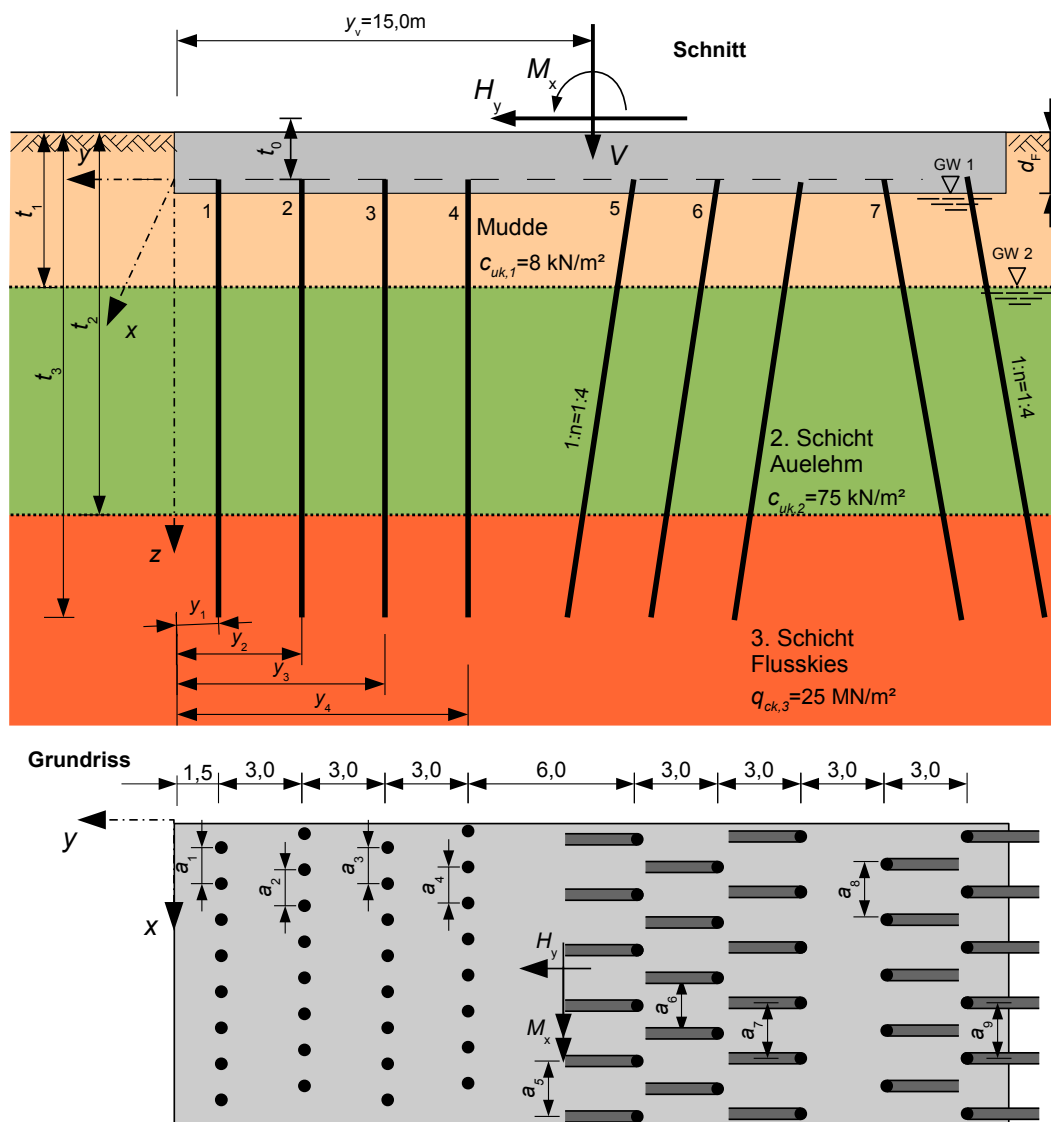


Pfahlrost mit Verdrängungspfählen, Bahnbrücke Achse 30

Als Gründungssystem für den Brückenpfeiler der Achse 30 ist eine Pfahlrostgründung geplant. Für die Pfahlgründung ist die Tragfähigkeit nachzuweisen. Die Einbindetiefe wurde im Rahmen einer Vorbemessung festgelegt. Nach Abschluss der Rammarbeiten, vor dem Betonieren der Rostplatte, wird das Grundwasser von GW1 auf GW2 abgesenkt. Aufgrund der resultierenden Setzungen ist die negative Mantelreibung zu berücksichtigen. Die zulässige Setzung beträgt 2 cm.



