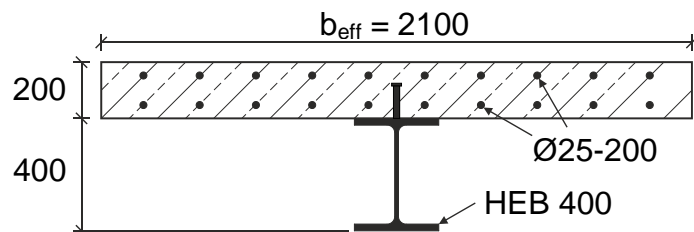


Aufgabe 1

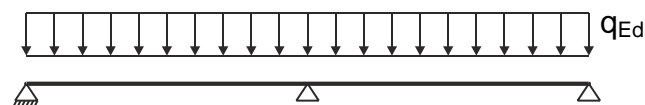
20 Punkte

gegeben:

- Verbundträgerquerschnitt und statisches System unter Last gemäß Skizze:



[mm]



10,0 10,0

[m]

- Material:

- Beton C 30/37
- Baustahl S 355
- Bewehrung BSt 500S

	h	b	t _f	c _f	c _w	t _w	r	A	I
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm ²]	[cm ⁴]
HEB 400	400	300	24,0	116,25	298,0	13,5	27,0	197,8	57681

Belastung:

- Flächenlast $q_{Ed} = 60 \text{ kN/m}^2$

Verbundträger:

- Trägheitsmoment $I_{i,0} = 221100 \text{ cm}^4$

gesucht:

Führen Sie den Querschnittsnachweis an der maßgebenden Stelle. Berücksichtigen Sie dabei die M-V-Interaktion sowie die Betonrissbildung im Stützbereich.

Hinweise:

- Gehen Sie bei Ihren Berechnungen von vollem Verbund aus.
- Das Eigengewicht des Verbundträgers darf vernachlässigt werden.
- Der Verbundträger ist der Querschnittsklasse 1 oder 2 zuzuordnen.

Musterlösung zu Aufgabe 1

20 Punkte

- Schnittgrößen

maßgebend: Stütze

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= \frac{1,25}{2} \cdot q_{Ed} \cdot L \\ &= \frac{1,25}{2} \cdot 126 \cdot 10,0 \\ &= 787,5 \quad [kN] \end{aligned}$$

19. SBT - Tafel 4.14

$$q_{Ed} = 60,0 \quad [kN/m^2]$$

$$q_{Ed} = 126,0 \quad [kN/m]$$

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= -0,125 \cdot q_{Ed} \cdot L^2 \\ &= -0,125 \cdot 126 \cdot 100 \\ &= -1575 \quad [cm^2] \end{aligned}$$

19. SBT - Tafel 4.14

- Schnittgrößenumlagerung infolge Rissbildung über der Stütze

$$\begin{aligned} A_s &= 2 \cdot \left[\pi \cdot \frac{d_s^2}{4} \cdot \left(\frac{b_{eff}}{e_s} \right) \right] \\ &= 2 \cdot \left[\pi \cdot \frac{6,3^2}{4} \cdot \left(\frac{210}{20} \right) \right] \\ &= 103,1 \quad [cm^2] \end{aligned}$$

2 Lagen

$$\varnothing 25 \quad - \quad 200$$

$$A_a = 197,8 \quad [cm^2]$$

gegeben

$$\begin{aligned} z_{St} &= \frac{A_a \cdot z_a + A_s \cdot z_s}{A_a + A_s} \\ &= \frac{197,8 \cdot 40,0 + 103,1 \cdot 10,0}{197,8 + 103,1} \\ &= 29,7 \quad [cm] \end{aligned}$$

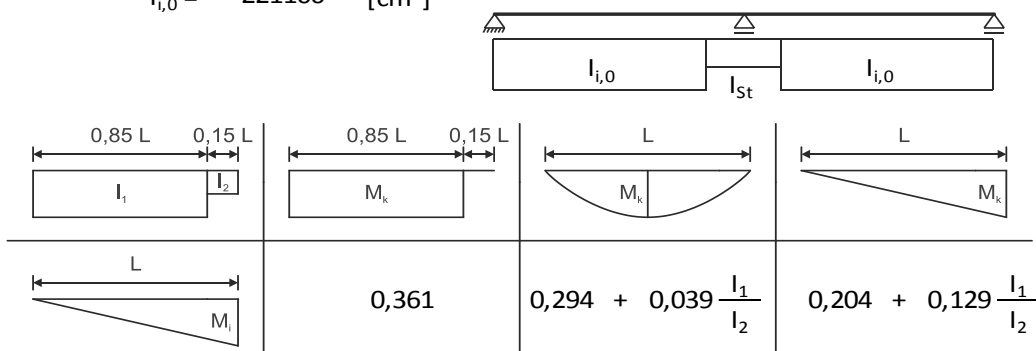
von OK Beton

$$z_a = h_a/2 + h_c$$

$$\begin{aligned} I_{St} &= I_a + A_a \cdot (z_a - z_{St})^2 + A_s \cdot (z_{St} - z_s)^2 \quad \text{mit: } I_s \approx 0 \\ &= 57681 + 197,8 \cdot (40,0 - 29,7)^2 + 103,1 \cdot (29,7 - 10,0)^2 \\ &= 118700 \quad [cm^4] \end{aligned}$$

