baugrubensohle} \end{aligned}$$

veränderliche Einwirkungen

$$e_{aph1} = p_Q \cdot K_{agh1} = 10 \cdot 0.346$$

= 3.457 kN/m² Erddruck Schicht 1, veränderliche Verkehrslast

$$\begin{aligned} E_{aph1} &= e_{aph1} \cdot h_1 = 3.457 \cdot 3 \\ &= 10.37 \text{ kN/m Erddruck veränderlich} \end{aligned}$$

$$e_{aph2} = p_Q \cdot K_{agh2} = 10 \cdot 0.224$$

= 2.244 kN/m² Erddruck Schicht 2, veränderliche Verkehrslast

$$\begin{aligned}
E_{aph2} &= e_{aph2} \cdot h_2 = 2.244 \cdot 3 \\
&= 6.733 \text{ kN/m Erddruck veränderlich} \\
E_{aph} &= E_{aph1} + E_{aph2} = 10.37 + 6.733 \\
&= 17.102 \text{ kN/m Erddruck veränderlich} \\
e_{aph} &= \frac{E_{aph}}{h_1 + h_2} = \frac{17.102}{3 + 3} \\
&= 2.85 \text{ kN/m}^2 \text{ umgelagerter Erddruck, veränderlich} \\
z_{aph} &= \frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{3 + 3}{2} = 3 \text{ m} \\
E_{aphS} &= e_{aph2} \cdot t = 2.244 \cdot 2.5 \\
&= 5.611 \text{ kN/m Erddruckkraft, veränderliche Verkehrslast, unterhalb Sohle} \\
z_{aphS} &= h_1 + h_2 + \frac{t}{2} = 3 + 3 + \frac{2.5}{2} \\
&= 7.25 \text{ m Angriffspunkt unterhalb Spundwandkopf}
\end{aligned}$$

Vertikalkräfte

$$\begin{aligned}
E_{avG} &= E_{agh1} \cdot \tan(\delta_{a1}^\circ + \alpha^\circ) + (E_{agh2} + E_{aghS}) \cdot \tan(\delta_{a2}^\circ + \alpha^\circ) \\
&= 39.923 \cdot \tan(16.667^\circ + 0^\circ) + (64.297 + 77.285) \cdot \tan(23.333^\circ + 0^\circ) \\
&= 73.024 \text{ kN/m Erddruckkraft ständigen Einwirkungen, vertikal} \\
E_{avQ} &= E_{aph1} \cdot \tan(\delta_{a1}^\circ + \alpha^\circ) + E_{aph2} \cdot \tan(\delta_{a2}^\circ + \alpha^\circ) \\
&= 10.37 \cdot \tan(16.667^\circ + 0^\circ) + 6.733 \cdot \tan(23.333^\circ + 0^\circ) \\
&= 6.009 \text{ kN/m Erddruckkraft veränderliche Einwirkungen, vertikal} \\
E_{av,k} &= E_{avG} + E_{avQ} = 73.024 + 6.009 = 79.033 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

1.2 charakteristische Beanspruchungen

$$\begin{aligned}
t_x &= t \cdot \kappa_x = 2.5 \cdot 0.6 \\
&= 1.5 \text{ m rechnerische Tiefe des Erdauflagers} \\
B_{Qh,k} &= \frac{E_{aphS} \cdot (z_{aphS} - t_A) + E_{aph} \cdot (z_{aph} - t_A)}{h - t_A + t_x} = \frac{5.611 \cdot (7.25 - 0.5) + 17.102 \cdot (3 - 0.5)}{6 - 0.5 + 1.5} \\
&= 11.518 \text{ kN/m Auflagerkraft infolge veränderlicher Lasten} \\
B_{Gh,k} &= \frac{E_{agh} \cdot (z_{agh} - t_A) + E_{aghS} \cdot (z_{aghS} - t_A)}{h - t_A + t_x} = \frac{104.219 \cdot (3 - 0.5) + 77.285 \cdot (7.292 - 0.5)}{6 - 0.5 + 1.5} \\
&= 112.205 \text{ kN/m Auflagerkraft infolge ständiger Lasten} \\
B_{Qv,k} &= |B_{Qh,k} \cdot \tan \delta_{p2}^\circ| = |11.518 \cdot \tan -23.333^\circ| \\
&= 4.968 \text{ kN/m vertikale Auflagerkraft infolge veränderlicher Belastung} \\
B_{Gv,k} &= |B_{Gh,k} \cdot \tan \delta_{p2}^\circ| = |112.205 \cdot \tan -23.333^\circ| \\
&= 48.401 \text{ kN/m vertikale Auflagerkraft infolge ständiger Belastung}
\end{aligned}$$

