

Prüfung SS 2019 Stahlbau II

Prüfungszeit 90 Minuten

Prof. Dr.-Ing. habil. Marcus Rutner

Institut für Metall- und Verbundbau

Hamburg, den 29. Juli 2019

Name: _____

Vorname: _____

Matrikelnummer: _____

Berechnungsnorm: **DIN EN 1993**

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punktzahl
1)	45	
2)	45	
Summe	90	
		Note:

Bearbeitungshinweise:

- Alle Blätter sind mit Namen und Matrikelnummer zu versehen.
- Es dürfen keine grünen Farbstifte verwendet werden.
- Lösungen sind so darzustellen, dass der Lösungsweg lückenlos nachvollziehbar ist.
- Hilfsmittel sind zugelassen, jedoch keine elektronischen Geräte außer dem Taschenrechner.
- Das Mitführen von Kommunikationsmitteln ist untersagt.

Aufgabe 1 (45 Punkte)

Gegeben ist der unten auf Abb. 1 dargestellte beidseitige Fahnenblechanschluss an eine durchgehende Stütze. Die Trägerprofile sind IPE 360 (S235) und das Stützenprofil ist ein Quadratrohr 350 x 10 (S235). Geometrie und Belastung sind symmetrisch bezüglich der Stützenachse. Die gegebenen Lastwerte sind Bemessungswerte.

- Führen Sie alle erforderlichen Nachweise zum Anschluss in Abb. 1.
- Eine andere Variante dieses Anschlusses sieht ein für beide Träger gemeinsames Fahnenblech vor. Dieses Blech ist durch zwei Längsschlitzte im Stützenprofil durchgesteckt und dann von außen mit diesem verschweißt (Abb. 2 auf der nächsten Seite). Ansonsten bleibt alles wie in der Variante von Abb. 1. Überprüfen Sie die Tragfähigkeit des Anschlusses in Abb 2.
- Welche der beiden Varianten ist günstiger? Begründen Sie Ihre Antwort.

Nicht gegebene Größen sind, soweit für die Berechnung erforderlich, sinnvoll zu wählen.

