

Prüfung SoSe 25 Stahlbau II

Prüfungszeit 90 Minuten

Prof. Dr.-Ing. Marcus Rutner

Institut für Metall- und Verbundbau

Hamburg, den 29. August 2025

Name:

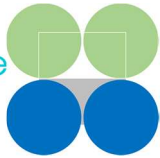
Vorname:

Matrikelnummer:

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 das auf Seite 3 dargestellte Statische System. Alle Informationen zur Geometrie, Belastung und Querschnitten sind der Skizze zu entnehmen. Das System wird mit einer Streckenlast $q_{V,Ed}$ von 10 kN/m, vertikalen Einzellasten $F_{V,1,Ed}$ von je 180 kN und einer vertikalen Einzellast $F_{V,2,Ed}$ von 50 kN belastet.

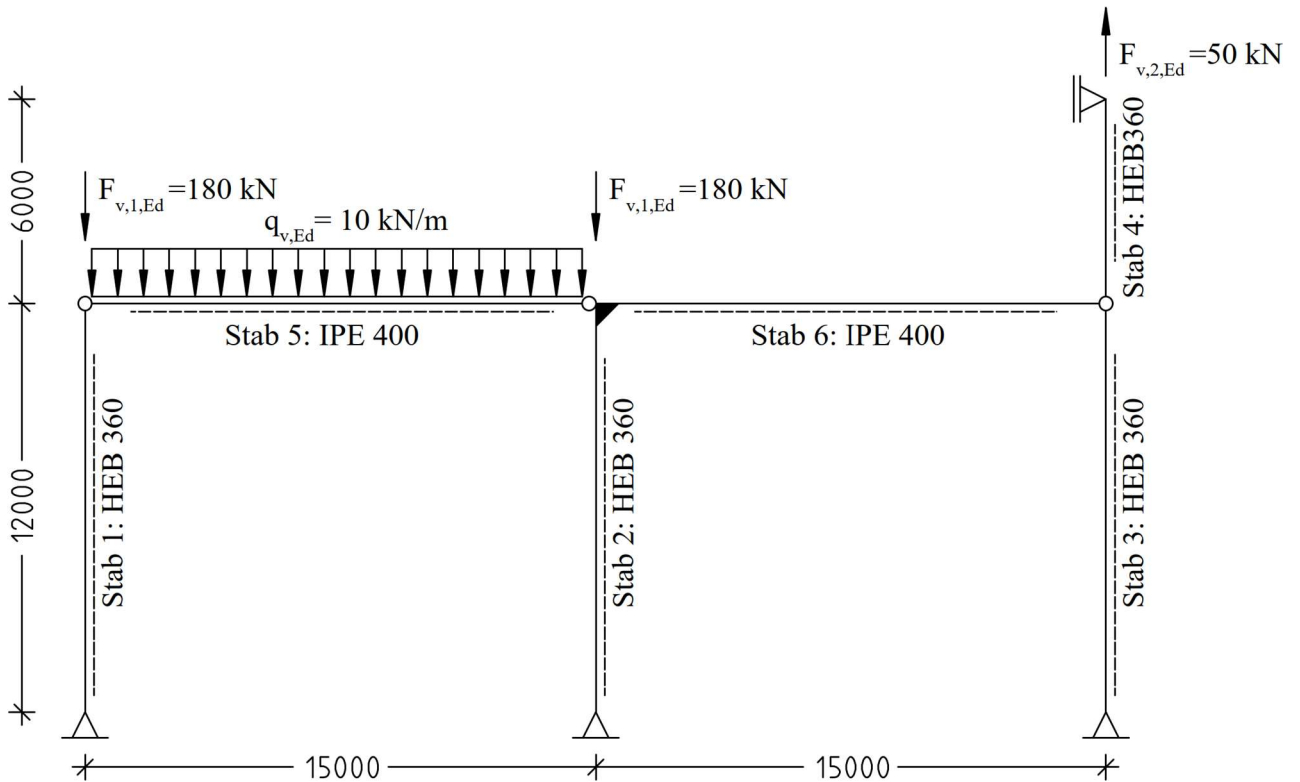
Folgende Teilaufgaben sind zu bearbeiten:

- a) Berechnen Sie die Normalkräfte in den Stützen aus allen Vertikallasten und anschließend die horizontale Abtriebskraft, die aus einer Schiefstellung der Stäbe 1,2 und 3 von 1/200 und des Stabs 4 von 1/100 resultiert.
- b) Ermitteln Sie die Schnittgrößenverläufe nach Theorie II. Ordnung.
- c) Überprüfen Sie die Querschnittstragfähigkeit des Stützen- und des Riegelprofils an den maßgebenden Stellen.