Eingangsgrößen, Bezeichner

Geometrische Angaben zu den Pfählen (Stahlrohrpfähle, unten geschlossen)

$$D = D_S = D_b = 0.45 \text{ m Durchmesser Pfahlschaft}$$

$$a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = 1.5 \text{ m Pfahlabstände Reihen 1 bis 4}$$

$$a_5 = a_6 = a_7 = 1.75 \text{ m Pfahlabstände Reihen 5 bis 7}$$

$$a_8 = a_9 = 1.75 \text{ m Pfahlabstände Reihen 8 und 9}$$

$$\begin{aligned} \alpha_5 &= \alpha_6 = \alpha_7 = \arctan\left(\frac{4}{1}\right)^{\text{deg}} \\ &= 75.964^\circ \text{ Neigungswinkel der Pfahlreihen 5 und 6} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_8 &= \alpha_9 = -\arctan\left(\frac{4}{1}\right)^{\text{deg}} \\ &= -75.964^\circ \text{ Neigungswinkel der Pfahlreihen 7 und 8} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
y_1 &= -1.5; y_2 = -4.5; y_3 = -7.5; y_4 = -10.5 \text{ m Abstand vom linken Rand} \\
y_5 &= -16.5; y_6 = -19.5; y_7 = -22.5 \text{ m} \\
y_8 &= -25.5; y_9 = -28.5 \text{ m Pfahlansatzpunkte an der Rostplatte} \\
z_1 &= z_2 = z_3 = z_4 = z_5 = z_6 = z_7 = z_8 = z_9 = 0 \text{ m Bezugsebene Pfahlkopf}
\end{aligned}$$

Pfahlrostplatte

$$\begin{aligned}
\gamma_{\text{Beton}} &= 24 \text{ kN/m}^3 \\
d_F &= 0.75; l_y = 30; \text{ m Breite, Höhe und Länge des Pfahlrosts} \\
t_0 &= 0.5 \text{ m Bezugsebene Pfahlkopf}
\end{aligned}$$

charakteristische Einwirkungen aus dem Tragwerk

$$\begin{aligned}
V_{Gk} &= 4438.75 \text{ kN/m ständige Vertikallast (ohne Eigengewicht)} \\
V_{Qk} &= 996.25 \text{ kN/m veränderliche Lasten} \\
H_{y,Qk} &= 162.625 \text{ kN/m veränderliche Lasten} \\
H_{y,Gk} &= 0 \\
M_{x,Qk} &= 1362.5 \text{ kNm/m veränderliche Lasten} \\
s_{2d} &= 2 \text{ cm zulässige Setzung (SLS)}
\end{aligned}$$

$$y_v = -15; z_H = -t_0 = -15; -0.5 \text{ m Angriffspunkt Vertikal- bzw. Horizontallast}$$

Baugrundkennwerte

Schicht 1: Mudde

$$\begin{aligned}
t_1 &= 5.5 \text{ m Tiefe der Unterkante Schicht 1 unter GOF} \\
c_{uk1} &= \tau_{uk1} = 8 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

Schicht2: Auelehm, steif

$$\begin{aligned}
t_2 &= 7 \text{ m Tiefe der Unterkante Schicht 2 unter GOF} \\
c_{uk2} &= 75 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

Schicht 3: Kies dicht gelagert

$$\begin{aligned}
t_3 &= 15 \text{ m Fußpunkt der Pfähle} \\
q_c &= 25 \text{ MN/m}^2 \text{ Spitzendruck bei einer Drucksondierung}
\end{aligned}$$

Teilsicherheitsbeiwerte (BS-P)

$$\begin{aligned}
\gamma_G &= 1.35; \gamma_Q = 1.5 && \text{GEO-2} \\
\gamma_{G,SLS} &= 1; \gamma_{Q,SLS} = 1 && \text{SLS} \\
\gamma_b &= \gamma_s = \gamma_t = 1.4 && \text{Widerstände, Bemessung mit Erfahrungswerten}
\end{aligned}$$

Tabelle 4.7: Erfahrungswerte für Mantel- und Spitzenwiderstand von Fertigrampfpfählen

Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ in kN/m ² nach EA-Pfähle						
$s/D_{eq}^{1)}$	nichtbindiger Boden bei $q_c^{2)}$ in MN/m ²			bindiger Boden bei $c_u^{3)}$ in kN/m ²		
	7,5	15	25	100	150	250
0,035	2200–5000	4000–6500	4500–7500	350–450	550–700	800–950
0,1 (= s_g)	4200–6000	7600–10200	8750–11500	600–750	850–1100	1150–1500
Zwischenwerte geradlinig interpolieren.						
Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ in kN/m ² nach EA-Pfähle						
	nichtbindiger Boden bei $q_c^{2)}$ in MN/m ²			bindiger Boden bei $c_u^{3)}$ in kN/m ²		
	7,5	15	≥ 25	60	150	250
s_{sg*}	30–40	65–90	85–120	20–30	35–50	45–65
$s_{sg} = s_g$	40–60	95–125	125–160	20–35	40–60	55–80
¹⁾ bezogene Pfahlkopfsetzung; s Pfahlkopfsetzung; D_{eq} äquivalenter Pfahldurchmesser ²⁾ Spitzenwiderstand der Drucksonde; ³⁾ undrionierte Kohäsion						

Geometrische Größen zur Beschreibung der Pfähle

$$\begin{aligned}
 U_{Pfahl} &= \pi \cdot D = \pi \cdot 0.45 = 1.414 \text{ m Umfang des Pfahls} \\
 A_b &= \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0.45^2 \\
 &= 0.159 \text{ m}^2 \text{ Fußfläche des Einzelpfahls} \\
 A_{sP1,1} &= U_{Pfahl} \cdot (t_1 - d_F) = 1.414 \cdot (5.5 - 0.75) \\
 &= 6.715 \text{ m}^2 \text{ Mantelfläche Pfahl 1 bis 4, Schicht 1} \\
 A_{sP5,1} &= A_{sP8,1} = \frac{U_{Pfahl} \cdot (t_1 - d_F)}{\sin \alpha_5^0} = \frac{1.414 \cdot (5.5 - 0.75)}{\sin 75.964^\circ} \\
 &= 6.922 \text{ m}^2 \text{ Mantelfläche Pfahl 5 bis 8, Schicht 1}
 \end{aligned}$$

1 Berechnung der charakteristischen Beanspruchung

1.1 Einwirkungen aus Tragwerkslasten

1.1.1 Bildung eines statisch bestimmten Ersatzsystems

Pfahlreihen 1 bis 4 zusammengefasst zu P_{e1} , 5 bis 7 zu P_{e2} , Pfahlreihen 8 und 9 entspricht P_{e3}

$$\begin{aligned}
 y_{e1} &= \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4} = \frac{-1.5 + -4.5 + -7.5 + -10.5}{4} = -6 \text{ m} \\
 y_{e2} &= \frac{y_5 + y_6 + y_7}{3} = \frac{-16.5 + -19.5 + -22.5}{3} = -19.5 \text{ m} \\
 y_{e3} &= \frac{y_8 + y_9}{2} = \frac{-25.5 + -28.5}{2} = -27 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_{e1} &= -6 \text{ m} \\
 y_{e2} &= -19.5 \text{ m} \\
 y_{e3} &= -27 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berechnung des Schnittpunkts der Reihen P_{e2} und P_{e3}

$$\begin{aligned}
 \alpha_{e2} &= \alpha_5 = 75.964^\circ \\
 \alpha_{e3} &= \alpha_8 = -75.964^\circ
 \end{aligned}$$

Berechnung des Schnittpunkts der Reihen P_{e2} und P_{e3}

$$y_{em} = \frac{y_{e3} \cdot \tan(-(\alpha_{e3}^\circ)) + y_{e2} \cdot \tan \alpha_{e2}^\circ}{\tan \alpha_{e2}^\circ + \tan(-(\alpha_{e3}^\circ))} = \frac{-27 \cdot \tan(-(-75.964^\circ)) + -19.5 \cdot \tan 75.964^\circ}{\tan 75.964^\circ + \tan(-(-75.964^\circ))}$$

$$= -23.25$$

$$l_e = y_{em} - (y_{e2}) = -23.25 - (-19.5) = -3.75$$

$$z_{em} = l_e \cdot \tan \alpha_{e2}^\circ = -3.75 \cdot \tan 75.964^\circ = -15 \text{ m}$$