1.3 Widerstand

$$\begin{aligned}
K_{pgbh2} &= K_{pghP} [\alpha^\circ; \beta_S^\circ; \delta_{p2}^\circ; \varphi_2^\circ] = K_{pghP} [0^\circ; 0^\circ; -23.333^\circ; 35^\circ] \\
&= 7.262 \quad \text{Erddruckbeiwert nach Sokolovski/Pregl} \\
E_{ph} &= \frac{\gamma'_2 \cdot K_{pgbh2} \cdot t^2}{2} = \frac{11 \cdot 7.262 \cdot 2.5^2}{2} \\
&= 249.641 \text{ kN/m passive Erddruckkraft}
\end{aligned}$$

1.4 Nachweis

$$\begin{aligned}
B_{H,d} &= B_{Qh,k} \cdot \gamma_Q + B_{Gh,k} \cdot \gamma_G = 11.518 \cdot 1.3 + 112.205 \cdot 1.2 \\
&= 149.619 \text{ kN/m Bemessungswert der Beanspruchung}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E_{ph,d} &= \frac{E_{ph}}{\gamma_{R,e}} = \frac{249.641}{1.3} \\
&= 192.031 \text{ kN/m Bemessungswert des widerstehenden Erddrucks} \\
\mu &= \frac{B_{H,d}}{E_{ph,d}} = \frac{149.619}{192.031} = 0.779 \quad \text{Ausnutzungsgrad}
\end{aligned}$$

2 Ankerkräfte

Aus Summe der Horizontalkräfte gleich Null folgt die Größe der horizontalen Ankerkraft.

$$\begin{aligned}
A_{Qh,k} &= E_{aph} + E_{aphS} - B_{Qh,k} = 17.102 + 5.611 - 11.518 \\
&= 11.195 \text{ kN/m veränderlicher Anteil} \\
A_{Gh,k} &= E_{agh} + E_{aghS} - B_{Gh,k} = 104.219 + 77.285 - 112.205 \\
&= 69.299 \text{ kN/m ständig wirkender Anteil} \\
A_{Qv,k} &= A_{Qh,k} \cdot \tan \alpha_A^\circ = 11.195 \cdot \tan 20^\circ \\
&= 4.075 \text{ kN/m vertikale Auflagerkraft infolge veränderlicher Lasten} \\
A_{Gv,k} &= A_{Gh,k} \cdot \tan \alpha_A^\circ = 69.299 \cdot \tan 20^\circ \\
&= 25.223 \text{ kN/m vertikale Auflagerkraft infolge ständiger Lasten} \\
A_{G,k} &= \sqrt{A_{Gh,k}^2 + A_{Gv,k}^2} = \sqrt{69.299^2 + 25.223^2} \\
&= 73.746 \text{ kN/m ständig wirkender Anteil} \\
A_{Q,k} &= \sqrt{A_{Qh,k}^2 + A_{Qv,k}^2} = \sqrt{11.195^2 + 4.075^2} \\
&= 11.913 \text{ kN/m veränderlicher Anteil} \\
A_d &= A_{G,k} \cdot \gamma_G + A_{Q,k} \cdot \gamma_Q = 73.746 \cdot 1.2 + 11.913 \cdot 1.3 \\
&= 103.983 \text{ kN/m Bemessungswert der Ankerkraft} \\
A_{v,k} &= A_{Gv,k} + A_{Qv,k} = 25.223 + 4.075 = 29.297
\end{aligned}$$

3 Schnittkräfte

$$\begin{aligned}
Q_{1Q,k} &= -e_{aph1} \cdot t_A = -3.457 \cdot 0.5 \\
&= -1.728 \text{ kN/m Querkraft infolge veränderlicher Last } z = t_A \\
Q_{1G,k} &= -e_{agh} \cdot t_A = -17.37 \cdot 0.5 \\
&= -8.685 \text{ kN/m Querkraft infolge ständiger Last } z = t_{AO} \\
z_{q0} &= \frac{A_{Gh,k} \cdot \gamma_G + A_{Qh,k} \cdot \gamma_Q}{e_{agh} \cdot \gamma_G + e_{aph} \cdot \gamma_Q} = \frac{69.299 \cdot 1.2 + 11.195 \cdot 1.3}{17.37 \cdot 1.2 + 2.85 \cdot 1.3} \\
&= 3.98 \text{ m Querkraftnullstelle} \\
M &= \frac{(e_{agh} \cdot \gamma_G + e_{aph} \cdot \gamma_Q) \cdot z_{q0}^2}{2} - (A_{Gh,k} \cdot \gamma_G + A_{Qh,k} \cdot \gamma_Q) \cdot (z_{q0} - t_A) \\
&= \frac{(17.37 \cdot 1.2 + 2.85 \cdot 1.3) \cdot 3.98^2}{2} - (69.299 \cdot 1.2 + 11.195 \cdot 1.3) \cdot (3.98 - 0.5) \\
&= -145.602 \text{ kNm/m Bemessungswert des Feldmoments}
\end{aligned}$$