$$I_{i,0} = 221100 \quad [cm^4]$$

gegeben



$$E_a I_{i,0} \cdot \delta_{10} = 2 \cdot 1,0 \cdot 1575 \cdot \left(0,294 + 0,039 \cdot \frac{221100}{118700} \right) \cdot 10$$

$$= 11549 \quad [\text{kNm}^2]$$

$$E_a I_{i,0} \cdot \delta_{11} = 2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot \left(0,204 + 0,129 \cdot \frac{221100}{118700} \right) \cdot 10$$

$$= 8,89 \quad [\text{m}]$$

$$x_{1,0} = - \frac{\delta_{10}}{\delta_{11}} = \frac{11549}{8,89}$$

$$= -1300 \quad [\text{kNm}] = M_{\text{Ed,Riss}}$$

Stützmoment unter Berücksichtigung der Rissbildung

$$V_{\text{Ed,Riss}} = \frac{M_{\text{Ed,Riss}} + q_{\text{Ed}} \cdot \frac{L^2}{2}}{L}$$

$$= \frac{1300 + 126 \cdot \frac{100}{2}}{10,0}$$

$$= 760,0 \quad [\text{kN}]$$

Herleitung siehe FAQ

- Ermittlung der plastischen Nulllinie

$$f_{\text{sd}} = f_{\text{sk}} / \gamma_s$$

$$= 50,0 / 1,15$$

$$= 43,5 \quad [\text{kN/cm}^2]$$

$$f_{\text{yd}} = f_{\text{yk}} / \gamma_{\text{M0}}$$

$$= 35,5 / 1,0$$

$$= 35,5 \quad [\text{kN/cm}^2]$$

$$N_s = A_s \cdot f_{\text{sd}}$$

$$= 103,1 \cdot 43,5$$

$$= 4481,89 \quad [\text{kN}]$$

negatives Moment:

$$N_{\text{c,t}} = 0$$

$$N_{\text{pl,a}} = A_a \cdot f_{\text{yd}}$$

$$= 197,8 \cdot 35,5$$

$$= 7021 \quad [\text{kN}]$$

$$x_{\text{pl}} = \frac{N_{\text{pl,a}} - N_s}{2 \cdot f_{\text{yd}} \cdot b} + h_c$$

$$= \frac{7021 - 4482}{2 \cdot 35,50 \cdot 30,0} + 20$$

$$= 21,19 \quad [\text{cm}]$$

Annahme:
Nulllinie im Flansch

Annahme richtig!

- Ermittlung der plastischen Momententragfähigkeit $M_{\text{pl,Rd}}$

$$N_f = 2 \cdot b \cdot (x_{\text{pl}} - h_c) \cdot f_{\text{yd}}$$

$$= 2 \cdot 30,0 \cdot (21,19 - 20,0) \cdot 35,5$$

$$= 2539,22 \quad [\text{kN}]$$

$$\begin{aligned} z_a &= h_c + \frac{h}{2} \\ &= 20,0 + \frac{40,0}{2} \\ &= 40,0 \quad [\text{cm}] \end{aligned}$$

Lage von $N_{pl,Rd}$

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd} &= N_{pl,a} \cdot \left(z_a - \frac{h_c}{2} \right) - N_f \cdot \frac{x_{pl}}{2} \\ &= 7021 \cdot \left(0,4 - \frac{0,2}{2} \right) - 2539 \cdot \frac{0,212}{2} \\ &= 1837,3 \quad [\text{kNm}] \end{aligned}$$

Summe um $h_c/2$

Nachweise: $M_{pl,Rd} \geq M_{Ed}$

- Überprüfen, ob Schubbeulen auftritt

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \sqrt{\left(\frac{235}{f_{yk}} \right)} \\ &= \sqrt{\left(\frac{235}{355} \right)} \\ &= 0,81 \quad [-] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{grenz} \left(\frac{c}{t} \right) &= \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon \\ &= \frac{72}{1,2} \cdot 0,81 \\ &= 48,82 \quad [-] \end{aligned}$$

$$\eta = 1,2 \quad [-]$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{c}{t} \right)_{\text{vorh.}} &= \frac{c_w}{t_w} = \frac{298}{13,5} \\ &= 22,07 \quad [-] \end{aligned}$$

→ Es tritt kein Schubbeulen auf.