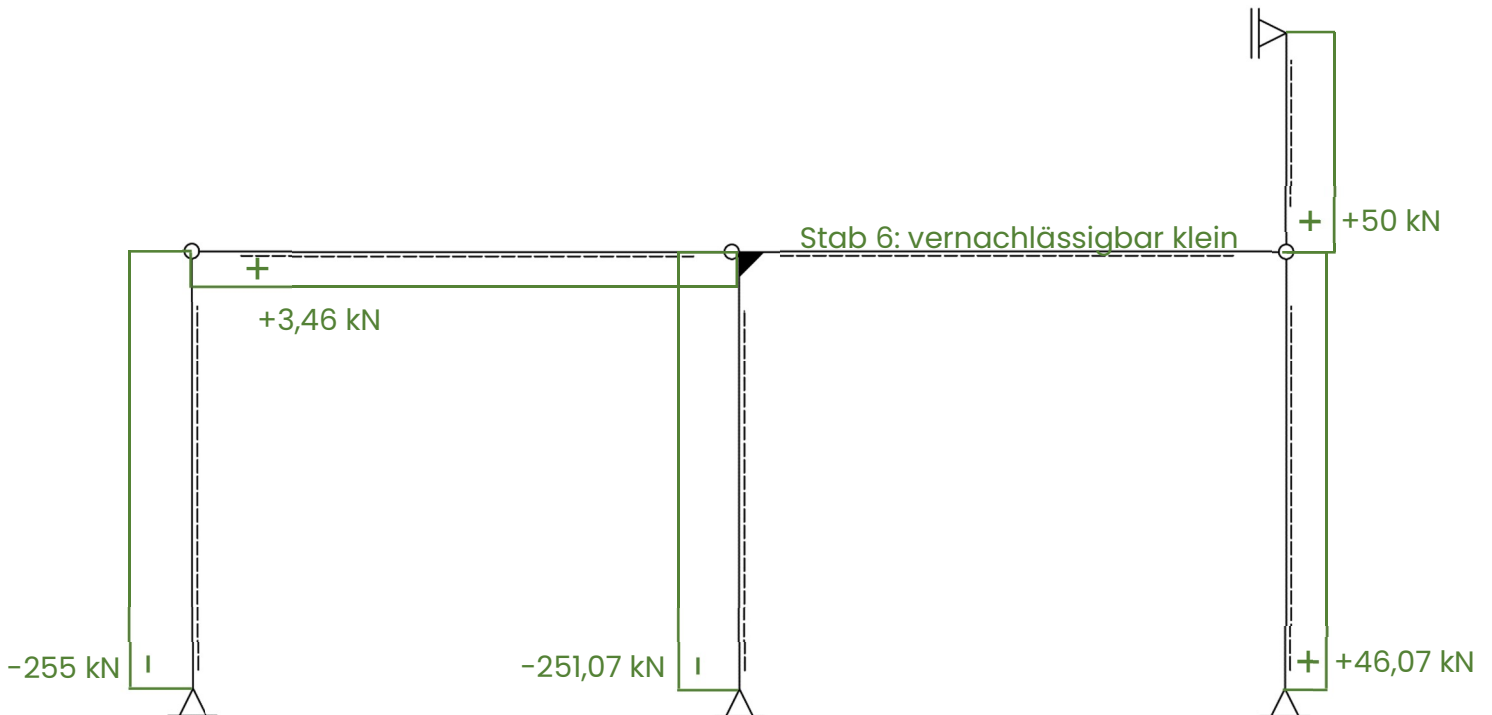
Hinweise:

- Das Material für alle Stäbe ist S 235.
- Die Abmessungen des Systems sind in mm.
- Das Eigengewicht der Stäbe muss nicht zusätzlich berücksichtigt werden.
- Die angegebenen Werte für die Lasten sind Bemessungswerte.
- Die Querschnitte sind so angeordnet, dass sie unter Lasten in der Systemebene um ihre starke Achse gebogen werden.
- Ein Versagen senkrecht zur Zeichenebene ist ausgeschlossen.

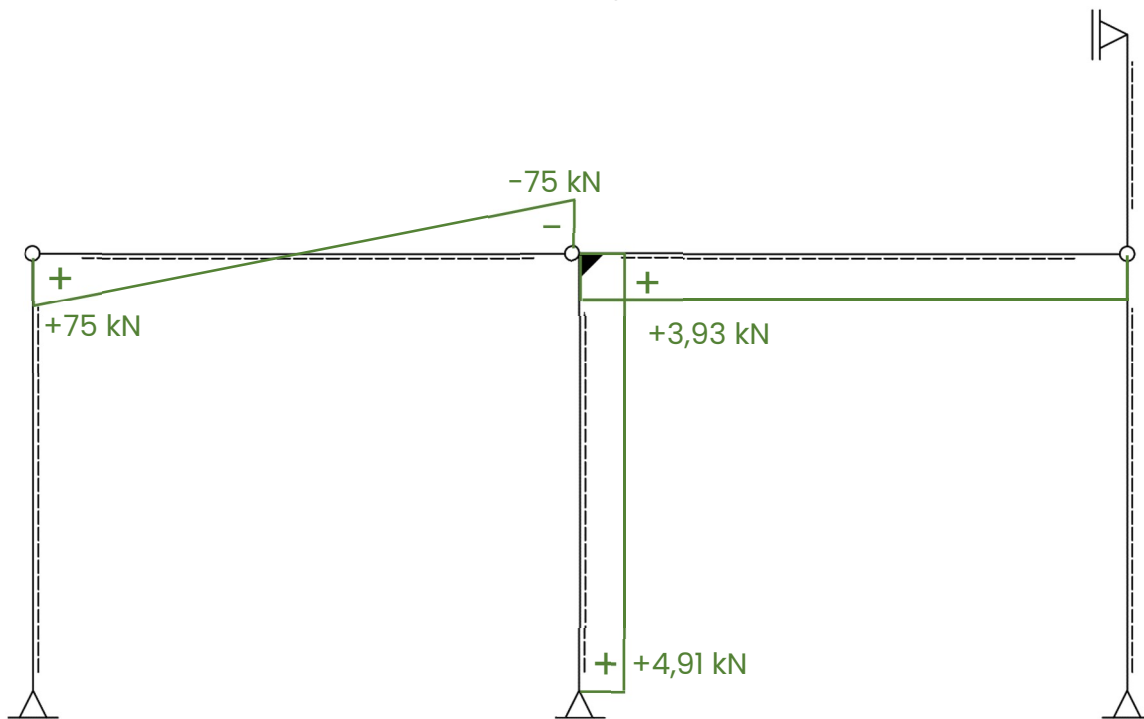
Statisches System:



