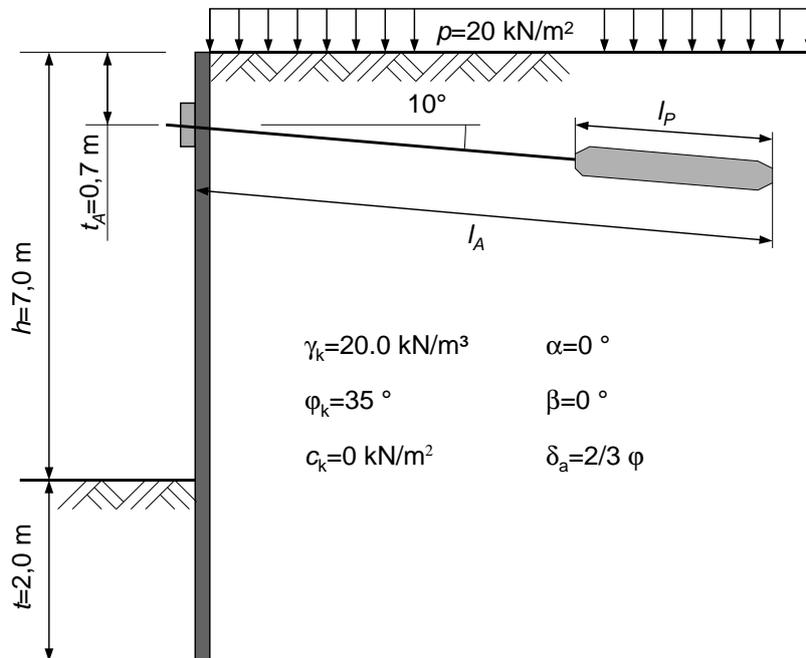


Frei aufgelagerte, einfach gestützte Trägerbohlwand

Für die Sicherung einer Baugrube ist die Herstellung einer Trägerbohlwand geplant. Als statisches System wird eine einfach verankerte, frei aufgelagerte Trägerbohlwand untersucht. Im Rahmen der Vorbemessung müssen Einbindetiefe t , Trägerabstand a_t und Trägerbreite b_t zunächst gewählt werden.



Aufgabenstellung:

1. Nachweis des Erdauflegers
2. Nachweis der Aufnahme Horizontalkräfte
3. Nachweis der Vertikalkräfte

Eingangsgrößen, Bezeichner

Bodenkennwerte, Belastung

$$\begin{aligned} \varphi &= 35^\circ \\ \gamma &= 20 \text{ kN/m}^3 \\ c &= 0 \text{ kN/m}^2 \\ \delta_a &= \frac{2}{3} \cdot \varphi = \frac{2}{3} \cdot 35 = 23.333^\circ \\ \delta_p &= -27.5^\circ \text{ weil Reibungswinkel} \geq 30^\circ \\ p &= 20 \text{ kN/m}^2 \text{ Oberflächenbelastung} \\ p_G &= 10 \text{ kN/m}^2 \text{ Anteil der ständig wirkenden Last} \\ p_Q &= p - p_G = 20 - 10 \\ &= 10 \text{ kN/m}^2 \text{ veränderlicher Anteil der Oberflächenlast} \end{aligned}$$

Geometrie

$$\begin{aligned} h &= 7 \text{ m} \\ t_A &= 0.7 \text{ m Ankerangriffspunkt} \\ \alpha_A &= 10^\circ \text{ Ankerneigung} \\ a_t &= 2.5 \text{ m Trägerabstand} \\ t &= 2 \text{ m Einbindetiefe} \end{aligned}$$

$$b_t = D_s = 0.4 \text{ m Trägerbreite, hier Durchmesser der ausbetonierten Bohrung}$$

$$g_{IPB} = 0.93 \text{ kN/m Eigengewicht des Trägers}$$

Teilsicherheitsbeiwerte

$$\gamma_G = 1.2 \quad \text{Teilsicherheitsbeiwert ständige Beanspruchungen BS-T}$$

$$\gamma_Q = 1.3 \quad \text{Teilsicherheitsbeiwert veränderliche Beanspruchungen BS-T}$$