- Ermittlung der plastischen Querkrafttragfähigkeit $V_{pl,Rd}$

$$\begin{aligned} A_f &= 2 \cdot b \cdot t_f - (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \\ &= 2 \cdot 30,0 \cdot 2,4 - (1,35 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,4 \\ &= 127,8 \quad [\text{cm}^2] \end{aligned}$$

EN 1993-1-1, 6.2.6(3a)

$$\begin{aligned} A_v &= A - A_f \\ &= 197,8 - 127,8 \\ &= 69,98 \quad [\text{cm}^2] \end{aligned}$$

EN 1993-1-1, 6.2.6(3a)

$$\begin{aligned} V_{pl,Rd} &= \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \\ &= \frac{70,0 \cdot 35,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \\ &= 1434,26 \quad [\text{kN}] \end{aligned}$$

EN 1993-1-1, (6.17)

Nachweise:

$$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed,Riss}$$

$$0,5 \cdot V_{pl,Rd} \geq V_{Ed,Riss}$$

$$717,13 \geq 760 \quad [kN]$$

$$V_{Ed,Riss} = 760,0 \quad [-]$$

Interaktion erforderlich

- Ermittlung des plastischen Momentes $M_{f,Rd}$

$$N_{pl,f} = A_f \cdot f_{yd}$$

$$= 127,8 \cdot 35,5$$

$$= 4536,90 \quad [kN]$$

$$N_s = 4481,89 \quad [-]$$

$$x_{pl,f} = \frac{N_{pl,f} - N_s}{2 \cdot b \cdot f_{yd}} + h_c$$

$$= \frac{4537 - 4482}{2 \cdot 30,0 \cdot 35,5} + 20$$

$$= 20,03 \quad [cm]$$

Annahme:
Nulllinie in Verbundfuge

$$\approx 20,00 \quad [cm]$$

Annahme richtig!

$$M_{f,Rd} = N_{pl,f} \cdot \left(z_a - \frac{h_c}{2} \right)$$

$$= 4537 \cdot \left(0,4 - \frac{0,2}{2} \right)$$

$$= 1361,1 \quad [kNm]$$

$$M_{Rd}(V_{Ed}) = M_{f,Rd} + (M_{pl,Rd} - M_{f,Rd}) \cdot \left\{ \left[1 - \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \right] \right\}$$

$$= 1361 + (1837 - 1361) \cdot \left\{ \left[1 - \left(\frac{2 \cdot 787,5}{1434} - 1 \right)^2 \right] \right\}$$

$$= 1832,7 \quad [kNm]$$

Übung 02

$$V_{Ed} = 787,5 \quad [-]$$

Nachweis:

$$M_{Rd} \geq |M_{Ed}|$$

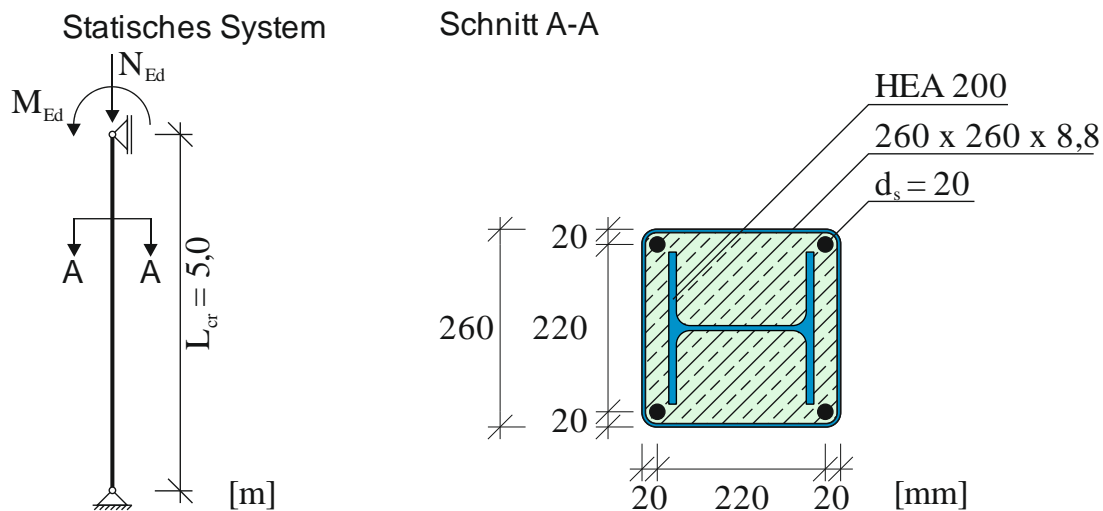
$$1832,69 \geq 1300$$

Aufgabe 2

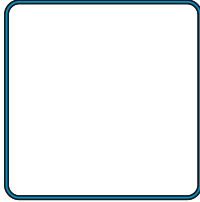
17 Punkte

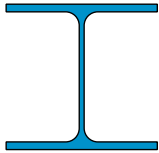
gegeben:

- System und Querschnitt:



- Angaben zu den Querschnittsteilen:

