

Musterlösung

Peter Schöps

Institut für Massivbau

<http://www.tu-dresden.de/biwithb/mbau>

Technische Universität Dresden

<http://www.tu-dresden.de>

February 14, 2025

1 Aufgabe Bestand

1.1 Teilaufgabe Mauerwerksdruckfestigkeit

- Einordnung als Bruchsteinzyklopenmauerwerk => N1
- Granit $f_{bk} \geq 50 \text{ N/mm}^2$
- Mörtel M1
- N1 + M1 nach Tabelle NA.I.2 => $f_k = 0,8 \text{ N/mm}$

$$f_k = 0.8 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\gamma_M = 1.5$$

$$f_d = \frac{f_k \cdot 0.85}{\gamma_M} = \frac{0.8 \cdot 0.85}{1.5} = 0.45 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

1.2 Teilaufgabe Ermittlung der Normalkraft

$$A = \frac{6.35 + 2.8}{2} = 4.575 \text{ (m}^2\text{/m Einzugsfläche)}$$

$$\begin{aligned} g_k &= ((0.22 \cdot 25 + 1.5) + 2 \cdot 1.5 + (0.115 + 0.2) \cdot 18) \cdot A \\ &= ((0.22 \cdot 25 + 1.5) + 2 \cdot 1.5 + (0.115 + 0.2) \cdot 18) \cdot 4.575 \\ &= 71.69 \text{ (kN/m Decken)} \end{aligned}$$

$$g_k = g_k + 3 \cdot 3.8 \cdot 0.3 \cdot 18 = 71.69 + 3 \cdot 3.8 \cdot 0.3 \cdot 18 = 133.25 \text{ (kN/m Decken + Wände)}$$

$$q_k = (1.5 + 2.0 + 2.0 + 1.5) \cdot A = (1.5 + 2.0 + 2.0 + 1.5) \cdot 4.575 = 32.025 \text{ (kN/m)}$$

$$n_{Ed} = g_k \cdot 1.35 + q_k \cdot 1.5 = 133.25 \cdot 1.35 + 32.025 \cdot 1.5 = 227.925 \text{ (kN/m)}$$

1.3 Teilaufgabe Nachweis

$$A_{MW} = 1.0 \cdot 0.56 = 0.56 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$N_{Rd} = f_d \cdot 1000 \cdot A_{MW} = 0.453 \cdot 1000 \cdot 0.56 = 253.867 \text{ (kN/m)}$$

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{227.925}{253.867} = 0.90 \text{ (< 1,0 Nachweis erfüllt)}$$

Mit Berücksichtigung der Querschnittsschwächung durch die Türöffnungen im KG ergibt sich eine höhere Auslastung.

$$A_{MW} = \frac{(3.5 - 1.0) \cdot 0.56}{3.5} = 0.4 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$N_{Rd} = f_d \cdot 1000 \cdot A_{MW} = 0.453 \cdot 1000 \cdot 0.4 = 181.333 \text{ (kN/m)}$$

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{227.925}{181.333} = 1.257 \text{ (> 1,0 Nachweis nicht erfüllt)}$$

Das Kellermauerwerk wurde im Bereich der Türen ertüchtigt (ausgetauscht).

2 Aufgabe Kellerwand

2.1 Teilaufgabe Anwendungsgrenzen

- Lichte Höhe $2,27 \text{ m} < 2,6 \text{ m} \checkmark$
- Anschütthöhe $h_e = h < 1,15 h \checkmark$
- Wanddicke = $24 \text{ cm} \checkmark$
- Nutzlast $q_k \leq 5 \text{ kN/m}^2 \checkmark$
- keine Einzellast auf der Anschüttung \checkmark
- kein Anstieg des Geländes \checkmark
- kein Wasserdruck \checkmark
- Abdichtung besandete Bitumenbahn \checkmark