$$\gamma_{R,e} = 1.3 \quad \text{Teilsicherheitsbeiwerte Widerstand BS-T}$$

Beiwerte für die Berechnung

$$K'_{pgh} = 7.12 \quad \text{Erddruckbeiwert nach Streck, Tab. 5.10, S. 160, Zeile 1}$$

$$K'_{pgh2} = 7.12 \quad \text{Erddruckbeiwert nach Streck für } \delta_p = -27.5^\circ$$

$$K'_{pgh3} = 3.69 \quad \text{Erddruckbeiwert nach Streck für } \delta_p = 0^\circ$$

f : Korrekturbeiwerte, Tiefenlage der Resultierenden, siehe Tabelle 5.11

$$f_1 = 0.9$$

$$f_2 = 1$$

$$\kappa = 0.6 \quad \text{Lage des Erdwiderlagers unterhalb Sohle}$$

Beiwert η : Begrenzung der Verschiebungen Erdwiderlager (DIN EN 1997-1, EAB EB14)

$$\eta = \eta_{R,e} = 1$$

$$f_d = 1 \quad \text{Abminderungsfaktor bei dichter Lagerung (Seite 166)}$$

$$q_{b,k} = 105000 \text{ kN/m}^2 \text{ Fußwiderstand unterhalb der Baugrube}$$

$$q_{s,k} = 3000 \text{ kN/m}^2 \text{ Mantelwiderstand unterhalb der Baugrube}$$

1 Ermittlung des belastenden Erddrucks oberhalb der Baugrubensohle

$$K_{agh} = K_{aph} = K_{agh} [0^\circ; 0^\circ; \delta_a^\circ; \varphi^\circ] = K_{agh} [0^\circ; 0^\circ; 23.333^\circ; 35^\circ]$$

$$= 0.224$$

a) klassische Verteilung, bis zur Sohle

$$e_{agh1} = p_G \cdot K_{aph} = 10 \cdot 0.224 = 2.244 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{agh2} = e_{agh1} + \gamma \cdot h \cdot K_{agh} = 2.244 + 20 \cdot 7 \cdot 0.224 = 33.663 \text{ kN/m}^2$$

$$e_{aph,k} = p_Q \cdot K_{aph} = 10 \cdot 0.224 = 2.244 \text{ kN/m}^2$$

b) Erddruckumlagerung, (siehe Bild 5.35)

Voraussetzungen:

1. Geländeoberfläche waagrecht
2. mitteldicht oder dicht gelagerter nichtbindiger oder mindestens steifer bindiger Boden
3. wenig nachgiebige Stützung (Steifen kraftschlüssig verkeilt, Verpressanker geprüft und auf 80% vorgespannt, kraftschlüssige Verbindung mit Ramm-, Bohr- oder Verpresspfählen, die unter Belastung nur geringe Kopfbewegung erleiden)

$$e_{agh,k} = \frac{e_{agh1} + e_{agh2}}{2} = \frac{2.244 + 33.663}{2} = 17.954 \text{ kN/m}^2$$

$$E_{agh,k} = e_{agh,k} \cdot h = 17.954 \cdot 7 = 125.676 \text{ kN/m}$$

$$E_{aph,k} = e_{aph,k} \cdot h = 2.244 \cdot 7 = 15.709 \text{ kN/m}$$

2 Berechnung des passiven Erddrucks (Widerstand)

Bei ausreichend großem Abstand und/oder geringer Einbindetiefe der Bohlträger bildet sich der räumliche passive Erddruck (Erddruckwiderstand) aus. Bei geringem Abstand und/oder größerer Einbindetiefe kann es zur Überschneidung der Einflusszonen kommen (Gruppenwirkung). Für beide Fälle ist E_P zu berechnen. Der kleinere Wert ist maßgebend.