Hohlprofil		Beton
	260 x 260 x 8,8 S 235 $A = 86,4 \text{ cm}^2$ $I_{yy} = 8980 \text{ cm}^4$ $W_{pl,y} = 833,3 \text{ cm}^3$	C 40/50 $A_c = 523,2 \text{ cm}^2$ $I_c = 38.081,3 \text{ cm}^4$

Profil		Betonstahl
	HEA 200 S 355 $A = 53,8 \text{ cm}^2$ $I_{yy} = 3690 \text{ cm}^4$ $W_{pl,y} = 429,5 \text{ cm}^3$	4 x $d_s = 20$ BSt 500 $A_s = 12,6 \text{ cm}^2$ $I_s = 1521 \text{ cm}^4$

gesucht:

- a) Überprüfen Sie, ob die abgebildete Stütze als Verbundstütze bemessen werden darf. Die Überprüfung soll hier lediglich über den Querschnittsparameter δ sowie den Ausschluss örtlichen Beulens erfolgen.
- b) Weisen Sie die Stütze für $N_{Ed} = 3560 \text{ kN}$ und $M_{Ed} = 0 \text{ kNm}$ auf planmäßig zentrischen Druck nach.
- c) Ermitteln Sie für das M-N-Interaktionsdiagramm (für Druck und einachsige Biegung um die starke Achse für die ausgeführte Stütze) die erforderlichen Momenten- und Normalkraftwerte für die Punkte A und D.

Hinweise:

- Das Knicken um die schwache Achse wird nicht maßgebend.
- Bei der Querschnittsberechnung dürfen die Ausrundungsradien vernachlässigt werden.
- Der Einfluss aus Kriechen und Schwinden kann vernachlässigt werden.

Musterlösung Aufgabe 2**17 Punkte**

- a) Überprüfen Sie, ob die abgebildete Stütze als Verbundstütze bemessen werden darf. Die Überprüfung soll hier lediglich über den Querschnittsparameter δ sowie den Ausschluss örtlichen Beulens erfolgen.

Ausschluss: örtliches Beulen

Betongefüllte Rechteck-Hohlprofile

$$\frac{h}{t} \leq 52\varepsilon$$

$$\Leftrightarrow \frac{260\text{mm}}{8,8\text{mm}} = 29,54 \leq 52 \cdot 1 = 52$$

Der Nachweis gegen örtliches Beulen darf entfallen.

Berechnung des plastischen Normalkraftwiderstandes

(Gleichung (6.30) nach EN 1994-1-1 gilt für Querschnitte mit teilweise und vollständig einbetonierten Stahlprofilen. Für betongefüllte Hohlprofile darf bei der Ermittlung des Traganteils des Betonquerschnitts anstelle des Faktors 0,85 der Faktor 1,0 verwendet werden)

$$N_{pl,Rd} = A_a \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} + 1,00 \cdot A_c \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} + A_s \cdot \frac{f_{sk}}{\gamma_s}$$

$$N_{pl,Rd} = 86,4 \cdot 100 \cdot \frac{235}{1,0} + 53,8 \cdot 100 \cdot \frac{355}{1,0} + 1,00 \cdot 523,2 \cdot 100 \cdot \frac{40}{1,5} + 12,6 \cdot 100 \cdot \frac{500}{1,15}$$

$$N_{pl,Rd} = 5883,3\text{kN}$$

Bemessung als Verbundstütze?

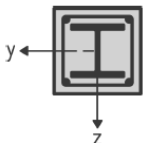
$$0,2 \leq \delta \leq 0,9$$

$$\delta = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{N_{pl,Rd}} = \frac{[86,4 \cdot 235/1,0 + 53,8 \cdot 355/1,0] \cdot 100}{5883,3 \cdot 1000} = 0,67$$

Die Stütze darf als Verbundstütze bemessen werden!

- b) Weisen Sie die Stütze für $N_{Ed} = 3560 \text{ kN}$ und $M_{Ed} = 0 \text{ kNm}$ auf planmäßig zentrischen Druck nach.

Ermittlung der Knickspannungslinie

Querschnitt	Anwendungsgrenzen	Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knickspannungslinie	maximaler Stich der Vorkrümmung
vollständig einbetonierte I-Querschnitte 		y-y	b	$L/200$
		z-z	c	$L/150$

- Vollständig einbetonierter I-Querschnitt, Knicken um die starke Achse (Ausweichen rechtwinklig zur Achse y-y): Knickspannungslinie b
- Imperfektionsbeiwert $\alpha = 0,34$ (EN 1993-1-1, Tab. 6.1)