1.1.2 Beanspruchung aus dem Tragwerk

$$G = l_y \cdot d_F \cdot \gamma_{Beton} = 30 \cdot 0.75 \cdot 24$$

$$= 540 \text{ kN/m Eigengewicht der Rostplatte}$$

$$G = 540 \text{ kN/m Eigengewicht der Rostplatte}$$

Pfahlreihe 1, 2 und 3

Ermittlung der Schnittkräfte unter Ausnutzung der Symmetrie Summe der Momente um den Schnittpunkt der Wirkungslinien von P_{e2} und P_{e3}

$$\bar{P}_{e1G} = \frac{(y_v - (y_{em})) \cdot (V_{Gk} + G) - (z_H - z_{em}) \cdot H_{y,Gk}}{y_{e1} - (y_{em})}$$

$$= \frac{(-15 - (-23.25)) \cdot (4438.75 + 540) - (-0.5 - -15) \cdot 0}{-6 - (-23.25)} = 2381.141 \text{ kN/m}$$

$$\bar{P}_{e1Q} = \frac{(y_v - (y_{em})) \cdot V_{Qk} - (z_H - z_{em}) \cdot H_{y,Qk} + M_{x,Qk}}{y_{e1} - (y_{em})}$$

$$= \frac{(-15 - (-23.25)) \cdot 996.25 - (-0.5 - -15) \cdot 162.625 + 1362.5}{-6 - (-23.25)} = 418.754 \text{ kN/m}$$

Pfahlreihe P_{e3}

Summe der Horizontalkräfte

$$\bar{P}_{e3G} = \frac{\frac{V_{Gk}+G}{\sin \alpha_{e2}^\circ} - \frac{H_{y,Gk}}{\cos \alpha_{e2}^\circ} - \frac{\bar{P}_{e1G}}{\sin \alpha_{e2}^\circ}}{\frac{\sin(-(\alpha_{e3}^\circ))}{\sin \alpha_{e2}^\circ} + \frac{\cos(-(\alpha_{e3}^\circ))}{\cos \alpha_{e2}^\circ}}$$

$$= \frac{\frac{4438.75+540}{\sin 75.964^\circ} - \frac{0}{\cos 75.964^\circ} - \frac{2381.141}{\sin 75.964^\circ}}{\frac{\sin(-(-75.964^\circ))}{\sin 75.964^\circ} + \frac{\cos(-(-75.964^\circ))}{\cos 75.964^\circ}} = 1338.777$$

$$\bar{P}_{e3Q} = \frac{\frac{V_{Qk}}{\sin \alpha_{e2}^\circ} - \frac{H_{y,Qk}}{\cos \alpha_{e2}^\circ} - \frac{\bar{P}_{e1Q}}{\sin \alpha_{e2}^\circ}}{\frac{\sin(-(\alpha_{e3}^\circ))}{\sin \alpha_{e2}^\circ} + \frac{\cos(-(\alpha_{e3}^\circ))}{\cos \alpha_{e2}^\circ}} = \frac{\frac{996.25}{\sin 75.964^\circ} - \frac{162.625}{\cos 75.964^\circ} - \frac{418.754}{\sin 75.964^\circ}}{\frac{\sin(-(-75.964^\circ))}{\sin 75.964^\circ} + \frac{\cos(-(-75.964^\circ))}{\cos 75.964^\circ}}$$

$$= -37.625$$

Pfahlreihen P_{e2}

Summe der Vertikalkräfte

$$\bar{P}_{e2G} = \frac{\bar{P}_{e3G} \cdot \cos(-(\alpha_{e3}^\circ))}{\cos \alpha_{e2}^\circ} + \frac{H_{y,Gk}}{\cos \alpha_{e2}^\circ}$$

$$= \frac{1338.777 \cdot \cos(-(-75.964^\circ))}{\cos 75.964^\circ} + \frac{0}{\cos 75.964^\circ} = 1338.777 \text{ kN/m}$$

$$\bar{P}_{e2Q} = \frac{\bar{P}_{e3Q} \cdot \cos(-(\alpha_{e3}^\circ))}{\cos \alpha_{e2}^\circ} + \frac{H_{y,Qk}}{\cos \alpha_{e2}^\circ}$$

$$= \frac{-37.625 \cdot \cos(-(-75.964^\circ))}{\cos 75.964^\circ} + \frac{162.625}{\cos 75.964^\circ} = 632.895 \text{ kN/m}$$