2.2 Teilaufgabe Nachweis

$$\rho_e = 18 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$h = 2.27 \text{ (m)}$$

$$h_e = 2.27 \text{ (m)}$$

$$\beta = 20$$

$$t = 0.24 \text{ (m)}$$

$$n_{Edmin} = \frac{\rho_e \cdot h \cdot (h_e)^2}{\beta \cdot t} = \frac{18 \cdot 2.27 \cdot (2.27)^2}{20 \cdot 0.24} = 43.86 \text{ (kN/m)}$$

2.3 Teilaufgabe Nachweis $\max N_{Ed}$

$$g_k = n_{Edmin} = 43.864 \text{ (kN/m)}$$

$$q_k = 0.4 \cdot g_k = 0.4 \cdot 43.864 = 17.55 \text{ (kN/m)}$$

$$n_{Edmax} = 1.35 \cdot g_k + 1.5 \cdot q_k = 1.35 \cdot 43.864 + 1.5 \cdot 17.546 = 85.54 \text{ (kN/m)}$$

$$f_k = 10.5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\gamma_M = 1.5$$

$$f_d = \frac{f_k \cdot 0.85}{\gamma_M} = \frac{10.5 \cdot 0.85}{1.5} = 5.95 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$n_{Rdmax} = \frac{t \cdot f_d \cdot 1000}{3} = \frac{0.24 \cdot 5.95 \cdot 1000}{3} = 476.0 \text{ (kN/m)}$$

$$\eta = \frac{n_{Edmax}}{n_{Rdmax}} = \frac{85.535}{476.0} = 0.18 \text{ (< 1,0 Nachweis erfüllt)}$$

2.4 Teilaufgabe Aussteifungslast

$$b = 12 \text{ (m)}$$

$$q_k = 5.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$K_{agh} = 0.33$$

$$K_{aph} = 0.33$$

$$g_{Ek} = \rho_e \cdot K_{agh} \cdot \frac{(h_e)^2}{2} \cdot \frac{1}{3} = 18 \cdot 0.33 \cdot \frac{(2.27)^2}{2} \cdot \frac{1}{3} = 5.101 \text{ (kN/m)}$$

$$q_{Ek} = q_k \cdot K_{aph} \cdot \frac{h_e}{2} = 5.0 \cdot 0.33 \cdot \frac{2.27}{2} = 1.873 \text{ (kN/m)}$$

$$V_{Ek} = (g_{Ek} + q_{Ek}) \cdot b = (5.10 + 1.87) \cdot 12 = 83.69 \text{ (kN)}$$

$$V_{Ed} = (1.35 \cdot g_{Ek} + 1.5 \cdot q_{Ek}) \cdot b = (1.35 \cdot 5.10 + 1.5 \cdot 1.87) \cdot 12 = 116.35 \text{ (kN)}$$

3 Aufgabe Aussteifung

3.1 Teilaufgabe Nachweise

$$h = 2.27 \text{ (m)}$$

$$l = 5.0 \text{ (m)}$$

$$c = \begin{cases} 1,0 & h/l < 1.0 \\ 1.0 + (h/l - 1) \cdot 0.5 & \\ 1.5 & h/l > 2.0 \end{cases}$$

$$c = 1.0;$$

$$G_k = 100 \text{ (kN)}$$

$$Q_k = 50 \text{ (kN)}$$

$$N_{Ed} = 100 \text{ (kN min} N_{Ed} \text{ maßgebend)}$$

$$V_{EdW} = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{116.35}{2} = 58.18 \text{ (kN für eine Wand)}$$

$$M_{Ed} = V_{EdW} \cdot h = 58.18 \cdot 2.27 = 132.06 \text{ (kNm)}$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{132.06}{100} = 1.32 \text{ (m)}$$

$$e_{rel} = \frac{e}{l} = \frac{1.32}{5.00} = 0.26 \text{ (< 1/3 Nachweis erfüllt)}$$