Bezogene Schlankheit bezüglich der betrachteten Knickachse

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}}$$

$$N_{pl,Rk} = 86,4 \cdot 100 \cdot 235 + 53,8 \cdot 100 \cdot 355 + 1,00 \cdot 523,2 \cdot 100 \cdot 40 + 12,6 \cdot 100 \cdot 500$$

$$N_{pl,Rk} = 6663,1 \text{ kN}$$

$$N_{cr} = \frac{(EI)_{eff} \cdot \pi^2}{L_{cr}^2}$$

$$(EI)_{eff} = E_a \cdot I_a + E_s \cdot I_s + K_e \cdot E_{cm} \cdot I_c$$

$$(EI)_{eff} = 210.000 \cdot (8980 + 3690) \cdot 10^4 + 210.000 \cdot 1521 \cdot 10^4 + 0,6 \cdot 35.000 \cdot 38.081,3 \cdot 10^4$$

$$(EI)_{eff} = 37.798,2 [kNm^2]$$

$$N_{cr} = \frac{37.798,2 \cdot \pi^2}{5^2} = 14.922,1 [kN]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{6663,1}{14.922,1}} = 0,6682$$

Reduktionsfaktor χ

$$\Phi = 0,5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right) = 0,5 \cdot \left(1 + 0,34 \cdot (0,6682 - 0,2) + 0,6682^2 \right) = 0,803$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,803 + \sqrt{0,803^2 - 0,6682^2}} = 0,801$$

Biegeknicknachweis

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot N_{pl,Rd} = 0,801 \cdot 5883,3 = 4714,6 [kN]$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{3560}{4714,6} = 0,76 < 1,0$$

- c) Ermitteln Sie für das M-N-Interaktionsdiagramm (für Druck und einachsige Biegung um die starke Achse für die ausgeführte Stütze) die erforderlichen Momenten- und Normalkraftwerte für die Punkte A und D.

Punkt A: vollplastischer Normalkraftwiderstand

$$N_{A,Rd} = N_{pl,Rd} = 5883,3kN$$

$$M_{A,Rd} = 0kNm$$

Punkt D: maximale Momententragfähigkeit

$$N_{D,Rd} = \frac{1}{2} \cdot \frac{N_{pm,Rd}}{2} = \frac{1}{2} \cdot A_c \cdot 1,00 \cdot f_{cd} = \frac{1}{2} \cdot 523,2 \cdot 100 \cdot 1,00 \cdot \frac{40}{1,5} = 592,96kN$$

$$M_{D,Rd} = M_{max,Rd} = W_{pa} \cdot f_{yd} + \frac{1}{2} \cdot W_{pc} \cdot 1,00 \cdot f_{cd} + W_{ps} \cdot f_{sd}$$

mit

$$W_{pa,H} = 833,3[cm^3] \quad (\text{Hohlprofil})$$

$$W_{pa,I} = 429,5[cm^3] \quad (\text{I-Profil})$$

$$W_{ps} = \frac{1521}{11} = 138,3[cm^3] \quad (\text{Bewehrung})$$

$$W_{pc} = \frac{(h - 2 \cdot t)^2 \cdot (b - 2 \cdot t)}{4} \quad (\text{Beton})$$

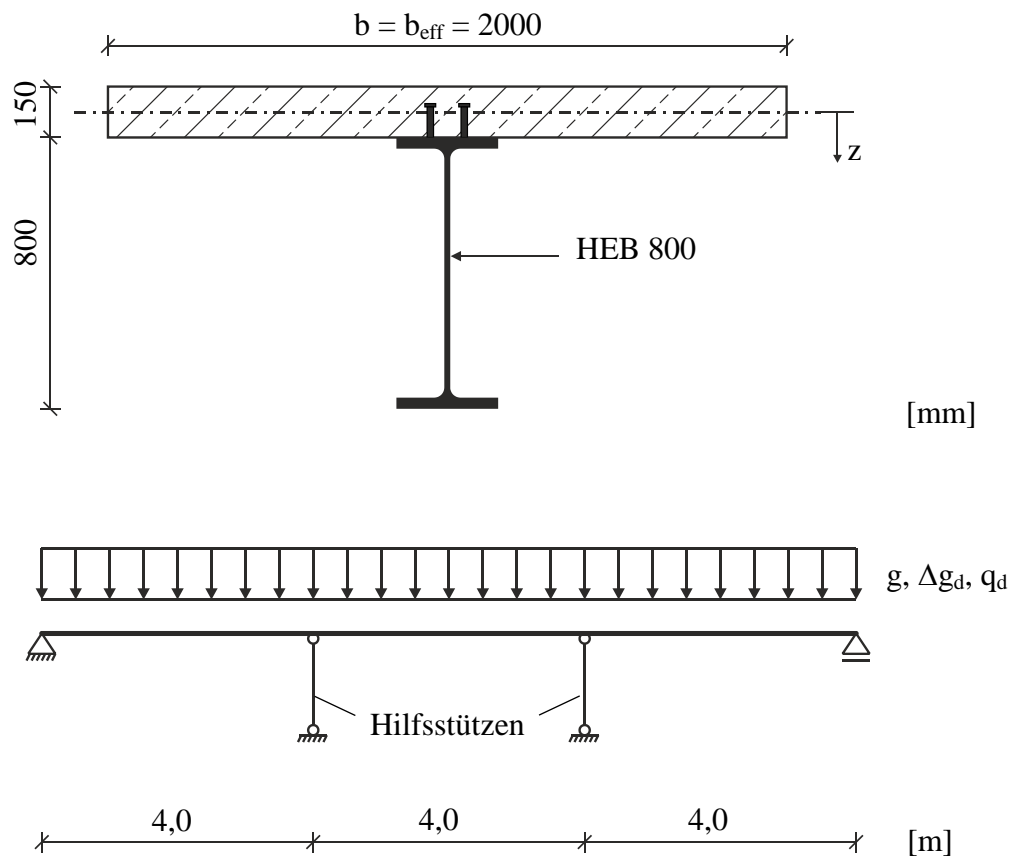
$$W_{pc} = \frac{260^3}{4} = 4394[cm^3]$$

