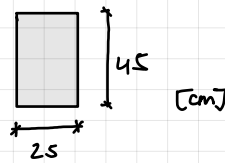


Übung 9

Aufgabe 1

1) $M_{sd} = 73,4 \cdot 1,5 + 3,6 \cdot 1,55 = 115 \text{ kNm}$

Querschnitt:

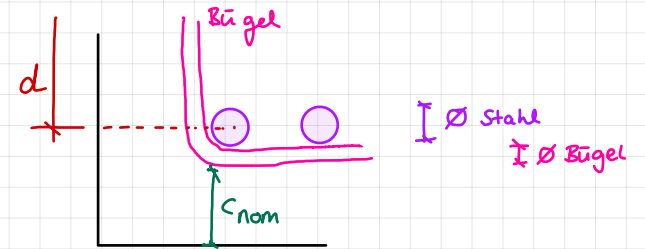
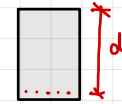


$c_{nom} = 3,5 \text{ cm}$ $\varnothing \text{ Bügel} = 1 \text{ cm}$ $\varnothing \text{ Stahl}$ ungünstig angenommen: 3 cm

Nummerierung
Formel-
sammlung

③ Innerer Hebelarm: $d = h - (c_{nom} + \varnothing \text{ Bügel} + \frac{1}{2} \cdot \varnothing \text{ Stahl})$
 $= 45 - (3,5 + 1 + 1,5) = 39 \text{ cm}$
 $z = 0,8 \cdot d = 39 \cdot 0,8 = 31,2 \text{ cm}$

④ Bewehrung auf Zugseite: $b = 25 \text{ cm}$



! VORGABE: Anzahl Stäbe = 3

→ gewählt: $3 \varnothing 20 \Rightarrow A_s = 3 \cdot 3,14 \text{ cm}^2 = 9,42 \text{ cm}^2$

⑤ F_{sd} berechnen: $F_{sd} = A_s \cdot f_{yd} = A_s \cdot \frac{50 \text{ kN/cm}^2}{1,15} = 9,42 \text{ cm}^2 \cdot \frac{50 \text{ kN/cm}^2}{1,15} = 410 \text{ kN}$

⑥ $M_{Rd} = F_{sd} \cdot z = 410 \text{ kN} \cdot 0,312 \text{ m} = 127,9 \text{ kNm} \Rightarrow \frac{M_{sd}}{M_{Rd}} = \frac{115 \text{ kNm}}{127,9 \text{ kNm}} = 0,90 \hat{=} 90\% \text{ Ausnutzung}$

⑦ Betonfestigkeit C25/30 $\rightarrow f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2 = 2,5 \text{ kN/cm}^2$

⑧ Betondruckzone berechnen

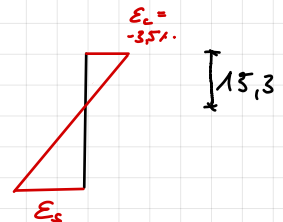
$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{2,5}{1,5} = 1,42 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow h_b = \frac{F_{sd}}{0,95 \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{410 \text{ kN}}{0,95 \cdot 1,42 \text{ kN/cm}^2 \cdot 25 \text{ cm}} = 12,2 \text{ cm} \Rightarrow x = \frac{h_b}{0,8} = \frac{12,2}{0,8} \text{ cm} = 15,3 \text{ cm}$

⑨ Stahldehnung bestimmen

9.1 $d = h - (c_{nom} + \varnothing \text{ Bügel} + \frac{1}{2} \varnothing \text{ Stab}) = 45 - (3,5 + 1 \text{ cm} + \frac{1}{2} \cdot 2 \text{ cm}) = 39,5 \text{ cm}$

9.2 $\epsilon_c = -3,5\%$

9.3 $\frac{3,5\%}{x} = \frac{\epsilon_s}{d-x} \Leftrightarrow \frac{3,5\%}{15,3} = \frac{\epsilon_s}{(39,5-15,3)} \Leftrightarrow \epsilon_s = \frac{3,5 \cdot (39,5-15,3)}{15,3} = 5,5\% < 25\%$



⑩ Innerer Hebelarm $z = d - \frac{1}{2} \cdot h_b = 39,7 - \frac{15,3}{2} = 32,05 \text{ cm} \geq 31,2 \text{ cm} \cdot 0,95 \checkmark$

Aufgabe 2 a) d b)