Der Querschnitt reißt nicht über die Hälfte auf

$$l_{clin} = \min \left(\frac{3}{2} \cdot (1 - 2 \cdot e_{rel}) \cdot l, l \right) = \min \left(\frac{3}{2} \cdot (1 - 2 \cdot 0.264) \cdot 5.000, 5.000 \right) = 3.538 \text{ (m)}$$

$$l_{cal} = \min (1.125 \cdot l, 1.333 \cdot l_{clin}) = \min (1.125 \cdot 5.000, 1.333 \cdot 3.538) = 4.716 \text{ (m)}$$

$$A_c = l_{cal} \cdot t = 4.716 \cdot 0.240 = 1.132 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\sigma_{Dd} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \cdot \frac{1}{1000} = \frac{100}{1.132} \cdot \frac{1}{1000} = 0.088 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$f_{vk0} = 0.220 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$f_{st} = 25 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$f_{btcal} = 0.032 \cdot f_{st} = 0.032 \cdot 25 = 0.800 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$f_{vl1} = f_{vk0} + 0.4 \cdot \sigma_{Dd} = 0.220 + 0.4 \cdot 0.088 = 0.255 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$f_{vl2} = 0.45 \cdot f_{btcal} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_{Dd}}{f_{btcal}}} = 0.45 \cdot 0.800 \cdot \sqrt{1 + \frac{0.088}{0.800}} = 0.379 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$f_{vk} = \min(f_{vl1}, f_{vl2}) = \min(0.255, 0.379) = 0.255 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M} = \frac{0.255}{1.500} = 0.170 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$V_{Rd} = f_{vd} \cdot \frac{A_c}{c} \cdot 1000 = 0.170 \cdot \frac{1.132}{1.000} \cdot 1000 = 192.686 \text{ (kN)}$$

$$\eta = \frac{V_{EdW}}{V_{Rd}} = \frac{58.176}{192.686} = 0.302 \text{ (< 1,0 Nachweis erfüllt)}$$

3.2 Teilaufgabe Randdehnungsnachweis

$$N_{Ek} = G_k + Q_k = 100 + 50 = 150 \text{ (kN)}$$

$$V_{EkW} = \frac{V_{Ek}}{2} = \frac{83.689}{2} = 41.845 \text{ (kN für eine Wand)}$$

$$M_{Ek} = V_{EkW} \cdot h = 41.845 \cdot 2.270 = 94.988 \text{ (kNm)}$$

$$e = \frac{M_{Ek}}{N_{Ek}} = \frac{94.988}{150} = 0.633 \text{ (m)}$$

$$e_{rel} = \frac{e}{l} = \frac{0.633}{5.000} = 0.127 < 1/6 \text{ Nachweis erfüllt}$$

Der Querschnitt ist ungerissen.

Für das weiterführende Beispiel wird von einem gerissenen Querschnitt mit $e_{rel} = 0.20$ ausgegangen.

$$e_{rel} = 0.200$$

$$l_{clin} = \min \left(\frac{3}{2} \cdot (1 - 2 \cdot e_{rel}) \cdot l, l \right) = \min \left(\frac{3}{2} \cdot (1 - 2 \cdot 0.200) \cdot 2.500, 2.500 \right) = 2.250 \text{ (m)}$$

$$A_c = l_{clin} \cdot t = 2.250 \cdot 0.175 = 0.394 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\sigma_D = 2 \cdot \frac{N_{Ek}}{A_c} \cdot \frac{1}{1000} = 2 \cdot \frac{150}{0.394} \cdot \frac{1}{1000} = 0.762 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\epsilon_D = \frac{\sigma_D}{1000 \cdot f_k} = \frac{0.278}{1000 \cdot 10.5} = 0.026 \text{ ‰}$$

$$a = l - l_{clin} = 2.500 - 2.250 = 0.250 \text{ (m)}$$

$$\epsilon_R = \epsilon_D \cdot \frac{a}{l_{clin}} = 0.073 \cdot \frac{0.250}{2.250} = 0.008$$

$$\eta = \frac{\epsilon_R}{10^{-4}} = \frac{0.026 \text{ ‰}}{10^{-4}} = 0.080 (< 1,0)$$

Die Haftscherfestigkeit darf angesetzt werden.