$$M_{D,Rd} = \left[833,3 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0} + 429,5 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0} + \frac{1}{2} \cdot 4394 \cdot 10^3 \cdot \frac{40}{1,5} \right] \cdot 10^{-6} \\ + 138,3 \cdot 10^3 \cdot \frac{500}{1,15}$$

$$M_{D,Rd} = 467,02kNm$$

Aufgabe 3**23 Punkte****gegeben:**

- Verbundträgerquerschnitt und statisches System unter Last gemäß Skizze:



- Material: S 355, C 30/37
- Belastung:
 - Eigengewicht: g
 - Ausbaulast: $\Delta g_d = 100 \text{ kN/m}$
 - Verkehrslast: $q_d = 80 \text{ kN/m}$

- Bauablauf:
 1. Verlegen der Stahlträger
 2. Setzen der Hilfsstützen ($EA \rightarrow \infty$)
 3. Betonage des Betongurtes, Aushärten des Betons
 4. Entfernen der Hilfsstützen
 5. Aufbringen der Ausbaulast Δg_d (wirkt ab diesem Zeitpunkt konstant)
 6. Verkehrsfreigabe q_d
- Beiwerte zur Berücksichtigung des zeitabhängigen Materialverhaltens. Kriechen und Schwinden setzt erst nach Entfernen der Hilfstütze ein.
 - Schwinddehnung für $t = \infty$: $\varepsilon_{cs} = -30 \cdot 10^{-5}$
 - Endkriechzahl: $\varphi_t = 1,80$

gesucht:

Der Verbundträgerquerschnitt soll im Grenzzustand der Tragfähigkeit zum Zeitpunkt $t = \infty$ bemessen werden. Führen Sie den Spannungsnachweis in Feldmitte für die Unterseite des Stahlträgers. Berücksichtigen Sie dabei den Bauablauf und das zeitabhängige Betonverhalten (Kriechen und Schwinden).

Hinweis:

- Eine Bewehrung des Betongurtes ist nicht zu berücksichtigen.
- Ein Aufreißen des Betongurtes im Bauzustand tritt nicht auf.
- Fehlende Angaben sind sinnvoll zu ergänzen.

Musterlösung Aufgabe 3

23 Punkte

- Material

Baustahl: S 355

$$f_{yk} = 35,5 \quad [\text{kN/cm}^2]$$

$$f_{vd} = 35,5 \quad [\text{kN/cm}^2]$$

$$E_a = 21000 \quad [\text{kN/cm}^2]$$

Beton: C 30/37

$$f_{ck} = 3,0 \quad [\text{kN/cm}^2]$$

$$f_{cd} = 2,0 \quad [\text{kN/cm}^2]$$

$$E_{cm} = 3300 \quad [\text{kN/cm}^2]$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$\gamma_c = 1,5$$

- Querschnittswerte

Baustahl: HEB 800

$$h = 800 \quad [\text{mm}]$$

$$b = 300 \quad [\text{mm}]$$

$$t_w = 17,5 \quad [\text{mm}]$$

$$t_f = 33,0 \quad [\text{mm}]$$

$$r = 30,0 \quad [\text{mm}]$$

$$c_w = 674,0 \quad [\text{mm}]$$

$$c_f = 111,3 \quad [\text{mm}]$$

$$A_a = 334 \quad [\text{cm}^2]$$

$$I_a = 35,910 \quad [\text{cm}^2\text{m}^2]$$

Beton:

$$h_c = 150 \quad [\text{mm}]$$

$$b_{eff} = 2000 \quad [\text{mm}]$$

$$A_c = 3000 \quad [\text{cm}^2]$$

$$I_c = 5,625 \quad [\text{cm}^2\text{m}^2]$$

aus Tabellenwerk:
z.B. 20. SBT, Tafel
8.169

- Belastungen

- Eigengewicht:

- Stahl

$$\begin{aligned} g_{Ed, \text{Stahl}} &= 1,35 \cdot (A_a \cdot \gamma_{\text{Stahl}}) \\ &= 1,35 \cdot (0,033 \cdot 78,5) \\ &= 3,54 \quad [\text{kN/m}] \end{aligned}$$

$$L = 12,0 \quad [\text{m}]$$

$$\gamma_G = 1,35$$

Wichte Stahl:

$$78,5 \quad [\text{kN/m}^3]$$

$$\begin{aligned} g_{Ed, \text{Beton}} &= 1,35 \cdot (A_c \cdot \gamma_{\text{Beton}}) \\ &= 1,35 \cdot (0,300 \cdot 26,0) \\ &= 10,53 \quad [\text{kN/m}] \end{aligned}$$