Aufteilung zu gleichen Teilen auf Pfahl 1 und 2

$$\begin{aligned}
P_{1G} &= \frac{\bar{P}_{e1G}}{4} \cdot a_1 = \frac{2381.141}{4} \cdot 1.5 \\
&= 892.928 \text{ kN Pfahlbeanspruchung, Pfahlreihe 1, infolge ständiger Lasten} \\
P_{1Q} &= \frac{\bar{P}_{e1Q}}{4} \cdot a_1 = \frac{418.754}{4} \cdot 1.5 \\
&= 157.033 \text{ kN Pfahlbeanspruchung, Pfahlreihe 1, infolge veränderlicher Lasten} \\
P_{2G} &= P_{3G} = P_{4G} = P_{1G} = 892.928 \\
P_{2Q} &= P_{3Q} = P_{4Q} = P_{1Q} = 157.033 \\
P_{5G} &= \frac{\bar{P}_{e2G}}{3} \cdot a_5 = \frac{1338.777}{3} \cdot 1.75 = 780.953 \text{ kN} \\
P_{5Q} &= \frac{\bar{P}_{e2Q}}{3} \cdot a_5 = \frac{632.895}{3} \cdot 1.75 = 369.189 \text{ kN} \\
P_{6G} &= P_{7G} = P_{5G} = 780.953 \\
P_{6Q} &= P_{7Q} = P_{5Q} = 369.189 \\
P_{8G} &= P_{9G} = \frac{\bar{P}_{e3G}}{2} \cdot a_8 = \frac{1338.777}{2} \cdot 1.75 = 1171.43 \text{ kN} \\
P_{8Q} &= P_{9Q} = \frac{\bar{P}_{e3Q}}{2} \cdot a_8 = \frac{-37.625}{2} \cdot 1.75 = -32.922 \text{ kN}
\end{aligned}$$

1.2 Grundbauspezifische Einwirkungen (Negative Mantelreibung)

$$\begin{aligned}
P_{1nm} &= P_{2nm} = P_{3nm} = P_{4nm} = c_{uk1} \cdot A_{sP1,1} = 8 \cdot 6.715 = 53.721 \text{ kN} \\
P_{5nm} &= P_{6nm} = P_{7nm} = c_{uk1} \cdot A_{sP5,1} = 8 \cdot 6.922 = 55.375 \text{ kN} \\
P_{8nm} &= P_{9nm} = c_{uk1} \cdot A_{sP8,1} = 8 \cdot 6.922 = 55.375 \text{ kN} \\
P_{1nm} &= P_{2nm} = 53.721 \text{ kN} \\
P_{5nm} &= P_{6nm} = 55.375 \text{ kN} \\
P_{8cn} &= P_{9nm} = 55.375 \text{ kN}
\end{aligned}$$

1.3 charakteristische Beanspruchungen des Einzelpfahls

$$\begin{aligned}
P_{1Gk} &= P_{2Gk} = P_{3Gk} = P_{4Gk} = P_{1G} + P_{1nm} = 892.928 + 53.721 \\
&= 946.649 \text{ kN} \\
P_{1Qk} &= P_{2Qk} = P_{3Qk} = P_{4Qk} = P_{1Q} = 157.033 \text{ kN} \\
P_{5Gk} &= P_{6Gk} = P_{7Gk} = P_{5G} + P_{5nm} = 780.953 + 55.375 = 836.328 \text{ kN} \\
P_{5Qk} &= P_{6Qk} = P_{7Qk} = P_{5Q} = 369.189 \text{ kN} \\
P_{8Gk} &= P_{9Gk} = P_{8G} + P_{8nm} = 1171.43 + 55.375 = 1226.804 \text{ kN} \\
P_{8Qk} &= P_{9Qk} = P_{8Q} = -32.922 \text{ kN}
\end{aligned}$$

2 Berechnung der charakteristischen Widerstände

2.1 Erfahrungswerte für die Pfahlwiderstände

$$\begin{aligned}
q_{sk2,1} &= \frac{35 - 20}{150 - 60} \cdot (75 - 60) + 20 \\
&= 22.5 \text{ kN/m}^2 \text{ Mantelwiderstand Anfangsmobilisierung Schicht 2} \\
q_{sk2} &= \frac{40 - 20}{150 - 60} \cdot (75 - 60) + 20 \\
&= 23.333 \text{ kN/m}^2 \text{ Mantelwiderstand in Abhängigkeit von } c_u \\
q_{sk3,1} &= 85 \text{ kN/m}^2 \text{ Mantelwiderstand Anfangsmobilisierung Schicht 3}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
q_{sk3} &= 125 \text{ kN/m}^2 \text{ Mantelwiderstand in Abhängigkeit von } q_c \\
q_{bk0,035} &= 4500 \text{ kN/m}^2 \text{ Fußwiderstand bei bezogener Setzung 0.035} \\
q_{bk0,1} &= 8750 \text{ kN/m}^2 \text{ Fußwiderstand bei bezogener Setzung 0.10}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\eta_b &= 0.8 \quad \text{geschlossenes Stahlrohr} \\
\eta_s &= 0.8
\end{aligned}$$