4 Aufgabe Außenwand

4.1 Teilaufgabe Staffelgeschoss

4.1.1 Schnittgrößen

$$t = 0.175 \text{ (m)}$$

$$h = 2.47 + 0.14 = 2.61 \text{ (m)}$$

$$l_w = 1.6 \text{ (m)}$$

$$A_w = l_w \cdot t = 1.6 \cdot 0.175 = 0.28 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$f_k = 10.5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\gamma_M = 1.5$$

$$f_d = \frac{f_k \cdot 0.85}{\gamma_M} = \frac{10.5 \cdot 0.85}{1.5} = 5.95 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\rho_w = 18 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$l = 2.5 \text{ (m)}$$

$$b = 3.1 \text{ (m Lasteinzugsbreite)}$$

$$A_{Decke} = 0.4 \cdot l \cdot b = 0.4 \cdot 2.5 \cdot 3.1 = 3.1 \text{ (m}^2 \text{ Lasteinzugsfläche der Decke)}$$

$$g_{kDecke} = 0.2 \cdot 25 = 5.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$G_{kDecke} = g_{kDecke} \cdot A_{Decke} = 5.0 \cdot 3.1 = 15.5 \text{ (kN)}$$

$$e_{Decke} = 0.05 \cdot l = 0.05 \cdot 2.5 = 0.125 \text{ (m 5\%-Regel)}$$

$$g_{kDach} = 1.5 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$q_k = 0.8 \cdot 0.85 = 0.68 \text{ (kN/m}^2 \text{ Schnee)}$$

$$G_{kDach} = g_{kDach} \cdot 4.7 \cdot b = 1.5 \cdot 4.7 \cdot 3.1 = 21.855 \text{ (kN zentrischer Lasteintrag)}$$

$$Q_k = q_k \cdot 4.7 \cdot b = 0.68 \cdot 4.7 \cdot 3.1 = 9.908 \text{ (kN zentrischer Lasteintrag)}$$

$$N_{Ed_{min}} = 1.0 \cdot (G_{kDecke} + G_{kDach}) = 1.0 \cdot (15.5 + 21.855) = 37.355 \text{ (kN)}$$

$$\begin{aligned} N_{Ed_{max}} &= 1.35 \cdot (G_{kDecke} + G_{kDach}) + 1.5 \cdot Q_k \\ &= 1.35 \cdot (15.5 + 21.855) + 1.5 \cdot 9.908 = 65.291 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

$$w_k = 0.8 \cdot 0.8 = 0.64 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$M_{Edmin} = 1.0 \cdot G_{kDecke} \cdot e_{Decke} = 1.0 \cdot 15.5 \cdot 0.125 = 1.938 \text{ (kNm)}$$

$$M_{Edmax} = 1.35 \cdot G_{kDecke} \cdot e_{Decke} = 1.35 \cdot 15.5 \cdot 0.125 = 2.616 \text{ (kNm)}$$

$$e_{min} = \frac{M_{Edmin}}{N_{Edmin}} = \frac{1.938}{37.355} = 5.187 \times 10^{-2} \text{ (m)}$$

$$e_{max} = \frac{M_{Edmax}}{N_{Edmax}} = \frac{2.616}{65.291} = 4.006 \times 10^{-2} \text{ (m)}$$

$$M_{Edw} = 1.5 \cdot w_k \cdot b \cdot \frac{(h)^2}{8} = 1.5 \cdot 0.64 \cdot 3.1 \cdot \frac{(2.61)^2}{8} = 2.53 \text{ (kNm)}$$