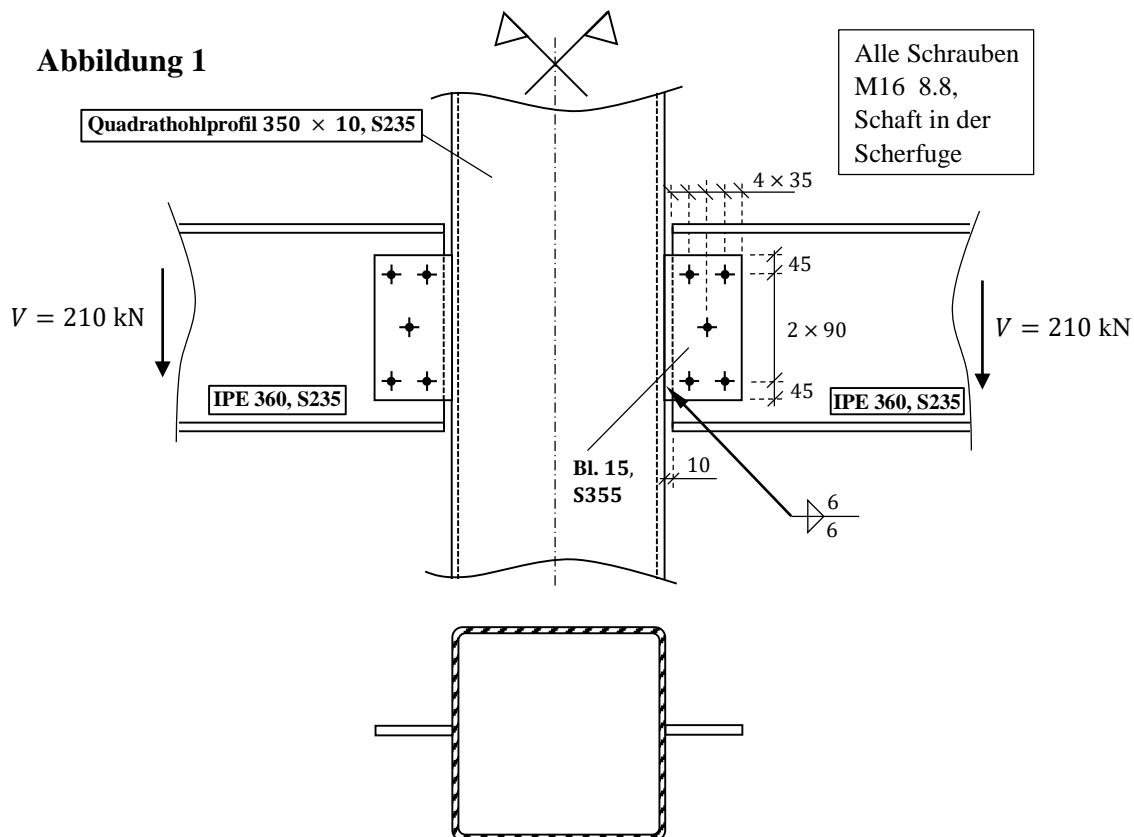
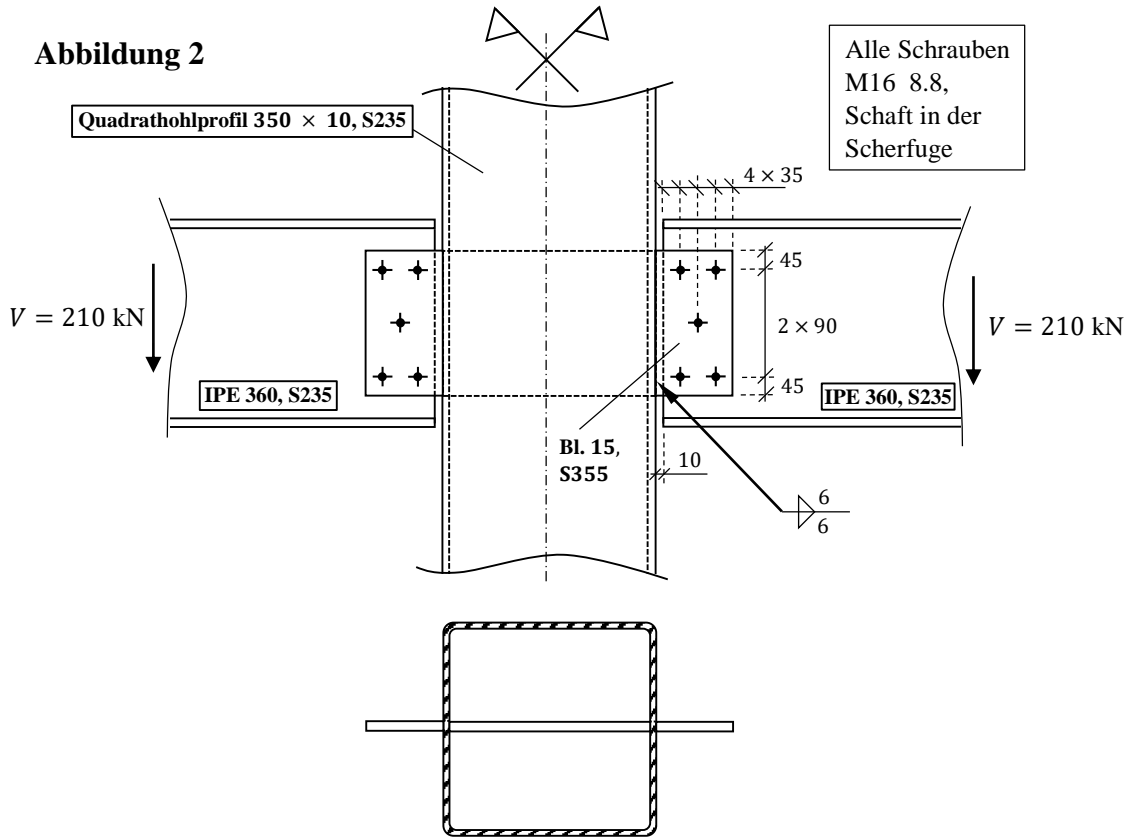