Ermittlung der Pfahlwiderstände mit Erfahrungswerten gemäß DIN EN 1997-1 / EA-Pfähle

2.2 setzungsabhängiger charakteristischer Pfahlmantelwiderstand

$$\begin{aligned}
R_{sk1'} &= \eta_s \cdot U_{Pfahl} \cdot (q_{sk2,1} \cdot (t_2 - t_1) + q_{sk3,1} \cdot (t_3 - t_2)) \\
&= 0.8 \cdot 1.414 \cdot (22.5 \cdot (7 - 5.5) + 85 \cdot (15 - 7)) \\
&= 807.232 \text{ kN Mantelwiderstand bei } s = s_{sg'} \\
s_{sg1'} &= \frac{0.5 \cdot R_{sk1'}}{1000} = \frac{0.5 \cdot 807.232}{1000} \\
&= 0.404 \text{ cm und } s_{sg} < 1 \text{ cm erfüllt} \\
s'_{sg1} &= \frac{s_{sg1'}}{100 \cdot D} = \frac{0.404}{100 \cdot 0.45} = 0.009 \text{ bezogene Setzung} \\
R_{sk1} &= \eta_s \cdot U_{Pfahl} \cdot (q_{sk2} \cdot (t_2 - t_1) + q_{sk3} \cdot (t_3 - t_2)) \\
&= 0.8 \cdot 1.414 \cdot (23.333 \cdot (7 - 5.5) + 125 \cdot (15 - 7)) \\
&= 1170.557 \text{ kN Mantelwiderstand} \\
R_{sk5'} &= \frac{\eta_s \cdot U_{Pfahl}}{\sin \alpha_5^c} \cdot (q_{sk2,1} \cdot (t_2 - t_1) + q_{sk3,1} \cdot (t_3 - t_2)) \\
&= \frac{0.8 \cdot 1.414}{\sin 75.964^\circ} \cdot (22.5 \cdot (7 - 5.5) + 85 \cdot (15 - 7)) \\
&= 832.076 \text{ kN Mantelwiderstand der untersten Schicht bezogen auf } s_{sg'} \\
s_{sg5'} &= \frac{0.5 \cdot R_{sk5'}}{1000} = \frac{0.5 \cdot 832.076}{1000} \\
&= 0.416 \text{ cm und } s_{sg} < 1 \text{ cm erfüllt} \\
s'_{sg5} &= \frac{s_{sg5'}}{100 \cdot D} = \frac{0.416}{100 \cdot 0.45} = 0.009 \text{ bezogene Setzung} \\
R_{sk5} &= \frac{\eta_s \cdot U_{Pfahl}}{\sin \alpha_5^c} \cdot (q_{sk2} \cdot (t_2 - t_1) + q_{sk3} \cdot (t_3 - t_2)) \\
&= \frac{0.8 \cdot 1.414}{\sin 75.964^\circ} \cdot (23.333 \cdot (7 - 5.5) + 125 \cdot (15 - 7)) \\
&= 1206.583 \text{ kN Mantelwiderstand der untersten Schicht} \\
R_{sk8'} &= \frac{\eta_s \cdot U_{Pfahl}}{\sin(-(\alpha_8^c))} \cdot (q_{sk2,1} \cdot (t_2 - t_1) + q_{sk3,1} \cdot (t_3 - t_2)) \\
&= \frac{0.8 \cdot 1.414}{\sin(-(-75.964^\circ))} \cdot (22.5 \cdot (7 - 5.5) + 85 \cdot (15 - 7)) \\
&= 832.076 \text{ kN Mantelwiderstand der untersten Schicht bezogen auf } s_{sg'} \\
s_{sg8'} &= \frac{0.5 \cdot R_{sk8'}}{1000} = \frac{0.5 \cdot 832.076}{1000} \\
&= 0.416 \text{ cm und } s_{sg} < 1 \text{ cm erfüllt} \\
s'_{sg8} &= \frac{s_{sg8'}}{100 \cdot D} = \frac{0.416}{100 \cdot 0.45} = 0.009 \text{ bezogene Setzung} \\
R_{sk8} &= \frac{\eta_s \cdot U_{Pfahl}}{\sin(-(\alpha_8^c))} \cdot (q_{sk2} \cdot (t_2 - t_1) + q_{sk3} \cdot (t_3 - t_2))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0.8 \cdot 1.414}{\sin(-(-75.964^\circ))} \cdot (23.333 \cdot (7 - 5.5) + 125 \cdot (15 - 7)) \\
&= 1206.583 \text{ kN Mantelwiderstand der untersten Schicht}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{sk1'} &= 807.232 \text{ kN Mantelwiderstand der untersten Schicht bezogen auf } s_{sg'} \\
R_{sk1} &= 1170.557 \text{ kN Mantelwiderstand der untersten Schicht} \\
R_{sk5'} &= 832.076 \text{ kN Mantelwiderstand der untersten Schicht bezogen auf } s_{sg'} \\
R_{sk5} &= 1206.583 \text{ kN Mantelwiderstand der untersten Schicht} \\
R_{sk8'} &= 832.076 \text{ kN Mantelwiderstand der untersten Schicht bezogen auf } s_{sg'} \\
R_{sk8} &= 1206.583 \text{ kN Mantelwiderstand der untersten Schicht}
\end{aligned}$$