$$\begin{aligned} N_{Edmitte} &= t \cdot \frac{h}{2} \cdot \rho_w \cdot l_w + G_{kDach} + G_{kDecke} \\ &= 0.175 \cdot \frac{2.61}{2} \cdot 18 \cdot 1.6 + 21.855 + 15.5 = 43.93 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{Edmitte_{max}} &= 1.35 \cdot t \cdot \frac{h}{2} \cdot \rho_w \cdot l_w + N_{Edmax} \\ &= 1.35 \cdot 0.175 \cdot \frac{2.61}{2} \cdot 18 \cdot 1.6 + 65.291 = 74.17 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

$$e_{Mitte} = \frac{M_{Edw}}{N_{Edmitte}} = \frac{2.53}{43.93} = 0.057$$

4.1.2 Vereinfachtes Verfahren

$$\rho_2 = 0.75$$

$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h = 0.75 \cdot 2.61 = 1.958 \text{ (m)}$$

$$\phi_1 = \min \left(1.6 - \frac{l}{6}, 0.9 \right) = \min \left(1.6 - \frac{3.8}{6}, 0.9 \right) = 0.9$$

$$\phi_2 = 0.85 - 0.0011 \cdot \left(\frac{h_{ef}}{t} \right)^2 = 0.85 - 0.0011 \cdot \left(\frac{1.958}{0.24} \right)^2 = 0.71$$

$$N_{Rd1} = \phi_1 \cdot A_w \cdot f_d \cdot 1000 = 0.9 \cdot 0.28 \cdot 5.95 \cdot 1000 = 1499.42 \text{ (kN)}$$

$$N_{Rd2} = \phi_2 \cdot A_w \cdot f_d \cdot 1000 = 0.7124 \cdot 0.28 \cdot 5.95 \cdot 1000 = 1186.8 \text{ (kN)}$$

$$\eta_0 = \frac{N_{Edmax}}{N_{Rd1}} = \frac{65.291}{1499.4} = 0.04354 \text{ (<1 Nachweis erfüllt (Kopf))}$$

$$\eta_m = \frac{N_{Edmitte_{max}}}{N_{Rd2}} = \frac{74.17}{1186.805} = 0.06250 \text{ (<1 Nachweis erfüllt (Mitte))}$$

4.1.3 Genaueres Verfahren

$$\rho_2 = 0.75$$

$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h = 0.75 \cdot 2.61 = 1.958 \text{ (m)}$$

$$e_{min} = 0.05187 \text{ (m)}$$

$$\phi_{ou} = 1 - 2 \cdot \frac{e_{min}}{t} = 1 - 2 \cdot \frac{5.187 \times 10^{-2}}{0.175} = 0.4072$$

$$e_{do} = 5.187 \times 10^{-2} \text{ (m)}$$

$$e_{du} = -5.187 \times 10^{-2} \text{ (m)}$$

(ungünstigste Annahme für Wandmitte und Winddruck)

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t} = \frac{1.958}{0.175} = 11.186 (< \lambda_c)$$

$$e_k = 0 \text{ (m Kriechen)}$$

$$\begin{aligned} e_m &= \frac{M_{Edw}}{N_{Edmitte}} + \frac{e_{do} + e_{du}}{2} + \frac{h_{ef}}{450} \\ &= \frac{2.534}{43.932} + \frac{5.187 \times 10^{-2} + -5.187 \times 10^{-2}}{2} + \frac{1.958}{450} = 0.062 \text{ (m)} \end{aligned}$$

$$e_{mk} = \max(e_m + e_k, 0.05 \cdot t) = \max(0.062 + 0, 0.05 \cdot 0.175) = 0.062 \text{ (m)}$$