Wichte Frischbeton:

$$26,0 \quad [\text{kN/m}^3]$$

- Ausbaulast:

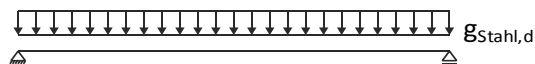
$$\Delta g_d = 100 \quad [\text{kN/m}]$$

- Verkehrslast:

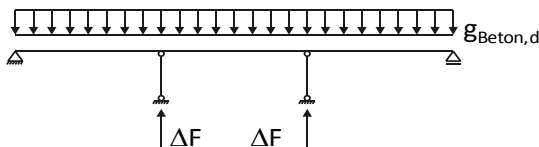
$$q_d = 80 \quad [\text{kN/m}] \quad (\text{veränderlich})$$

- Lastsituationen für die jeweiligen Bau- bzw. Endzustände

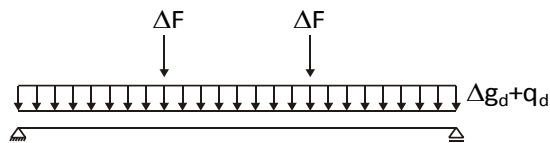
①



② + ③



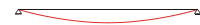
④ + ⑤ + ⑥



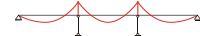
Achtung:

Aufbringen der Stützenkräfte auf den Träger nach Entfernen der Hilfsstützen

wirkt auf den Stahlträger



20. SBT, Tafel 4.14



- Moment M_a in Feldmitte
- ständige Beanspruchung:

$$M_{Ed,Stahl} = \frac{3,54 \cdot 144}{8}$$

$$= 63,71 \quad [\text{kNm}]$$

$$M_{Ed,Beton} = 0,025 \cdot 10,53 \cdot \left(\frac{12}{3}\right)^2$$

$$= 4,21 \quad [\text{kNm}]$$

$$M_a = M_{Ed,Stahl} + M_{Ed,Beton}$$

$$= 63,71 + 4,21$$

$$= 67,92 \quad [\text{kNm}]$$

- Resultierende Kraft ΔF in den Hilfstützen infolge Eigengewicht Beton

$$\Delta F = 1,1 \cdot 10,53 \cdot \left(\frac{12}{3}\right)$$

$$= 46,33 \quad [\text{kN}]$$

- Moment M_c in Feldmitte
- ständige Beanspruchung:

$$M_{Ed,Ausbau} = \frac{100 \cdot 144}{8}$$

$$= 1800,00 \quad [\text{kNm}]$$

$$M_{Ed,\Delta F} = 46,33 \cdot \left(\frac{12}{3}\right)$$

$$= 185,33 \quad [\text{kN}]$$

$$M_{c,ständig} = M_{Ed,Ausbau} + M_{Ed,\Delta F}$$

$$= 1800,00 + 185,33$$

$$= 1985,33 \quad [\text{kNm}]$$

- veränderliche Beanspruchung:

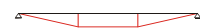
$$M_{Ed,Verkehr} = \frac{80 \cdot 144}{8}$$

$$= 1440,00 \quad [\text{kNm}] = M_{c,veränderlich}$$

wirkt auf den Verbundträger



20. SBT, Tafel 4.14



- Querschnittswerte für kurzzeitige Beanspruchungen

$$\begin{aligned} n_0 &= \frac{E_a}{E_{cm}} \\ &= \frac{21000}{3300} \\ &= 6,36 \quad [-] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{c,0} &= \frac{A_c}{n_0} \\ &= \frac{3000}{6,36} \\ &= 471,70 \quad [\text{cm}^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{c,0} &= \frac{I_c}{n_0} \\ &= \frac{5,625}{6,36} \\ &= 0,88 \quad [\text{cm}^2\text{m}^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{i,0} &= A_{st} + A_{c,0} \\ &= 334 + 471,7 \\ &= 805,70 \quad [\text{cm}^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_{i,0} &= \frac{A_{st} \cdot a_{st}}{A_{i,0}} \\ &= \frac{334 \cdot 0,475}{805,70} \\ &= 0,197 \quad [\text{m}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{i,0} &= A_{c,0} \cdot z_{i,0} \\ &= 472 \cdot 0,20 \\ &= 92,88 \quad [\text{cm}^2\text{m}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{i,0} &= I_{st} + I_{c,0} + S_{i,0} \cdot a_{st} \\ &= 35,91 + 0,88 + 92,88 \cdot 0,475 \\ &= 80,91 \quad [\text{cm}^2\text{m}^2] \end{aligned}$$