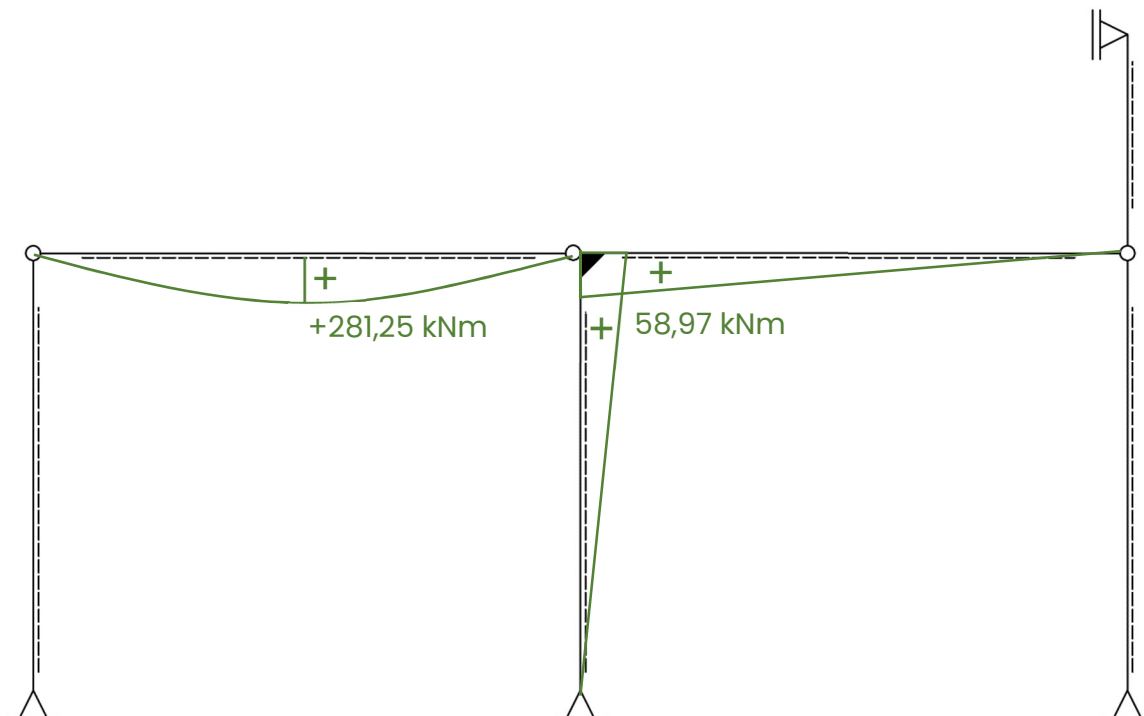
Normalkraftverlauf nach Theorie II. Ordnung:

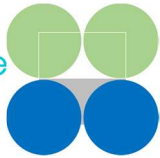


Querkraftverlauf nach Theorie II. Ordnung:



Momentenverlauf nach Theorie II. Ordnung:





Musterlösung:

Aufgabe 1 a) (6 Punkte)

Normalkräfte:

$$N_1^I = F_{V,1,Ed} + \frac{q_{V,Ed} * L}{2} = 180 + \frac{10 * 15}{2} = 255 \text{ kN (Druck)}$$

$$N_2^I = F_{V,1,Ed} + \frac{q_{V,Ed} * L}{2} = 180 + \frac{10 * 15}{2} = 255 \text{ kN (Druck)}$$

$$N_3^I = N_4^I = 50 \text{ kN (Zug)}$$

Horizontale Gesamtabtriebskraft infolge Anfangsschiefstellung der normalkraftbeanspruchten Stützen:

Die jeweiligen anzusetzenden Anfangsschiefstellungen sind in Form von Schiefstellungswinkeln gegeben. Die zugbeanspruchten Stützen haben eine stabilisierende Wirkung auf das Tragwerk und gehen daher negativ in die Berechnung der Gesamtabtriebskraft ein.

$$H = \sum N_i * \phi_i = 2 * 255 * \frac{1}{200} - 50 * \frac{1}{200} - 50 * \frac{1}{100} = 1,8 \text{ kN}$$

Die berechnete horizontale Gesamtabtriebskraft muss durch das aussteifende System des Tragwerks abgetragen werden. Für die Ermittlung des korrekten Normalkraftverlaufs infolge H ist es jedoch wichtig zu beachten, dass diese Last keine einzelne äußere Einwirkung ist, sondern aus der Schiefstellung der jeweiligen normalkraftbeanspruchten Stützen resultiert. Somit wirkt H eigentlich aufgeteilt und einzeln je Anteil an den jeweiligen Stützenköpfen.