$$\begin{aligned} \phi_m &= 1.14 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t}\right) - 0.024 \cdot \left(\frac{h_{ef}}{t}\right) \\ &= 1.14 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{0.062}{0.175}\right) - 0.024 \cdot \left(\frac{1.958}{0.175}\right) \\ &= 6.335 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \phi_{ou} \cdot A_w \cdot f_d \cdot 1000 = 0.4072 \cdot 0.28 \cdot 5.95 \cdot 1000 = 678.448 \text{ (kN)}$$

$$N_{Rd2} = \phi_m \cdot A_w \cdot f_d \cdot 1000 = 6.335 \times 10^{-2} \cdot 0.28 \cdot 5.95 \cdot 1000 = 105.547 \text{ (kN)}$$

$$\eta_o = \frac{N_{Edmin}}{N_{Rd1}} = \frac{37.355}{678.448} = 0.055 (< 1 \text{ Nachweis erfüllt})$$

$$\eta_m = \frac{N_{Edmitte}}{N_{Rd2}} = \frac{43.932}{105.547} = 0.416 (< 1 \text{ Nachweis erfüllt})$$

4.2 Teilaufgabe EG

4.2.1 Schnittgrößen

$$t = 0.24 \text{ (m)}$$

$$h = 2.5 + 0.14 = 2.64 \text{ (m)}$$

$$l_w = 2.06 \text{ (m)}$$

$$A_w = l_w \cdot t = 2.06 \cdot 0.24 = 0.494 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$f_k = 10.5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\gamma_M = 1.5$$

$$f_d = \frac{f_k \cdot 0.85}{\gamma_M} = \frac{10.5 \cdot 0.85}{1.5} = 5.95 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\rho_w = 18 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

$$l = 3.800 \text{ (m)}$$

$$b = 4.100 \text{ (m Lasteinzugsbreite)}$$

$$\begin{aligned} A_{Decke} &= 0.4 \cdot l \cdot b = 0.4 \cdot 3.800 \cdot 4.100 \\ &= 6.232 \text{ (m}^2 \text{ Lasteinzugsfläche der Decke)} \end{aligned}$$

$$g_k = 0.2 \cdot 25 + 1.5 = 6.500 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$q_k = 1.500 \text{ (kN/m}^2 \text{ Wohnungen)}$$

$$\begin{aligned} N_{Ed_{Decke}} &= (1.35 \cdot g_k + 1.5 \cdot q_k) \cdot A_{Decke} \\ &= (1.35 \cdot 6.500 + 1.5 \cdot 1.500) \cdot 6.232 = 68.708 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{Ed_{Wand}} &= 1.35 \cdot h \cdot \rho_w \cdot A_w \\ &= 1.35 \cdot 2.640 \cdot 18 \cdot 0.494 = 31.717 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{Ed_{do}} &= 5 \cdot N_{Ed_{Decke}} + 4 \cdot N_{Ed_{Wand}} \\ &= 5 \cdot 68.708 + 4 \cdot 31.717 = 470.406 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{Decke} &= 0.05 \cdot l = 0.05 \cdot 3.800 \\ &= 0.190 \text{ (m 5-Prozent-Regel)} \end{aligned}$$

$$w_k = 0.8 \cdot 0.8 = 0.640 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$M_{Ed} = N_{Ed_{Decke}} \cdot e_{Decke} = 68.71 \cdot 0.19 = 13.05 \text{ (kNm)}$$

$$e_{do} = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed_{do}}} = \frac{13.05}{470.41} = 2,8mm$$

$$M_{Edw} = 1.5 \cdot w_k \cdot b \cdot \frac{(h)^2}{8} = 1.5 \cdot 0.64 \cdot 4.10 \cdot \frac{(2.64)^2}{8} = 3.43 \text{ (kNm)}$$

$$N_{Edm} = 1.35 \cdot t \cdot \frac{h}{2} \cdot \rho_w \cdot l_w + N_{Ed_{do}} = 1.35 \cdot 0.24 \cdot \frac{2.64}{2} \cdot 18 \cdot 2.06 + 470.41 = 486.26 \text{ (kN)}$$