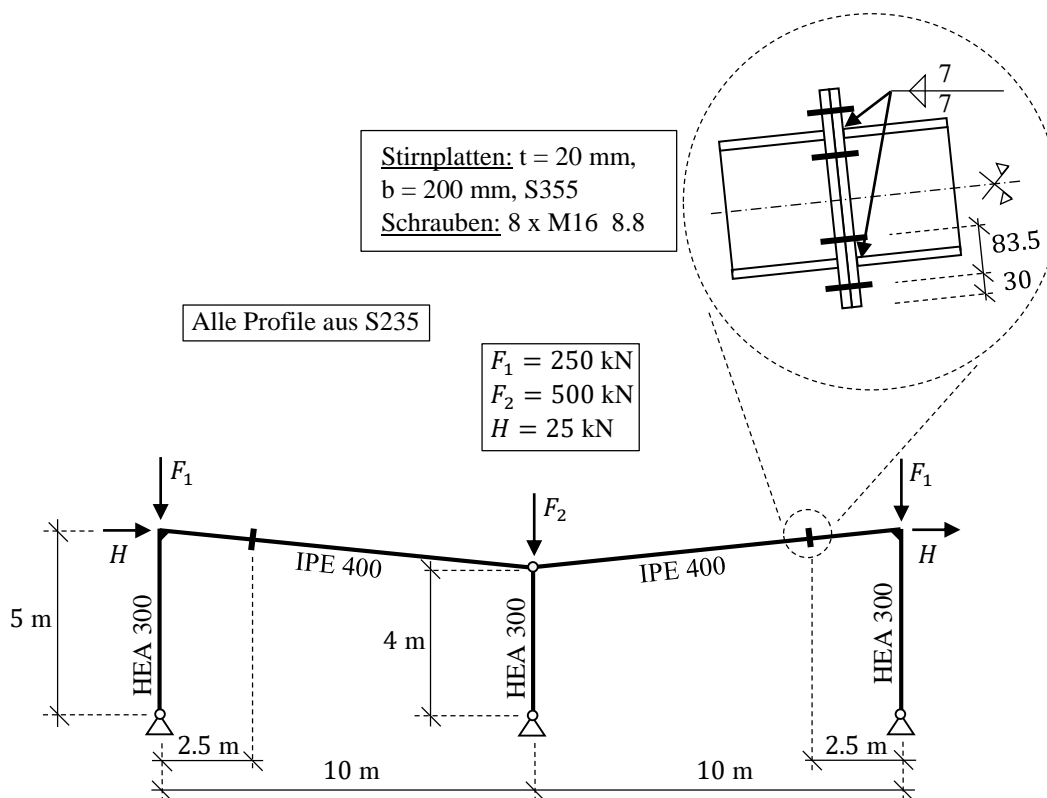
Abbildung 2



Aufgabe 2 (45 Punkte)

Für den unten dargestellten 2-schiffigen Rahmen sind folgende Untersuchungen durchzuführen:

- Berechnen Sie die Schnittgrößenverläufe nach Theorie 2. Ordnung und überprüfen Sie die Querschnittstragfähigkeit des Stützen- und des Riegelprofils.
- Überprüfen Sie die Tragfähigkeit der biegesteifen Stirnplattenstöße, die in den zwei Riegeln im Abstand von 2.5 m von der jeweiligen Außenstütze ausgeführt sind. Die Stellen dieser Stöße sind in der Abbildung durch Querstriche markiert.
- Wie würden sich die Schnittgrößen nach Theorie 2. Ordnung ändern, wenn die Mittelstütze nach oben verlängert würde, so dass die Dachneigung nach außen und nicht nach innen hergestellt wird? Begründen Sie Ihre Antwort.