2.1 Fall 1: passiver Erddruck vor dem einzelnen Träger (räumlicher Erddruckwiderstand nach Weißenbach)

$$E_{pgh1} = \left(\gamma \cdot K'_{pgh'} \cdot \frac{t^2}{2} \cdot (b' + b_{SR}) + c \cdot K'_{pch} \cdot t_{0,1} \cdot A \cdot (b' + b_{S,K}) \right) \cdot F$$

K'_{pgh} : Erddruckbeiwerte nach Streck

$$\varphi < 30^\circ; \delta_p = -(\varphi - 2.5^\circ)$$

$$\varphi \geq 30^\circ; \delta_p = -27.5^\circ$$

$$b_{kr} = 0.3 \cdot t = 0.3 \cdot 2$$

$$= 0.6 \text{ m kritische Trägerbreite (Druckwandbreite)}$$

$$b' = \begin{cases} b_{kr} & : b_t < b_{kr} \\ b_t & : sonst \end{cases} = \begin{cases} 0.6 & : 0.4 < 0.6 \\ 0.4 & : sonst \end{cases} = 0.6 \text{ m maßgebende Breite}$$

$$F = \sqrt{\frac{b_t}{b'}} = \sqrt{\frac{0.4}{0.6}}$$

$$= 0.816 \quad F: \text{Beiwert zur Berücksichtigung der Trägerbreite siehe S. 161}$$

$$b_{sr} = 0.6 \cdot t \cdot \tan \varphi^\circ = 0.6 \cdot 2 \cdot \tan 35^\circ$$

$$= 0.84 \text{ m Ersatzbreite für den Reibungsanteil}$$

$$E_{ph1} = f_1 \cdot \gamma \cdot K'_{pgh} \cdot \frac{t^2}{2} \cdot (b' + b_{sr}) \cdot F$$

$$= 0.9 \cdot 20 \cdot 7.12 \cdot \frac{2^2}{2} \cdot (0.6 + 0.84) \cdot 0.816 = 301.422 \text{ kN/Träger}$$

2.2 Fall 2: räumlicher passiver Erddruck auf gedachte durchgehende Wand

Ansatz des ideellen Erddruckwiderstands nach Weißenbach

$$E_{ph2} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_2 \cdot t^2 \cdot \left(K'_{pgh2} \cdot b_t + K'_{pgh3} \cdot (a_t - b_t) \right) + c \cdot t \cdot K'_{pch2} \cdot a_t$$

$$E_{ph2,k} = f_2 \cdot \gamma \cdot \frac{t^2}{2} \cdot \left(K'_{pgh2} \cdot b_t + K'_{pgh3} \cdot (a_t - b_t) \right)$$

$$= 1 \cdot 20 \cdot \frac{2^2}{2} \cdot (7.12 \cdot 0.4 + 3.69 \cdot (2.5 - 0.4)) = 423.88 \text{ kN/Träger}$$

Fall 1 maßgebend

2.3 Fall 3: ebener passiver Erddruck auf durchgehende Wand

$$\delta_{p3} = -\varphi = -35^\circ$$

$$K_{pgh} = K_{pghP} [0^\circ; 0^\circ; \delta_{p3}^\circ; \varphi^\circ] = K_{pghP} [0^\circ; 0^\circ; -35^\circ; 35^\circ]$$

$$= 9.027 \quad \text{Erddruckbeiwert Sokolovski/Pregl}$$

$$E_{ph3} = \gamma \cdot K_{pgh} \cdot \frac{t^2}{2} = 20 \cdot 9.027 \cdot \frac{2^2}{2} = 361.092 \text{ kN/m}$$

3 Nachweis des Erdwiderlagers

3.1 Charakteristische Beanspruchung

Lage der Stützkraft unterhalb der Sohle, Träger auf zwei Stützen

$$\begin{aligned}
 l_1 &= h - t_A + \kappa \cdot t = 7 - 0.7 + 0.6 \cdot 2 \\
 &= 7.5 \text{ m Abstand Erdwiderlager zum Anker} \\
 A_{Gh,k} &= \frac{e_{agh,k} \cdot h \cdot \left(\frac{h}{2} + \kappa \cdot t\right)}{l_1} = \frac{17.954 \cdot 7 \cdot \left(\frac{7}{2} + 0.6 \cdot 2\right)}{7.5} \\
 &= 78.757 \text{ kN/m Ankerkraft aus Summe } M \text{ um Erdwiderlager} \\
 B_{Gh,k} &= \frac{e_{agh,k} \cdot h \cdot \left(\frac{h}{2} - t_A\right)}{l_1} = \frac{17.954 \cdot 7 \cdot \left(\frac{7}{2} - 0.7\right)}{7.5} = 46.919 \text{ kN/m} \\
 A_{Qh,k} &= \frac{e_{aph,k} \cdot h \cdot \left(\frac{h}{2} + \kappa \cdot t\right)}{l_1} = \frac{2.244 \cdot 7 \cdot \left(\frac{7}{2} + 0.6 \cdot 2\right)}{7.5} \\
 &= 9.845 \text{ kN/m Ankerkraft aus Summe } M \text{ um Erdwiderlager} \\
 B_{Qh,k} &= \frac{e_{aph,k} \cdot h \cdot \left(\frac{h}{2} - t_A\right)}{l_1} = \frac{2.244 \cdot 7 \cdot \left(\frac{7}{2} - 0.7\right)}{7.5} = 5.865 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