$$e_w = \frac{M_{Edw}}{N_{Edm}} = \frac{3.43}{486.26} = 7.1mm$$

4.2.2 Vereinfachtes Verfahren

$$\rho_2 = 0.90$$

$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h = 0.90 \cdot 2.64 = 2.38 \text{ (m)}$$

$$\begin{aligned}\phi_1 &= \min \left(1.6 - \frac{l}{6}, 0.9 \right) \\ &= \min \left(1.6 - \frac{3.80}{6}, 0.9 \right) = 0.90\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_2 &= 0.85 - 0.0011 \cdot \left(\frac{h_{ef}}{t} \right)^2 \\ &= 0.85 - 0.0011 \cdot \left(\frac{2.38}{0.24} \right)^2 = 0.74\end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \phi_1 \cdot A_w \cdot f_d \cdot 1000 = 0.90 \cdot 0.49 \cdot 5.95 \cdot 1000 = 2647.51 \text{ (kN)}$$

$$N_{Rd2} = \phi_2 \cdot A_w \cdot f_d \cdot 1000 = 0.74 \cdot 0.49 \cdot 5.95 \cdot 1000 = 2183.28 \text{ (kN)}$$

$$\begin{aligned}\eta &= \max \left(\frac{N_{Ed_{do}}}{N_{Rd1}}, N_{Ed_m} \cdot \frac{1}{N_{Rd2}} \right) \\ &= \max \left(\frac{470.41}{2647.51}, 486.26 \cdot \frac{1}{2183.28} \right) = 0.22 \text{ (<1 Nachweis erfüllt)}\end{aligned}$$

4.2.3 Genaueres Verfahren

$$\rho_2 = 0.90$$

$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h = 0.90 \cdot 2.64 = 2.38 \text{ (m)}$$

$$\phi_{ou} = 1 - 2 \cdot \frac{e_{do}}{t} = 1 - 2 \cdot \frac{0.03}{0.24} = 0.77$$

$$e_{du} = 0 \text{ (m ungünstigste Annahme für Wandmitte und Windsog)}$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t} = \frac{2.38}{0.24} = 9.90 (< \lambda_c)$$

$$e_k = 0 \text{ (m Kriechen)}$$

$$e_m = \frac{M_{Edw}}{N_{Edm}} + \frac{e_{do} + e_{du}}{2} + \frac{h_{ef}}{450} = \frac{3.43}{486.26} + \frac{0.03 + 0}{2} + \frac{2.38}{450} = 2.6 \text{ (cm)}$$

$$e_{mk} = \max(e_m + e_k, 0.05 \cdot t) = \max(0.03 + 0, 0.05 \cdot 0.24) = 2.6 \text{ (cm)}$$

$$\begin{aligned} \phi_m &= 1.14 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t}\right) - 0.024 \cdot \left(\frac{h_{ef}}{t}\right) \\ &= 1.14 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{0.03}{0.24}\right) - 0.024 \cdot \left(\frac{2.38}{0.24}\right) \\ &= 0.65 \end{aligned}$$

$$N_{Rd1} = \phi_{ou} \cdot A_w \cdot f_d \cdot 1000 = 0.77 \cdot 0.49 \cdot 5.95 \cdot 1000 = 2261.38 \text{ (kN)}$$

$$N_{Rd2} = \phi_m \cdot A_w \cdot f_d \cdot 1000 = 0.65 \cdot 0.49 \cdot 5.95 \cdot 1000 = 1922.18 \text{ (kN)}$$

$$\eta_o = \frac{N_{Edo}}{N_{Rd1}} = \frac{470.41}{2261.38} = 0.21 (< 1 \text{ Nachweis erfüllt})$$

$$\eta_m = \frac{N_{Edm}}{N_{Rd2}} = \frac{486.26}{1922.18} = 0.25 (< 1 \text{ Nachweis erfüllt})$$