Aufgabe 1 b) (27 Punkte)

Momentenverlauf nach Th. I. O.:

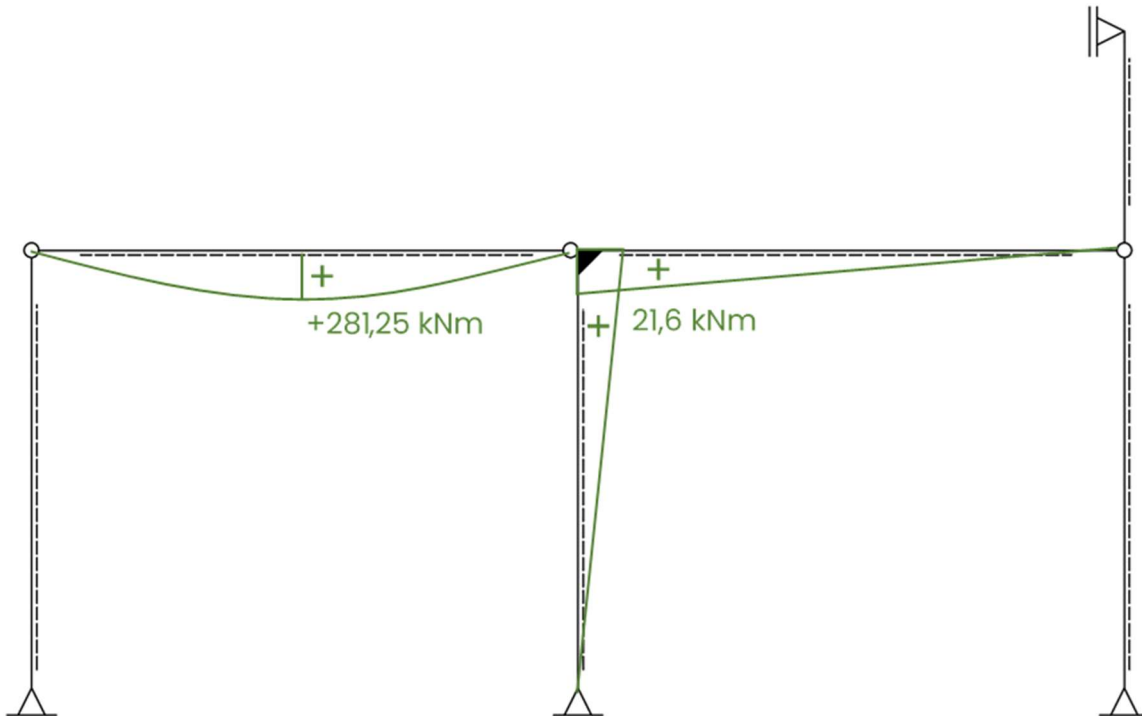
Streckenlast:

$$M_{q,Feld,5} = \frac{q_{V,Ed} * L^2}{8} = \frac{10 * 15^2}{8} = 281,25 \text{ kNm (keine Vergrößerung durch Th. II. O.)}$$

H-Last:

$$M_H^I = H * h_1 = 1,8 * 12 = 21,6 \text{ kNm}$$

Das aussteifende System des Tragwerks für den Horizontallastabtrag wird durch den einhüftigen Rahmen gebildet.



Berechnung der horizontalen Verschiebung nach Th. I. O.:

Virtueller Momentenverlauf am aussteifenden System:

$$\bar{M} = "1" * h_1 = 1 * 12 = 12 \text{ m}$$

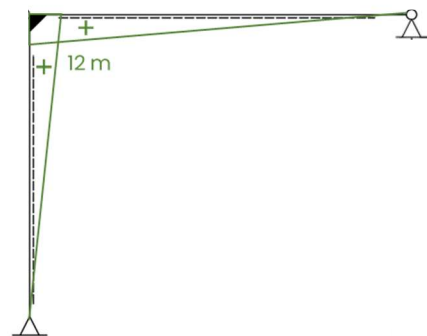
EI:

$$EI_{Riegel} = 21000 * 23130 * 10^{-4} = 0,49 * 10^5 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{Stütze} = 21000 * 43190 * 10^{-4} = 0,91 * 10^5 \text{ kNm}^2$$

Verschiebung:

$$f^I = \int \frac{M^I * \bar{M}}{EI} = \frac{1}{3} * 21,6 * 12 * 15 + \frac{1}{3} * 21,6 * 12 * 12 = 0,038 \text{ m}$$

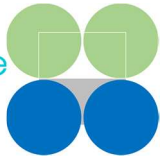


Ermittlung der Schnittgrößen nach Th. II. O.

$$\Delta H = \sum N_i * \phi_i = \sum N_i * \frac{f^I}{h_i} = 2 * 255 * \frac{0,038}{12} - 50 * \frac{0,038}{12} - 50 * \frac{0,038}{6} = 1,14 \text{ kN}$$