2.3 Setzungsabhängiger Pfahlfußwiderstand - alle Pfahlreihen

Grenzsetzung im Bruchzustand

bezogene Setzung $s/D=0,035$

$$\begin{aligned}
s_{0,035} &= 0.035 \cdot D \cdot 100 = 0.035 \cdot 0.45 \cdot 100 = 1.575 \text{ cm} \\
R_{bk0,035} &= A_b \cdot q_{bk0,035} \cdot \eta_b = 0.159 \cdot 4500 \cdot 0.8 \\
&= 572.555 \text{ kN Pfahlfußwiderstand}
\end{aligned}$$

bezogene Setzung $s/D=0.1$

$$\begin{aligned}
s_{0,1} &= 0.1 \cdot D \cdot 100 = 0.1 \cdot 0.45 \cdot 100 = 4.5 \text{ cm} \\
R_{bk0,1} &= A_b \cdot q_{bk0,1} \cdot \eta_b = 0.159 \cdot 8750 \cdot 0.8 = 1113.302 \text{ kN}
\end{aligned}$$

bezogene Setzung $s/D=0,035$

$$\begin{aligned}
s_{0,035} &= 1.575 \text{ cm} \\
R_{bk0,035} &= 572.555 \text{ kN Pfahlfußwiderstand}
\end{aligned}$$

bezogene Setzung $s/D=0.1$

$$\begin{aligned}
s_{0,1} &= 4.5 \text{ cm} \\
R_{bk0,1} &= 1113.302 \text{ kN}
\end{aligned}$$

2.4 Überlagerung der Anteile

$$\begin{aligned}
R_{bksg,P1} &= \frac{R_{bk0,035}}{s_{0,035}} \cdot s_{sg1'} = \frac{572.555}{1.575} \cdot 0.404 = 146.725 \text{ kN} \\
R_{ksg,P1} &= R_{sk1'} + R_{bksg,P1} = 807.232 + 146.725 \\
&= 953.958 \text{ kN für } s/D=0,005 \\
R_{sk,0,035,P1} &= \text{Interpol} [s_{sg1'}; R_{sk1'}; s_{0,1}; R_{sk1}; s_{0,035}] \\
&= \text{Interpol} [0.404; 807.232; 4.5; 1170.557; 1.575] = 911.127 \\
R_{k0,035,P1} &= R_{sk,0,035,P1} + R_{bk0,035} = 911.127 + 572.555 \\
&= 1483.682 \text{ kN für } s/D=0,035 \\
R_{k,P1} &= R_{sk1} + R_{bk0,1} = 1170.557 + 1113.302 \\
&= 2283.859 \text{ kN für } s/D=0,1 \\
R_{k1} &= R_{k,P1} = 2283.859 \text{ kN} \\
R_{bksg,P5} &= \frac{R_{bk0,035}}{s_{0,035}} \cdot s_{sg5'} = \frac{572.555}{1.575} \cdot 0.416 = 151.241 \text{ kN} \\
R_{ksg,P5} &= R_{sk5'} + R_{bksg,P5} = 832.076 + 151.241
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 983.317 \text{ kN für } s/D=0,005 \\
R_{sk,0,035,P5} &= \text{Interpol} [s_{sg5'}; R_{sk5'}; s_{0,1}; R_{sk5}; s_{0,035}] \\
&= \text{Interpol} [0.416; 832.076; 4.5; 1206.583; 1.575] = 938.355
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_{k0,035,P5} &= R_{sk,0,035,P5} + R_{bk0,035} = 938.355 + 572.555 \\
&= 1510.91 \text{ kN Pfahlreihe 4 und 5 für } s/D=0,035 \\
R_{k,P5} &= R_{sk5} + R_{bk0,1} = 1206.583 + 1113.302 \\
&= 2319.885 \text{ kN für } s/D=0,1 \\
R_{k5} &= R_{k,P5} = 2319.885 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$R_{k,P6} = R_{k,P7} = R_{k,P8} = R_{k,P9} = R_{k,P5} = 2319.885 \text{ kN}$
 wegen der Symmetrie sind die Ergebnisse gleich