3.2 Charakteristischer Widerstand

$$E_{ph,k} = E_{ph1} = 301.422 \text{ kN/Träger}$$

3.3 Nachweise

3.3.1 Widerlager

$$\begin{aligned}
 B_{h,d} &= \gamma_G \cdot B_{Gh,k} + \gamma_Q \cdot B_{Qh,k} = 1.2 \cdot 46.919 + 1.3 \cdot 5.865 \\
 &= 63.927 \text{ kN/m} \\
 E_{ph,d} &= \frac{E_{ph,k} \cdot \eta_{R,e}}{\gamma_{R,e}} = \frac{301.422 \cdot 1}{1.3} = 231.863 \text{ kN/Träger} \\
 \mu &= \frac{B_{h,d} \cdot a_t}{E_{ph,d}} = \frac{63.927 \cdot 2.5}{231.863} = 0.689 \quad \text{Ausnutzungsgrad}
 \end{aligned}$$

3.3.2 Nachweis der Horizontalkräfte unter der Baugrubensohle

Es ist nachzuweisen, dass die vernachlässigte Belastung auf eine virtuelle durchgehende Wand vom passiven Erddruck (ebener Fall) unterhalb der Baugrubensohle aufgenommen werden kann. Eine ausreichende Sicherheit ist nachgewiesen, wenn folgende Grenzzustandsbedingung erfüllt ist:

$$B_{h,d} + \Delta E_{ah,d} \leq E_{ph3,d}$$

$\Delta E_{ah,d}$: vernachlässigter Erddruck unter der Baugrubensohle

$$\begin{aligned}
 E'_{agh} &= \left(\frac{(h+t)^2}{2} \cdot \gamma + p_G \cdot (h+t) \right) \cdot K_{agh} = \left(\frac{(7+2)^2}{2} \cdot 20 + 10 \cdot (7+2) \right) \cdot 0.224 \\
 &= 201.979 \text{ kN/m Erddruckkraft bis Unterkante Träger} \\
 E'_{aqh} &= p_Q \cdot K_{agh} \cdot (h+t) = 10 \cdot 0.224 \cdot (7+2) = 20.198 \text{ kN/m} \\
 \Delta E_{agh} &= E'_{agh} - E_{agh,k} = 201.979 - 125.676 \\
 &= 76.303 \text{ kN/m bisher nicht berücksichtigt} \\
 \Delta E_{aph} &= E'_{aqh} - E_{aph,k} = 20.198 - 15.709 = 4.488 \text{ kN/m} \\
 B_{h,d,2} &= \gamma_G \cdot B_{Gh,k} + \gamma_Q \cdot B_{Qh,k} + \Delta E_{agh} \cdot \gamma_G + \Delta E_{aph} \cdot \gamma_Q \\
 &= 1.2 \cdot 46.919 + 1.3 \cdot 5.865 + 76.303 \cdot 1.2 + 4.488 \cdot 1.3 \\
 &= 161.326 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$E_{ph,d}$ Bemessungswert, passive horizontale Erddruckkraft auf durchgehende Wand, $\delta_p = -\varphi$.

$$E_{ph,d,3} = \frac{E_{ph3}}{\gamma_{R,e}} = \frac{361.092}{1.3} = 277.763 \text{ kN/m}$$

$$\mu_3 = \frac{B_{h,d,2}}{E_{ph,d,3}} = \frac{161.326}{277.763} = 0.581 \quad \text{Ausnutzungsgrad}$$