Vergrößerungsfaktor:

$$\frac{1}{1 - \frac{\Delta H}{H}} = \frac{1}{1 - \frac{1,14}{1,8}} = 2,73$$



Momentenverlauf nach Th. II. O.:

$$M_2^{II} = M_6^{II} = M^I * \frac{1}{1 - \frac{\Delta H}{H}} = 21,6 * 2,73 = 58,97 \text{ kNm}$$

Querkraftverlauf nach Th. II. O. als Ableitung des linearen Momentenverlaufs:

Riegel:

$$Q_6^{II} = \frac{M^{II}}{L} = \frac{58,97}{15} = 3,93 \text{ kN}$$

Stütze:

$$Q_2^{II} = \frac{M^{II}}{h_1} = \frac{58,97}{12} = 4,91 \text{ kN}$$

Normalkraftverlauf nach Th. II. O.:

Gesamthorizontalkraft nach Th. II. O., die durch das aussteifende System abgetragen werden muss:

$$H^{II} = H * \frac{1}{1 - \frac{\Delta H}{H}} = 1,8 * 2,73 = 4,91 \text{ kN}$$

Der Lastabtrag vom aussteifenden System in die Lager erfolgt über ein vertikales Kräftepaar in den Stützen 2 und 3:

$$N_2^{II} = N_2^I - H^{II} * \frac{h_2}{L} = 255 - 4,91 * \frac{12}{15} = 251,07 \text{ kN (Druck)} \rightarrow \text{Druckkraft in Stütze 2 von der eine Zugkraft abgezogen wird}$$

$$N_3^{II} = N_3^I + H^{II} * \frac{h_2}{L} = 50 + 4,91 * \frac{12}{15} = 46,07 \text{ kN (Zug)} \rightarrow \text{Zugkraft in Stütze 3 von der eine Druckkraft abgezogen wird}$$

Über Stab 5 wird die linke Stütze (Stab 1) mit dem aussteifenden System verbunden und stabilisiert:

$$N_5^{II} = N_1^I * \frac{1}{200} + N_1^I * \frac{1}{1 - \frac{\Delta H}{H}} * \frac{f^I}{h_1} = 255 * \frac{1}{200} + 255 * 2,73 * \frac{0,038}{12} = 3,46 \text{ kN}$$

Aufgabe 1 c) (12 Punkte)

Überprüfung der Querschnittstragfähigkeit:

Riegel:

Maßgebend ist der linke Riegel (Stab 5). Die Querkraft ist an den jeweiligen Stabenden maximal. Die mögliche Berücksichtigung einer Interaktion kann

aufgrund der geringen Ausnutzung ($n_v < 0,5$) für alle Stababschnitte ausgeschlossen werden. Der maßgebende Spannungsnachweis für Normalkraft- und Biegebeanspruchung wird in Feldmitte des Stabs 5 geführt. Da gemäß Aufgabenstellung lediglich die Querschnittsnachweise gefordert werden, gibt es **in diesem Fall** keinen Punktabzug wenn mit γ_{M0} gerechnet wurde.

$$M_{Ed}^I = 281,25 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^I = 3,46 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}^I = 75 \text{ kN}$$

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}^I}{A} + \frac{M_{Ed}^I}{W_{y,el}} = \frac{3,46}{84,5} + \frac{281,25 \cdot 10^2}{1160} = 24,29 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > \sigma_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{23,5}{1,1} = 21,36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}^I}{A_v} = \frac{75 \text{ kN}}{42,7 \text{ cm}^2} = 1,76 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \tau_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1} \cdot \sqrt{3}} = \frac{23,5}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = 12,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Stütze:

Maßgebend ist die mittlere Stütze (Stab 2). Die mögliche Berücksichtigung einer Querkraftinteraktion kann aufgrund der geringen Ausnutzung ($n_v < 0,5$) für alle Stababschnitte ausgeschlossen werden.

$$M_{Ed}^I = 58,79 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^I = 251,07 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}^I = 4,91 \text{ kN}$$

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}^I}{A} + \frac{M_{Ed}^I}{W_{y,el}} = \frac{251,07}{180,6} + \frac{58,79 \cdot 10^2}{2400} = 3,85 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \sigma_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{23,5}{1,1} = 21,36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}^I}{A_v} = \frac{4,91 \text{ kN}}{61} = 0,08 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \tau_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1} \cdot \sqrt{3}} = \frac{23,5}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = 12,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