3 Nachweise

3.1 Grenzzustand GEO-2

3.1.1 Bemessungswerte der Beanspruchungen

$$\begin{aligned}
P_{1d} &= P_{1Gk} \cdot \gamma_G + P_{1Qk} \cdot \gamma_Q = 946.649 \cdot 1.35 + 157.033 \cdot 1.5 \\
&= 1513.525 \text{ kN} \\
P_{5d} &= P_{5Gk} \cdot \gamma_G + P_{5Qk} \cdot \gamma_Q = 836.328 \cdot 1.35 + 369.189 \cdot 1.5 \\
&= 1682.825 \text{ kN} \\
P_{8d} &= P_{8Gk} \cdot \gamma_G + P_{8Qk} \cdot \gamma_Q = 1226.804 \cdot 1.35 + -32.922 \cdot 1.5 \\
&= 1606.803 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{1d} &= 1513.525 \text{ kN} \\
P_{5d} &= 1682.825 \text{ kN} \\
P_{8d} &= 1606.803 \text{ kN}
\end{aligned}$$

3.1.2 Bemessungswerte der Pfahlwiderstände

$$\begin{aligned}
R_{d,P1} &= \frac{R_{k1}}{\gamma_b} = \frac{2283.859}{1.4} = 1631.328 \text{ kN} \\
R_{d,P5} &= \frac{R_{k,P5}}{\gamma_b} = \frac{2319.885}{1.4} = 1657.061 \text{ kN} \\
R_{d,P8} &= \frac{R_{k,P8}}{\gamma_b} = \frac{2319.885}{1.4} = 1657.061 \text{ kN}
\end{aligned}$$

3.1.3 Nachweis der axialen Tragfähigkeit GEO-2: Ausnutzungsgrad

Pfahlreihe 1 bis 4

$$\mu_{P1} = \frac{P_{1d}}{R_{d,P1}} = \frac{1513.525}{1631.328} = 0.928$$

Pfahlreihe 5 u. 6

$$\mu_{P5} = \frac{P_{5d}}{R_{d,P5}} = \frac{1682.825}{1657.061} = 1.016$$

Pfahlreihe 7 und 8

$$\mu_{P8} = \frac{P_{8d}}{R_{d,P8}} = \frac{1606.803}{1657.061} = 0.97$$

3.2 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit SLS

$$\begin{aligned}
 R_{s,P1} &= \text{Interpol}[s_{0,035}; R_{k0,035,P1}; s_{0,1}; R_{k1}; s_{2d}] \\
 &= \text{Interpol}[1.575; 1483.682; 4.5; 2283.859; 2] = 1599.947 \\
 R_{s,P5} &= \text{Interpol}[s_{0,035}; R_{k0,035,P5}; s_{0,1}; R_{k5}; s_{2d}] \\
 &= \text{Interpol}[1.575; 1510.91; 4.5; 2319.885; 2] = 1628.454
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{1s} &= P_{1G} + P_{1nm} + P_{1Q} = 892.928 + 53.721 + 157.033 \\
 &= 1103.682 \text{ kN Bemessungswert der Einwirkungen}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{5s} &= P_{5G} + P_{5nm} + P_{5Q} = 780.953 + 55.375 + 369.189 \\
 &= 1205.516 \text{ kN Bemessungswert der Einwirkungen}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{7s} &= P_{7G} + P_{7nm} + P_{7Q} = 780.953 + 55.375 + 369.189 \\
 &= 1205.516 \text{ kN Bemessungswert der Einwirkungen}
 \end{aligned}$$

$$\mu_{P1,s} = \frac{P_{1s}}{R_{s,P1}} = \frac{1103.682}{1599.947} = 0.69$$

$$\mu_{P5,s} = \frac{P_{5s}}{R_{s,P5}} = \frac{1205.516}{1628.454} = 0.74$$

$$\mu_{P7,s} = \frac{P_{7s}}{R_{s,P5}} = \frac{1205.516}{1628.454} = 0.74$$