Hinweise:

- Alle Profile sind so angeordnet, dass sie bei Belastung in der Rahmenebene um ihre starke Achse gebogen werden.
- Ein Versagen aus der Rahmenebene sowie eine Profilverdrillung sind ausgeschlossen.
- Eine Anfangsschiefstellung braucht nicht angesetzt zu werden. Die Effekte einer solchen Schiefstellung sind in der angegebenen Horizontallast schon enthalten.
- Bei den gegebenen Lastwerten handelt es sich um Bemessungswerte.
- Nicht gegebene Größen sind, soweit für die Berechnung erforderlich, sinnvoll zu wählen.
- Die Normalkraft und die Querkraft im Riegel sind hinreichend klein und können für die Querschnittstragfähigkeitsnachweise vernachlässigt werden.

MUSTERLÖSUNG

Die Hinweise zu Tafeln und Tabellen beziehen sich auf Schneider Bautabellen 22. Auflage

Aufgabe 1:

a)

Beanspruchung des Fahnenblechs

$$M_T = 210 \text{ kN} \cdot \frac{1,5 \text{ cm} + 0,8 \text{ cm}}{2} = 241,5 \text{ kNcm}$$

$$M_y = 210 \text{ kN} \cdot 4,5 \text{ cm} = 945 \text{ kNcm}$$

$$V_z = 210 \text{ kN}$$

1. Spannungs-/Querschnittsnachweis Fahnenblech:

Nachweis Schubspannung:

$$\tau_{\max} = \frac{M_T}{h \cdot \frac{t^2}{3}} + \frac{V_z \cdot 1,5}{h \cdot t} = \tau_{M_T} + \tau_V = \frac{241,5 \text{ kNcm}}{27 \text{ cm} \cdot \frac{1,5^2 \text{ cm}^2}{3}} + \frac{210 \text{ kN} \cdot 1,5}{27 \text{ cm} \cdot 1,5 \text{ cm}}$$

$$= 11,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} + 7,77 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 19,67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 20,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \frac{35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3}} = \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

⇒ Nachweis erfüllt.

Nachweis Normalspannung:

- $A_{\text{net}} = t \cdot (h - n \cdot d_0) = 1,5 \text{ cm} \cdot (27 \text{ cm} - 2 \cdot 1,8 \text{ cm}) = 35,1 \text{ cm}^2$
 $A_{\text{br}} = t \cdot h = 1,5 \text{ cm} \cdot 27 \text{ cm} = 40,5 \text{ cm}^2$

$$\frac{0,9 \cdot A_{\text{net}} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \leq \frac{A_{\text{br}} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\Rightarrow \frac{0,9 \cdot 35,1 \text{ cm}^2 \cdot 49 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 1238 \text{ kN} < 1438 \text{ kN} = \frac{40,5 \text{ cm}^2 \cdot 35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0}$$

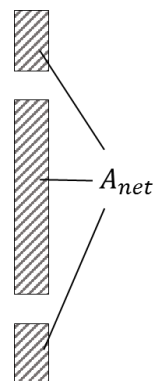
⇒ Nettoquerschnitt maßgebend.

$$I_{\text{net}} = \frac{h^3 \cdot t}{12} - 2 \cdot d_0 \cdot t \cdot z^2 = \frac{27^3 \text{ cm} \cdot 1,5 \text{ cm}}{12} - 2 \cdot 1,8 \text{ cm} \cdot 1,5 \cdot 9^2 \text{ cm}$$

$$= 2023 \text{ cm}^4$$

$$W_{\text{net}} = \frac{I_{\text{net}}}{\frac{h}{2}} = \frac{2023 \text{ cm}^4}{\frac{27 \text{ cm}}{2}} = 149,9 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \frac{M}{W_{\text{net}}} = \frac{945 \text{ kNcm}}{149,9 \text{ cm}^3} = 6,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = f_y$$



⇒ Nachweis erfüllt.