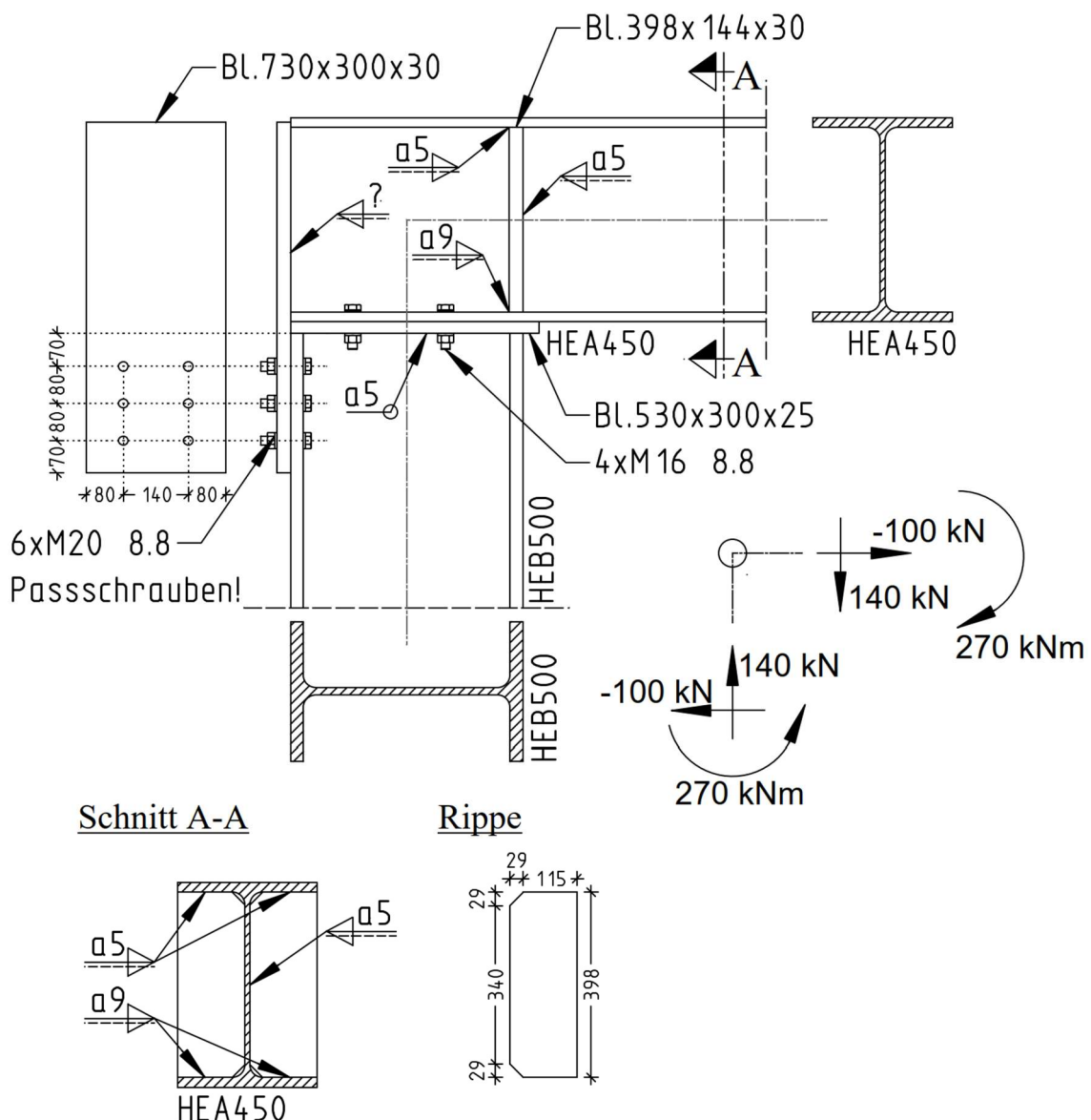
Aufgabe 2 (45 Punkte)

Für die unten dargestellte biegesteife Rahmenecke sind folgende Nachweise zu führen:

- Nachweis des Rahmeneckblechs
- Ermittlung der mit Fragezeichen markierten Schweißnahtdicke
- Alle Nachweise zum geschraubten Flanschanschluss des HEB 500
- Nachweis der Schweißnähte an den Stegrippen
- Nachweis der Schrauben an der Kopfplatte des HEB 500.

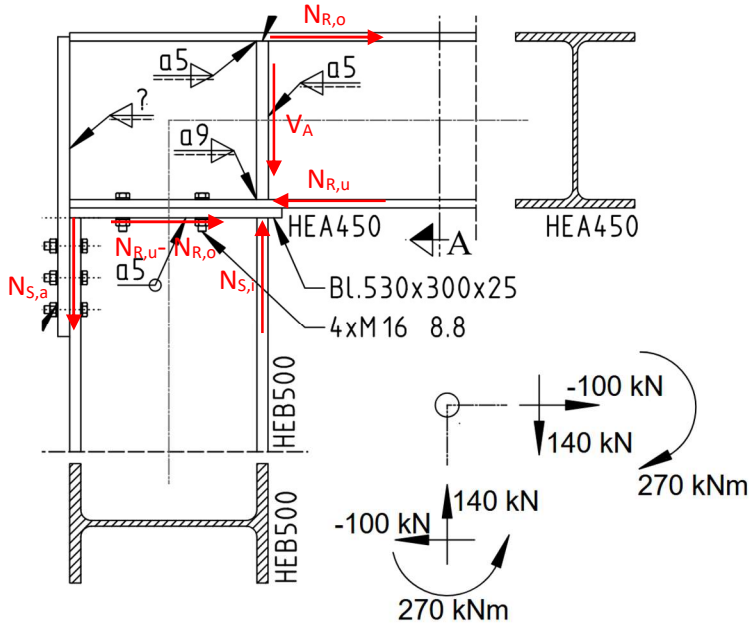
Hinweise:

- Das Material für alle Bleche und Profile ist S 235.
- Bei allen Schrauben liegt die Scherfuge im Schaft.