4 Nachweis Aufnahme der Vertikalkräfte

4.1 Vertikalkomponente des mobilisierten passiven Erddrucks

$$\begin{aligned} \Sigma V_{k,u} &= (B_{Gh,k} + B_{Qh,k}) \cdot \tan(-\delta_p^\circ) = (46.919 + 5.865) \cdot \tan(- - 27.5^\circ) \\ &= 27.477 \text{ kN/m nach oben gerichtet} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma V_{k,d} &= (E_{agh,k} + E_{aph,k}) \cdot \tan \delta_a^\circ + (A_{Gh,k} + A_{Qh,k}) \cdot \tan \alpha_A^\circ + \frac{g_{IPB} \cdot (h + t)}{a_t} \\ &= (125.676 + 15.709) \cdot \tan 23.333^\circ + (78.757 + 9.845) \cdot \tan 10^\circ + \frac{0.93 \cdot (7 + 2)}{2.5} \\ &= 79.958 \text{ kN/m nach unten gerichtet} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{V1} &= \frac{\Sigma V_{k,u}}{\Sigma V_{k,d}} = \frac{27.477}{79.958} \\ &= 0.344 \quad \text{Nachweis erfüllt für ungünstigste Annahmen!} \end{aligned}$$

4.2 Nachweis der Abtragung der Vertikalkräfte

Bemessungswert der nach unten gerichteten Beanspruchung

$$\begin{aligned} E_{av,d} &= (E_{agh,k} \cdot \gamma_G + E_{aph,k} \cdot \gamma_Q) \cdot \tan \delta_a^\circ \\ &= (125.676 \cdot 1.2 + 15.709 \cdot 1.3) \cdot \tan 23.333^\circ = 73.863 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v,d} &= (A_{Gh,k} \cdot \gamma_G + A_{Qh,k} \cdot \gamma_Q) \cdot \tan \alpha_A^\circ \\ &= (78.757 \cdot 1.2 + 9.845 \cdot 1.3) \cdot \tan 10^\circ = 18.921 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$G_{v,d} = \frac{g_{IPB} \cdot \gamma_G \cdot (h + t)}{a_t} = \frac{0.93 \cdot 1.2 \cdot (7 + 2)}{2.5} = 4.018 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma V_{d,d} = E_{av,d} + A_{v,d} + G_{v,d} = 73.863 + 18.921 + 4.018 = 96.801 \text{ kN/m}$$

Bemessungswert des Widerstandes unterhalb der Sohle

$$t_n = t - 0.5 = 2 - 0.5 = 1.5 \text{ m wirksame Einbindetiefe}$$

$$f_t = \frac{t_n}{2.5} = \frac{1.5}{2.5} = 0.6 \quad \text{Abminderungsfaktor}$$

$$f_a = \begin{cases} 0.75 + 0.25 \cdot \left(\frac{a_t}{b_t} - 2\right) & : \frac{a_t}{b_t} < 3 \\ 1 & : \text{sonst} \end{cases} = \begin{cases} 0.75 + 0.25 \cdot \left(\frac{2.5}{0.4} - 2\right) & : \frac{2.5}{0.4} < 3 \\ 1 & : \text{sonst} \end{cases}$$

= 1 Einfluss Trägerabstand S. 166

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{t_n}{2} \cdot D_s \cdot \pi \cdot q_{s,k} = \frac{1.5}{2} \cdot 0.4 \cdot \pi \cdot 3000 \\ &= 2827.433 \text{ kN Mantelwiderstand} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_b &= f_t \cdot \frac{D_s^2 \cdot \pi}{4} \cdot q_{b,k} = 0.6 \cdot \frac{0.4^2 \cdot \pi}{4} \cdot 105000 \\ &= 7916.813 \text{ kN Fußwiderstand} \end{aligned}$$

$$R_{T,d} = \frac{f_a \cdot f_d \cdot (R_s + R_b)}{a_t} = \frac{1 \cdot 1 \cdot (2827.433 + 7916.813)}{2.5} = 4297.699 \text{ kN/m}$$

$$\mu_{V2} = \frac{\Sigma V_{d,d}}{R_{T,d}} = \frac{96.801}{4297.699} = 0.023 \quad \text{Nachweis erfüllt!}$$