Nachweis Vergleichsspannung:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau_{M_T}^2} = \sqrt{6,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} + 3 \cdot 11,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 21,55 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = f_y$$

Schraubenbeanspruchung

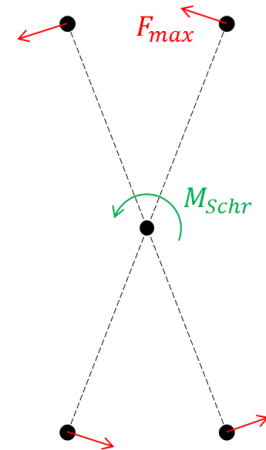
$$M_{\text{Schr}} = 210 \text{kN} \cdot (1 \text{cm} + 2 \cdot 3,5 \text{cm}) = 1680 \text{kNcm}$$

$$I_p = I_z + I_y = \sum z_i^2 + \sum y_i^2 = 4 \cdot (9 \text{cm})^2 + 4 \cdot (3,5 \text{cm})^2 = 373 \text{cm}^2$$

$$F_{x,\text{max}} = \frac{M_{\text{Schr}}}{I_p} \cdot z_{\text{max}} = \frac{1680 \text{kNm}}{373 \text{cm}^2} \cdot 9 \text{cm} = 40,5 \text{kN}$$

$$F_{z,\text{max}} = \frac{1680 \text{kNm}}{373 \text{cm}^2} \cdot 3,5 \text{cm} + \frac{210 \text{kN}}{5} = 57,8 \text{kN}$$

$$F_{\text{res,max}} = \sqrt{40,5^2 \text{kN} + 57,8^2 \text{kN}} = 70,6 \text{kN}$$



2. Nachweis Abscheren:

$$F_{v,\text{Ed}} = F_{\text{res,max}} = 70,6 \text{kN} < 77,2 \text{kN} = F_{v,\text{Rd}} \text{ (aus Tafel 8.50c für M16 8.8)}$$

⇒ Nachweis erfüllt.

3. Nachweis Lochleibung: (siehe Tafel 8.53 u. 8.52b)

3.1. Nachweis Lochleibung Steg, vertikal

$$p_1 = 90 \text{mm}$$

$$e_1 = 180 \text{mm}$$

$$t_w = 0,8 \text{cm}$$

$$F_{b,\text{Rd},z} = 115,2 \text{kN} \cdot 0,8 \text{cm} \cdot 1,0 = 92 \text{kN}$$

$$\frac{F_{b,\text{Ed},z}}{F_{b,\text{Rd},z}} = \frac{57,8 \text{kN}}{92 \text{kN}} = 0,63 < 1,0 \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

3.2. Nachweis Lochleibung Steg, horizontal:

$$p_1 = 70 \text{mm}$$

$$e_1 = 35 \text{mm}$$

$$t_w = 0,8 \text{cm}$$

$$F_{b,\text{Rd},x} = 74,7 \text{kN} \cdot 0,8 \text{cm} \cdot 1,0 = 59,8 \text{kN}$$

$$\frac{F_{b,Ed,x}}{F_{b,Rd,x}} = \frac{40,5\text{kN}}{59,8\text{kN}} = 0,68 < 1,0 \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

3.3. Interaktion Lochleibung Steg

$$\left(\frac{F_{b,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2 + \left(\frac{F_{b,Ed,x}}{F_{b,Rd,x}}\right)^2 = 0,63^2 + 0,68^2 = 0,86 < 1,0$$

\Rightarrow Nachweis erfüllt.

3.4. Lochleibung Fahnenblech vertikal:

$$p_1 = 50\text{mm}$$

$$e_1 = 45\text{mm}$$

$$t_{Fb} = 1,5\text{cm}$$

$$F_{b,Rd,z} = 96\text{kN} \cdot 1,5\text{cm} \cdot 1,361 = 196\text{kN}$$

$$\frac{F_{b,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}} = \frac{57,8\text{kN}}{196\text{kN}} = 0,29 < 1,0 \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

3.5. Lochleibung Fahnenblech horizontal:

$$p_1 = 70\text{mm}$$

$$e_1 = 35\text{mm}$$

$$t_{Fb} = 1,5\text{cm}$$

$$F_{b,Rd,x} = 74,7\text{kN} \cdot 1,5\text{cm} \cdot 1,361 = 152,5\text{kN}$$

$$\frac{F_{b,Ed,x}}{F_{b,Rd,x}} = \frac{40,5\text{kN}}{152,5\text{kN}} = 0,27 < 1,0 \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