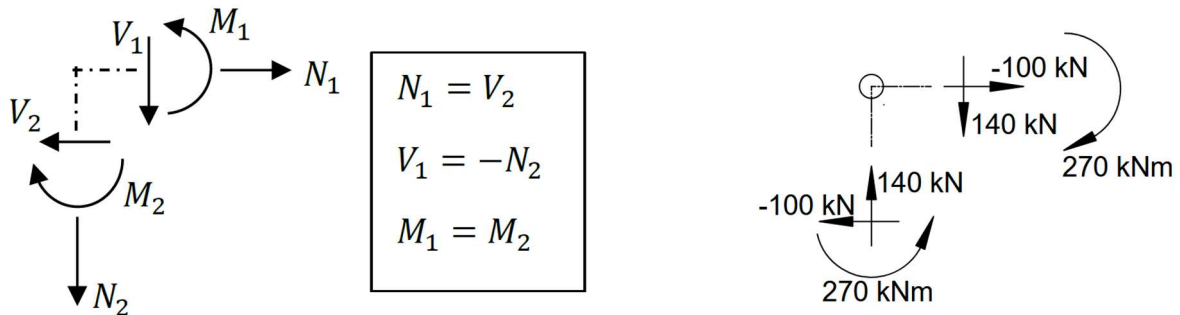


Musterlösung

Aufteilung der Kräfte:



Zur Aufteilung der Kräfte wird der Übersicht halber der Rechenweg aus HÜ 5 genutzt. Es ist darauf zu achten, dass die Schnittgrößen und ihre Vorzeichen richtig eingehen. Für eine bessere Übersichtlichkeit werden die gegebenen Schnittgrößen in die in der HÜ vorgestellte Vorzeichenkonvention überführt, die wie folgt aussieht:



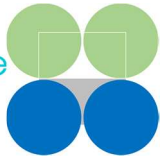
Es ergibt sich:

$N_1 = V_2 = -100 \text{ kN}$ Pfeil zeigt auf beiden Abbildungen in gleiche Richtung

$V_1 = 140 \text{ kN}$ Pfeil zeigt auf beiden Abbildungen in gleiche Richtung

$N_2 = -V_1 = -140 \text{ kN}$ das Minus hier entspricht quasi dem umgedrehten Pfeil für N_2 aus der Aufgabenstellung der Klausur

$M_1 = -270 \text{ kNm} = M_2$ Pfeil in Klausuraufgabe umgedreht



Aufgabe 2 a) (5 Punkte)

Berechnung der Einwirkung

Im ersten Schritt können nun die Schnittgrößen im Anschnitt rechts unmittelbar neben den Rippen ermittelt werden:

$$N_A = N_1 = -100 \text{ kN}$$

$$V_A = V_1 = 140 \text{ kN}$$

$$M_A = M_1 + V_1 * \frac{h_S}{2} = -270 + 140 * \frac{0,5}{2} = -235 \text{ kNm}$$

$$h_1 = h_R - t_{f,R} = 440 - 21 = 419 \text{ mm}$$

Die maßgebende Kraft zur Bestimmung der Schubspannung ist $N_{R,o}$:

$$N_{R,o} = -\frac{M_A}{h_1} + \frac{N_A}{2} = -\frac{-235}{0,419} + \frac{-100}{2} = 510,86 \text{ kN}$$

Schubspannung im Rahmeneckblech

Durch die Zeichnung ist erkennbar, dass das Eckblech durch den Steg des Riegelprofils (HEA 450) gebildet wird.

$$\begin{aligned} \tau_{Ed,o} = \tau_{Ed,u} &= \frac{N_{R,o}}{(h_S - 2 * t_{f,S}) * t_{w,R}} = \frac{510,86}{(50 - 2 * 2,8) * 1,15} = 10,01 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} \\ &= \frac{23,5}{\sqrt{3} * 1,0} = 13,6 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

Schubbeulen im Rahmeneckblech

$$\frac{h_w}{t_{w,R}} = \frac{500 - 2 * 28}{11,5} = 38,61 \leq 72 * \frac{\epsilon}{\eta} = 72 * \frac{1,0}{1,2} = 60$$

Es muss kein zusätzlicher Schubbeulnachweis geführt werden.

Aufgabe 2 b) (6 Punkte)

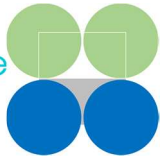
$$N_{R,o} = 510,86 \text{ kN}$$

$$h_1 = h_R - t_{f,R} = 440 - 21 = 419 \text{ mm}$$

$$h_2 = h_S - t_{f,S} = 500 - 28 = 472 \text{ mm}$$

$$N_{S,a} = N_{R,o} * \frac{h_1}{h_2} = 510,86 * \frac{0,419}{0,472} = 453,50 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \tau_{\parallel,Ed} &= \frac{N_{S,a}}{(h_R - 2 * t_{f,R} - 2 * r_R) * t_{w,R}} = \frac{453,50}{(44 - 2 * 2,1 - 2 * 2,7) * 2 * a_w} \leq \sigma_{w,Rd} \\ &= 20,78 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$



$$a_w \geq \frac{453,50}{(44 - 2 * 2,1 - 2 * 2,7) * 2 * 20,78} = 0,32 \text{ cm} \hat{=} 3,2 \text{ mm}$$