- Querschnittswerte für ständige Beanspruchungen ($t = \infty$)

$$\begin{aligned} n_p &= n_0 \cdot (1 + \psi_p \cdot \varphi_t) \\ &= 6,36 \cdot (1 + 1,10 \cdot 1,8) \\ &= 18,95 \quad [-] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{c,p} &= 158,29 \quad [\text{cm}^2] \\ I_{c,p} &= 0,30 \quad [\text{cm}^2\text{m}^2] \end{aligned}$$

$$A_a = A_{st}$$

$$\begin{aligned} a_{st} &= \frac{h_c}{2} + \frac{h}{2} \\ &= 0,475 \quad [\text{m}] \end{aligned}$$

$$I_a = I_{st}$$

analog zu
"Querschnittswerte für
kurzzeitige
Beanspruchungen"
 $\varphi_t = 1800 \quad [-]$

$$\begin{aligned} A_{i,P} &= 492,29 \quad [\text{cm}^2] \\ z_{i,P} &= 0,322 \quad [\text{m}] \\ S_{i,P} &= 51,01 \quad [\text{cm}^2\text{m}] \\ I_{i,P} &= 60,44 \quad [\text{cm}^2\text{m}^2] \end{aligned}$$

- Querschnittswerte für Beanspruchungen infolge Schwinden ($t = \infty$)

$$\begin{aligned} n_S &= n_0 \cdot (1 + \psi_S \cdot \varphi_t) \\ &= 6,36 \cdot (1 + 0,55 \cdot 1,8) \\ &= 12,66 \quad [-] \end{aligned}$$

analog zu
"Querschnitts-werte für
kurzzeitige
Beanspruchungen"

$$n_S = n_{PT}$$

$$\begin{aligned} A_{c,S} &= 237,03 \quad [\text{cm}^2] \\ I_{c,S} &= 0,44 \quad [\text{cm}^2\text{m}^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{i,S} &= 571,03 \quad [\text{cm}^2] \\ z_{i,S} &= 0,278 \quad [\text{m}] \\ S_{i,S} &= 65,86 \quad [\text{cm}^2\text{m}] \\ I_{i,S} &= 67,64 \quad [\text{cm}^2\text{m}^2] \end{aligned}$$

- Moment M_S infolge Schwinden

$$\varepsilon_{cs} = -30 \cdot 10^{-5} \quad [-]$$

$$\begin{aligned} N_S &= \varepsilon_{cs} \cdot \left(\frac{n_0}{n_S} \right) \cdot E_{cm} \cdot A_c \\ &= -30 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{6,36}{12,66} \right) \cdot 3300 \cdot 3000 \\ &= -1492,5 \quad [\text{kN}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_S &= N_S \cdot z_{i,S} \\ &= -1492 \cdot -0,28 \\ &= 414,6 \quad [\text{kNm}] \end{aligned}$$

- Spannungen infolge ständiger Beanspruchungen

$$\begin{aligned} \sigma_{St,P,u} &= \left(\frac{M_a}{I_a} \right) \cdot \left(-\frac{h_a}{2} \right) + \left(\frac{M_{c,stä.}}{I_{i,P}} \right) \cdot \left(-\frac{h_c}{2} + h_a - z_{i,P} \right) \\ &= \left(\frac{67,9}{35,9} \right) \cdot \left(-\frac{0,80}{2} \right) + \left(\frac{1985}{60,4} \right) \cdot \left(-\frac{0,15}{2} + 0,80 - 0,32 \right) \\ &= 18,913 \quad [\text{kN/cm}^2] \end{aligned}$$

- Spannungen infolge veränderlicher Beanspruchungen

$$\begin{aligned} \sigma_{St,0,u} &= \left(\frac{M_{c,ver.}}{I_{i,0}} \right) \cdot \left(-\frac{h_c}{2} + h_a - z_{i,0} \right) \\ &= \left(\frac{1440}{80,9} \right) \cdot \left(-\frac{0,15}{2} + 0,80 - 0,20 \right) \\ &= 12,068 \quad [\text{kN/cm}^2] \end{aligned}$$

- Spannungen infolge Schwinden

$$\begin{aligned}\sigma_{St,S,u} &= \frac{N_s}{A_{i,s}} + \left(\frac{M_s}{I_{i,s}} \right) \cdot \left(\frac{h_c}{2} + h_a - z_{i,s} \right) \\ &= \frac{-1492}{571,0} + \left(\frac{414,6}{67,6} \right) \cdot \left(\frac{0,15}{2} + 0,80 - 0,597 \right) \\ &= 1,047 \quad [\text{kN/cm}^2]\end{aligned}$$

- Gesamtspannungen für $t = \infty$

$$\begin{aligned}\sigma_{St,u} &= 18,91 + 12,07 + 1,05 \\ &= 32,029 \quad [\text{kN/cm}^2]\end{aligned}$$

- Nachweis

$$\begin{aligned}& ! \\ \sigma_{St,u} &\leq f_{yd} \\ 32,0 &\leq 35,5 \quad [\text{kN/cm}^2]\end{aligned}$$