3.6. Interaktion Lochleibung Fahnenblech:

$$\left(\frac{F_{b,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2 + \left(\frac{F_{b,Ed,x}}{F_{b,Rd,x}}\right)^2 = 0,29^2 + 0,27^2 = 0,39 < 1,0$$

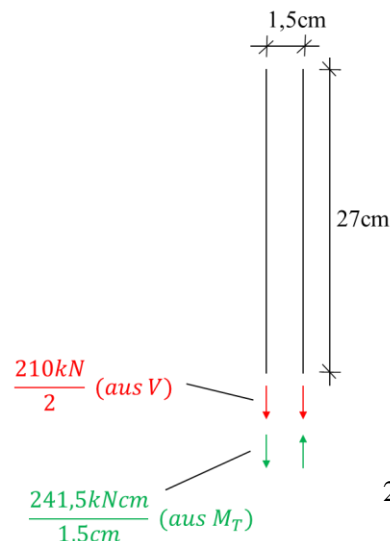
4. Nachweis der Schweißnaht Fahnenblech-Stütze:

$$\tau_{\parallel} = \frac{\frac{V_{Ed}}{2} + \frac{M_T}{t}}{a_w \cdot l_w} = \frac{\frac{210\text{kN}}{2} + \frac{241,5\text{kNcm}}{1,5\text{cm}}}{0,6\text{cm} \cdot 3 \cdot 9\text{cm}} = \frac{266\text{kN}}{0,6\text{cm} \cdot 27\text{cm}}$$

$$= 16,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Rightarrow \tau_{\parallel} = 16,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 21,55 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \sigma_v$$

\Rightarrow Nachweis erfüllt.



b)

- Bei der Anschlussvariante aus Abb.1 schließt das Fahnenblech an das Wandblech des kastenförmigen Stützenprofils an, welches von der anderen Seite nicht ausgesteift ist. Es handelt sich also um einen einseitigen Anschluss, bei dem die Gelenkwirkung an der Außenkante der Stütze durch die Nachgiebigkeit der Stützenwandung erfolgt. Das Versatzmoment muss von den Schrauben übertragen werden.
- Bei der anderen beidseitigen Anschlussvariante in Abb. 2 müssen die Schrauben nur die Vertikalkraft V übertragen, denn das maximale Moment an der Stützenprofilwand wird über das durchgehende Blech übertragen und bleibt konstant. Das Gelenk bildet sich hier durch Lochovalisierung im Schwerpunkt des Schraubenbildes.
- Die Situation in Abb. 1 ist für die Schrauben also ungünstiger, da dort zusätzlich auch ein Moment auf die Schrauben wirkt. Somit kann angenommen werden, dass die Schraubennachweise in Abb. 2 erfüllt sind.
- Für die Schweißnähte an der Stütze ändert sich in Abb. 2 nichts. Diese müssen nach wie vor V und M_T übertragen.
- σ und σ_v im Fahnenblech müssen neu nachgewiesen werden, da jetzt das maximale $M_y = 210 \cdot (1\text{cm} + 2 \cdot 3,5\text{cm}) = 1680\text{kNcm}$ beträgt und damit größer ist als Abb. 1.