① einwirkendes Moment

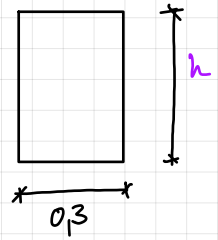
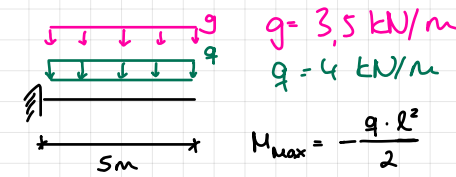
$$M_{sd} = M_g \cdot 1,35 + M_q \cdot 1,5$$

②

$$M_{qd} = -\frac{4 \text{ kN/m} \cdot (5 \text{ m})^2}{2} \cdot 1,5 = -75 \text{ kNm}$$

$$M_{gd} = -\frac{3,5 \cdot 5^2}{2} \cdot 1,35 = -59 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} = -134 \text{ kNm} \quad |M_{sd}| = 134 \text{ kNm}$$

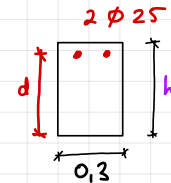


③ innerer Hebelarm:

$$d = 100 h \left(3,5 \text{ cm} + 1 \text{ cm} + \frac{1}{2} \cdot 2,5 \text{ cm} \right) = 100 h - 5,75 \text{ cm} \quad ; \quad z = 0,8 \cdot (100 h - 5,75) \text{ cm}$$

weil 1m=100cm c_{nom} Bügel Ø Stab

$$= 0,8 \cdot (h - 0,0575) \text{ m}$$



→ negatives Moment: Bewehrung liegt in Zugzone!

④ Bewehrung auf Zugseite: 2 Ø 25

$$A_s = 2 \cdot 4,01 \text{ cm}^2 = 8,02 \text{ cm}^2$$

⑤ $F_{sd} = 8,02 \text{ cm}^2 \cdot \frac{50 \text{ kN/cm}^2}{1,15} = 427 \text{ kN}$

Anzahl prüfen: $\frac{30 - 2 \cdot (3,5 + 1) \text{ Bügel}}{2 \cdot 25} = 4,2 > 2 \quad \checkmark$

⑥ $M_{rd} = 427 \text{ kN} \cdot 0,8 \cdot (h - 0,0575) \text{ m}$

Annahme: Ausnutzung von 100% $\Rightarrow \frac{M_{sd}}{M_{rd}} = 1 \Leftrightarrow 1 = \frac{134}{427 \cdot 0,8 \cdot (x - 0,0575)} \Leftrightarrow x^2 = 0,449 \rightarrow x = 0,45 \text{ m}$

überprüfung mit tatsächlichem Eigengewicht:

$$q_k = 0,45 \cdot 0,3 \cdot 25 = 3,375 \text{ kN/m} \rightarrow M_{sd} = 75 + \frac{3,375 \cdot 5^2}{2} \cdot 1,35 = 132 \text{ kNm}$$

① $M_{sd} = 132 \text{ kNm}$

③ $z = 0,8 \cdot (45 - (3,5 + 1 + 1,25)) = 31,4 \text{ cm}$

⑥ $M_{rd} = 427 \text{ kN} \cdot 0,314 \text{ m} = 134,5 \text{ kNm}$

$$\frac{M_{sd}}{M_{rd}} = \frac{132}{134,5} = 0,98 \rightarrow 98\% \text{ Ausnutzung}$$

⑦ C30/37: $f_{cm} = 30 \text{ N/mm}^2$

⑧ $f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{3 \text{ kN/cm}^2}{1,5} = 1,7 \text{ kN/cm}^2$; $h_b = \frac{427 \text{ kN}}{0,95 \cdot 1,7 \text{ kN/cm}^2 \cdot 30 \text{ cm}} = 8,8 \text{ cm}$; $x = \frac{h_b}{0,8} = 11 \text{ cm}$

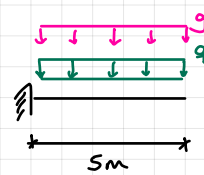
⑨ (9.1) $d = 45 - (3,5 + 1 + 1,25) = 39,25 \text{ cm}$ (9.2) $\epsilon_c = -3,5\%$ (9.3) $\epsilon_s = \frac{35 \cdot (45 - 11)}{11} = 10,8\% \dots > 2,18\% \dots < 25\% \dots \checkmark$

⑩ Innerer Hebelarm: $z = d - \frac{1}{2} h_b = 39,25 - \frac{1}{2} \cdot 11 = 33,75 \text{ cm} \geq 0,95 \cdot 31,4 = 29,83 \text{ cm} \quad \checkmark$