4 Verträglichkeit der Erddruckneigung δ_p

$$\begin{aligned}
\Sigma V_{dw,k} &= g_{spw} \cdot (h + t) + A_{v,k} + E_{av,k} = 1.06 \cdot (6 + 2.5) + 29.297 + 79.033 \\
&= 117.34 \text{ kN/m abwärts gerichtet (downward)} \\
\Sigma V_{uw,k} &= B_{Gv,k} + B_{Qv,k} = 48.401 + 4.968 \\
&= 53.369 \text{ kN/m aufwärts gerichtet (upward)} \\
\mu &= \frac{\Sigma V_{uw,k}}{\Sigma V_{dw,k}} = \frac{53.369}{117.34} = 0.455 \quad \text{Nachweis erfüllt}
\end{aligned}$$

5 Nachweis gegen Versinken

5.1 Beanspruchung

$$\begin{aligned}\Sigma V_{dw,d} &= (g_{spw} \cdot (h + t) + A_{Gv,k} + E_{avG}) \cdot \gamma_G + (A_{Qv,k} + E_{avQ}) \cdot \gamma_Q \\ &= (1.06 \cdot (6 + 2.5) + 25.223 + 73.024) \cdot 1.2 + (4.075 + 6.009) \cdot 1.3 \\ &= 141.817 \text{ kN/m abwärts gerichtet (downward)}\end{aligned}$$

5.2 Widerstand Ersatzfläche - früheres Vorgehen

$$\begin{aligned}\alpha_{spw} &= \arctan \left(\frac{h_{spw}}{b_{spw} - b_{m,spw}} \right)^{\text{deg}} = \arctan \left(\frac{310}{600 - 377} \right)^{\text{deg}} \\ &= 54.27^\circ \text{ Neigungswinkel Spunbohle} \\ \alpha &= 55^\circ \\ \kappa &= 0.475 \quad \text{Abminderungsfaktor} \\ A_b &= \frac{\kappa \cdot h_{spw}}{1000} = \frac{0.475 \cdot 310}{1000} = 0.147 \text{ m}^2/\text{m} \\ R_{b,k} &= A_b \cdot q_b = 0.147 \cdot 1900 = 279.775 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

5.3 Widerstand Ersatzfläche - neues Vorgehen

$$\begin{aligned}A_{b,2} &= A_{b,spw} = 138.3 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ siehe Spundwandhanbuch} \\ q_{bk,2} &= 15000 \text{ kN/m}^2 \text{ Spitzenwiderstand} \\ R_{b,k2} &= \frac{A_{b,2}}{10000} \cdot q_{bk,2} = \frac{138.3}{10000} \cdot 15000 = 207.45 \\ q_{s,k2} &= 40 \text{ kN/m}^2 \text{ Mantelwiderstand} \\ R_{s,k2} &= t \cdot A_{s,spw} \cdot q_{s,k2} = 2.5 \cdot 1.3 \cdot 40 = 130 \text{ kN/m} \\ R_{k2} &= R_{b,k2} + R_{s,k2} = 207.45 + 130 = 337.45\end{aligned}$$

5.4 Nachweis

$$\begin{aligned}R_{b,d} &= \frac{R_{b,k}}{\gamma_b} = \frac{279.775}{1.4} \\ &= 199.839 \text{ kN/m Bemessungswert des Fußwiderstands 1} \\ \mu &= \frac{\Sigma V_{dw,d}}{R_{b,d}} = \frac{141.817}{199.839} = 0.71 \text{ Nahweis erfüllt} \\ R_{d2} &= \frac{R_{k2}}{\gamma_b} = \frac{337.45}{1.4} \\ &= 241.036 \text{ kN/m Bemessungswert des Fußwiderstands 2} \\ \mu &= \frac{\Sigma V_{dw,d}}{R_{d2}} = \frac{141.817}{241.036} = 0.588 \text{ Nahweis erfüllt}\end{aligned}$$