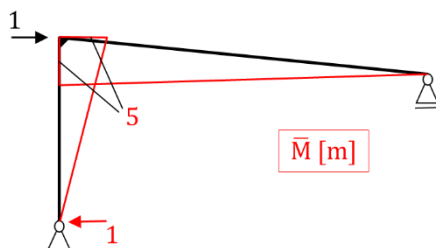
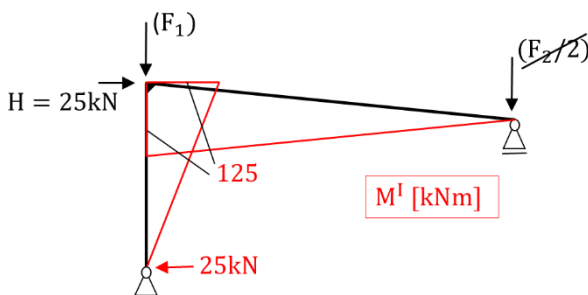
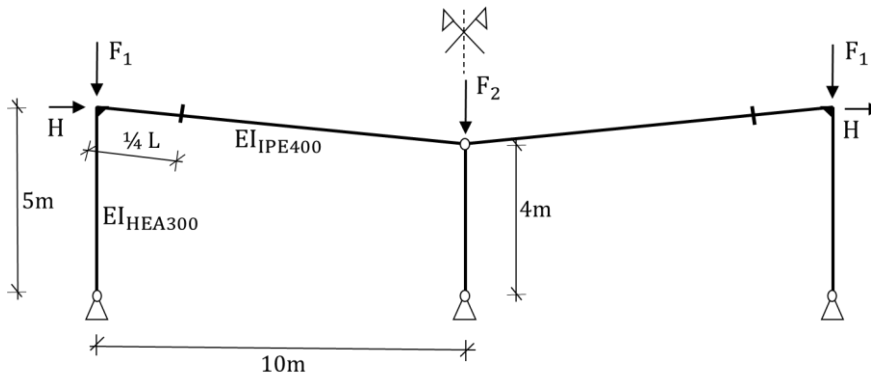
$$\sigma = \frac{1680\text{kNcm}}{27^2\text{cm} \cdot 1,5\text{cm}/6} = 9,2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = f_y \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

$$\sigma_v = \sqrt{\left(9,2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(11,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}\right)^2} = 22,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = f_y \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

- c) Da ein beidseitiger Anschluss einem einseitigen vorzuziehen ist, ist die Variante der Abb. 2 günstiger. Näheres dazu ist in b) erläutert.

Aufgabe 2:

a) Schnittgrößen nach Th.I.O.:



- Pendelstütze entspricht verschieblichem Lager
- Last F_2 wird direkt von der darunter liegenden Stütze übertragen
- Last F_1 und F_2 haben nach Th. I. O. keinen Einfluss auf den Momentenverlauf

Tragfähigkeitsnachweis nach Th. II. O:

Dischinger-Verfahren

$$L_{IPE400} = \sqrt{10^2\text{m} + 1^2\text{m}} = 10,05\text{m}$$

$$EI_{y,HEA300} = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 18260\text{cm}^4 \cdot 10^{-4} = 38436\text{kNm}^2$$

Mit $I_{y,HEA300} = 18260\text{cm}^4$ (aus Profilvereihen)

$$EI_{y,IPE400} = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 23130\text{cm}^4 \cdot 10^{-4} = 45873\text{kNm}^2$$

Mit $I_{y,IPE400} = 23130\text{cm}^4$ (aus Profilvereihen)

Horizontale Verschiebung bestimmen:

$$w_1 = \int \frac{M_I \cdot \bar{M}}{EI} = \frac{1}{3} \cdot \frac{125\text{kNm} \cdot 5\text{m} \cdot 5\text{m}}{38436\text{kNm}^2} + \frac{1}{3} \cdot \frac{125\text{kNm} \cdot 5\text{m} \cdot 10,05\text{m}}{45873\text{kNm}^2} = 0,073\text{m} = 7,3\text{cm}$$

Zusätzliche Abtriebskraft infolge der Schiefstellung (je Systemhälfte):

$$H_{w_1} = \sum_i N_i \cdot \varphi_i^I = 250\text{kN} \cdot \frac{7,3\text{cm}}{500\text{cm}} + \frac{500\text{kN}}{2} \cdot \frac{7,3\text{cm}}{400\text{cm}} = 8,21\text{kN}$$

mit $\varphi^I = \frac{w_1}{L}$

Dischinger Faktor: $\alpha = \frac{1}{1 - q} = \frac{1}{1 - 0,3284} = 1,49$

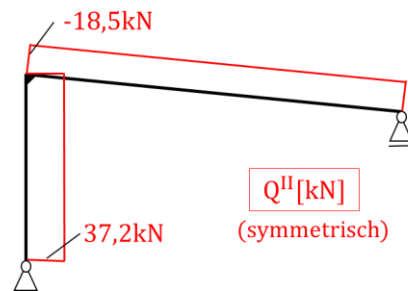
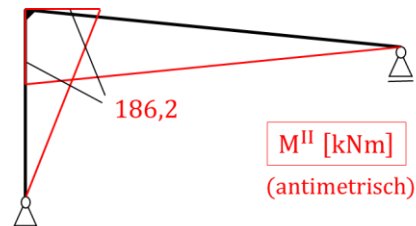
mit $q = \frac{H_{w_1}}{H} = \frac{8,21\text{kN}}{25\text{kN}} = 0,3284$