Aufgabe 2 c)

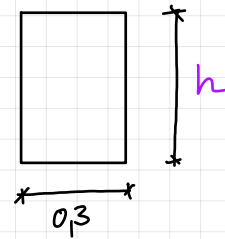
① einwirkendes Moment

$$M_{sd} = M_g \cdot 1,35 + M_q \cdot 1,5$$



$$q = 0,3 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^2 = 7,5 \cdot x \text{ kN/m}$$

$$M_{\max} = -\frac{q \cdot l^2}{2}$$



②

$$M_{gd} = \frac{4 \text{ kN/m} \cdot (5 \text{ m})^2}{2} \cdot 1,5 = 75 \text{ kNm}$$

$$M_{qd} = -\frac{7,5 \cdot x \cdot 5^2}{2} \cdot 1,35 = -168,75 \cdot h \text{ kNm}$$

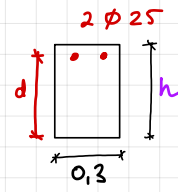
$$M_{sd} = -(75 + 127 \cdot h) \text{ kNm}$$

③ innerer Hebelarm:

$$d = 100 \cdot h - (3,5 \text{ cm} + 1 \text{ cm} + \frac{1}{2} \cdot 2,5 \text{ cm}) = 100h - 5,75 \text{ cm}$$

weil 1m=100cm C_{nom} Bügel Ø Stab

$$z = 0,8 \cdot (100h - 5,75) \text{ cm} = 0,8 \cdot (h - 0,0575) \text{ m}$$



→ negatives Moment: Bewehrung liegt in Zugzone!

④ Bewehrung auf Zugseite: 2 Ø 25

$$A_s = 2 \cdot 4,91 \text{ cm}^2 = 9,82 \text{ cm}^2$$

Anzahl prüfen: $\frac{30 - 2 \cdot (3,5 + 1) \cdot \text{Bügel}}{2 \cdot 2,5} = 4,2 > 2 \quad \checkmark$

⑤ $F_{sd} = 9,82 \text{ cm}^2 \cdot \frac{50 \text{ kN/cm}^2}{1,15} = 427 \text{ kN}$

⑥ $M_{rd} = 427 \text{ kN} \cdot 0,8 \cdot (h - 0,0575) \text{ m}$

⑦ Annahme: Ausnutzung von 100% $\Rightarrow \frac{M_{sd}}{M_{rd}} = 1$

$$1 = \frac{75 + 127 \cdot h}{427 \cdot 0,8 \cdot (h - 0,0575)} \Leftrightarrow 427 \cdot 0,8 \cdot (h - 0,0575) = 75 + 127 \cdot h \Leftrightarrow 342 \cdot h - 19,6 = 75 + 127 \cdot h \Leftrightarrow 215 \cdot h = 94,6 \Leftrightarrow h \stackrel{!}{=} 0,44 \rightarrow h = 0,45 \text{ m}$$

Überprüfung: ① $M_{sd} = -(75 + 0,45 \cdot 127) = 132,2 \text{ kNm}$ ③ $z = 0,8 \cdot (45 - (3,5 + 1 + 1,25)) = 31,4 \text{ cm}$ ⑥ $M_{rd} = 427 \text{ kN} \cdot 0,314 \text{ m} = 134,5 \text{ kNm}$

$$\frac{M_{sd}}{M_{rd}} = \frac{132,2}{134,5} = 0,98 \rightarrow 98\% \text{ Ausnutzung}$$

⑦ C30/37: $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$

⑧ $f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{3 \text{ kN/cm}^2}{1,5} = 1,7 \text{ kN/cm}^2$; $h_b = \frac{427 \text{ kN}}{0,95 \cdot 1,7 \text{ kN/cm}^2 \cdot 30 \text{ cm}} = 8,8 \text{ cm}$; $x = \frac{h_b}{0,8} = 11 \text{ cm}$

⑨ ⑨.1 $d = 45 - (3,5 + 1 + 1,25) = 39,25 \text{ cm}$ ⑨.2 $\epsilon_c = -3,5\%$ ⑨.3 $\epsilon_s = \frac{35 \cdot (45 - 11)}{11} = 10,8\% > 2,18\% < 25\% \quad \checkmark$

⑩ Innerer Hebelarm: $z = d - \frac{1}{2} h_b = 39,25 - \frac{1}{2} \cdot 11 = 33,75 \text{ cm} \geq 0,95 \cdot 31,4 = 29,83 \text{ cm} \quad \checkmark$