Schnittgrößen nach Th.II.O.:

$$M_{II} = M_I \cdot \alpha = 125\text{kNm} \cdot 1,49 = 186,2\text{kNm}$$

$$Q_{II,\text{Riegel}} = \frac{M_{II}}{L} = \frac{-186,2\text{kNm}}{10,05\text{m}} = 18,5\text{kN}$$

$$Q_{II,\text{Stütze}} = \frac{M_{II}}{L} = \frac{186,2\text{kNm}}{5\text{m}} = 37,2\text{kN}$$



Nachweis Stützenprofil:

$$Q_{II} = 37,2\text{kN} \leq V_{pl,Rd} \cdot 0,5 = 1140\text{kN} \cdot 0,5 = 540\text{kN}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_{II}}{W_{el,y,HEA300}} = \frac{250\text{kN}}{113\text{cm}^2} + \frac{18620\text{kNcm}}{1260\text{cm}^3} = 17 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,1} = 21,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

⇒ Nachweis erfüllt.

Nachweis Riegelprofil:

$$\sigma = \frac{M_{II}}{W_{el,y, IPE400}} = \frac{18620 \text{ kNcm}}{1160 \text{ cm}^3} = 16,1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,1} = 21,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

⇒ Nachweis erfüllt.

b) Stirnplattenstoß

$$N_{Fl} = \frac{M_{Ed}}{h - t_f} = \frac{\frac{3}{4} \cdot 186,2 \text{ kNm}}{40 \text{ cm} - 1,35 \text{ cm}} = 361 \text{ kN}$$

$$\sigma_{Fl} = \frac{N_{Fl}}{b \cdot t_f} = \frac{361 \text{ kN}}{18 \text{ cm} \cdot 1,35 \text{ cm}} = 14,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,1} = 21,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Nachweis der Übertragung der Zugkräfte in den Obergurt (T-Stummel):

(Siehe hierzu Tafel 8.69b)

- Modus I: Fließen der Platte, kein Schraubenfließen

$$m = a_1 - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 35 \text{ mm} - 0,8 \cdot 6 \text{ mm} \cdot \sqrt{2} = 28,2 \text{ mm}$$

$$M_{pl,Rd} = 0,25 \cdot b_p \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 20 \text{ cm} \cdot 2^2 \text{ cm} \cdot \frac{35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 710 \text{ kNcm}$$

$$F_{T1,Rd} = 4 \cdot \frac{M_{pl,Rd}}{m} = 4 \cdot \frac{710 \text{ kNcm}}{2,82 \text{ cm}} = \mathbf{1007,1 \text{ kN}}$$

- Modus II: Fließen der Platte und Schraubenfließen

$$n = e_{\min} = 30 \text{ mm} < 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 28,2 \text{ mm} = 35,25 \text{ mm} \Rightarrow \text{Erfüllt}$$

Aus Tafel 8.51a für M16 8.8 ablesen:

$$F_{t,Rd} = 90,4 \text{ kN}$$

$$F_{T2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 710 \text{ kNcm} + 3 \text{ cm} \cdot 4 \cdot 90,4 \text{ kN}}{2,82 \text{ cm} + 3 \text{ cm}} = \mathbf{430,4 \text{ kN}}$$

$$\text{Mit } M_{pl,2,Rd} = M_{pl,Rd} = 710 \text{ kNcm}$$

- Modus III: Reines Schraubenversagen

$$F_{T3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 4 \cdot 90,4\text{kN} = \mathbf{361,6\text{kN}}$$

Modus III ausschlaggebend. Nachweis:

$$\mathbf{N_{F1} = 361\text{kN} \approx 361,6\text{kN} = F_{T3,Rd}}$$

⇒ Der Stoß ausreichend dimensioniert.