Auch in Ordnung:

$$\tau_{\parallel,Ed} = \frac{N_{S,a}}{(h_R - 2 * t_{f,R}) * t_{w,R}} = \frac{453,50}{(44 - 2 * 2,1) * 2 * a_w} \leq \sigma_{w,Rd} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$a_w \geq \frac{453,50}{(44 - 2 * 2,1) * 2 * 20,78} = 0,27 \text{ cm} \hat{=} 2,7 \text{ mm}$$

$$\min a_w \geq \sqrt{t_{max}} - 0,5 = \sqrt{30} - 0,5 = 4,97 \text{ mm}$$

Gewählt: $a_w = 5 \text{ mm}$

Aufgabe 2 c) (16 Punkte)

$$A_{BL30 \times 300} = 3 * 30 = 90 \text{ cm}^2$$

$$A_{Flans} = 2,8 * 30 = 84 \text{ cm}^2$$

$$A_{net} = A - n * d_0 * t = 90 - 2 * 2,1 * 3,0 = 77,4 \text{ cm}^2$$

$$A_{net} = A - n * d_0 * t = 84 - 2 * 2,1 * 2,8 = 72,24 \text{ cm}^2$$

Nachweis für Zugbeanspruchung:

$$N_{S,a} = 453,50 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{84 * 23,5}{1,0} = 1974 \text{ kN} \\ N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 72,24 * 36,0}{1,25} = 1872,46 \text{ kN} \end{array} \right.$$

Auch in Ordnung:

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{90 * 23,5}{1,0} = 2115 \text{ kN} \\ N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 77,4 * 36,0}{1,25} = 2006,21 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{453,50}{1872,46} = 0,24 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{453,50}{2006,21} = 0,23 \leq 1,0$$

Nachweis der Schrauben auf Abscheren, 1 Scherfuge im Schaft, Passschrauben M20 8.8:

$$F_{v,Ed} = \frac{453,50}{6} = 75,58 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 132,9 \text{ kN} \text{ bzw. } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{75,58}{132,9} = 0,57 \leq 1,0$$

Lochleibungsnachweis, Passschrauben M20 8.8:

$$F_{v,Ed} = \frac{453,50}{6} = 75,58 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 151,2 * 2,8 = 423,36 \text{ kN} \text{ bzw. } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{75,58}{423,36} = 0,18 \leq 1,0$$

Auch in Ordnung:

$$F_{v,Ed} = \frac{453,50}{6} = 75,58 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 151,2 * 3 = 453,6 \text{ kN} \text{ bzw. } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{75,58}{453,6} = 0,17 \leq 1,0$$

Nachweis gegen Blockversagen, Passschrauben M20 8.8:

Gefahr des Blockversagens an der Zuglasche:

$$A_{nt} = [L_h - (n_h - 1,0) * d_0] * t = [14 - (2 - 1,0) * 2,1] * 3 = 35,7 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 2 * [L_v - (n_v - 0,5) * d_0] * t = 2 * [(2 * 8 + 7) - (3 - 0,5) * 2,1] * 3 = 106,5 \text{ cm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{f_u * A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y * A_{nv}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{36 * 35,7}{1,25} + \frac{23,5 * 106,5}{\sqrt{3} * 1,0} = 2473,12 \text{ kN} \geq N_{Ed} = N_{S,a} = 453,50 \text{ kN}$$

Aufgabe 2 d) (14 Punkte)

Stegrippe

$$N_{S,i} = V_A + N_{R,o} * \frac{h_1}{h_2} = 140 + 510,86 * \frac{0,419}{0,472} = 593,50 \text{ kN}$$

Kräfte auf eine Rippe

$$F_{R,1} = \frac{N_{S,i}}{2} = \frac{593,50}{2} = 296,75 \text{ kN}$$

$$F_{R,2} = 296,75 * \frac{(\frac{11,5}{2} + 2,9)}{39,8} = 64,49 \text{ kN}$$

Schweißnahtspannungen

Schweißnaht 1:

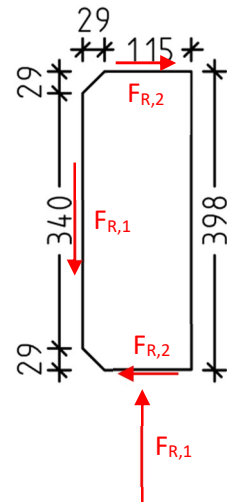
$$\sigma_{\perp,Ed} = \frac{296,75}{11,5 * 2 * 0,9} = 14,34 \text{ kN/cm}^2$$

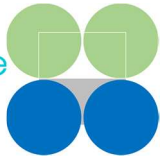
$$\tau_{\parallel,Ed} = \frac{64,49}{11,5 * 2 * 0,9} = 3,12 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\tau_{\parallel}^2 + \sigma_{\perp}^2} = \sqrt{3,12^2 + 14,33^2} = 14,67 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{w,Rd} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

Schweißnaht 2:

$$\tau_{\parallel,Ed} = \frac{296,75}{34 * 2 * 0,5} = 8,73 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{w,Rd} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$





Schweißnaht 3:

$$\tau_{\parallel,Ed} = \frac{64,49}{11,5 * 2 * 0,5} = 5,61 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{w,Rd} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

Aufgabe 2 e) (4 Punkte)

Nachweis der Schrauben auf Abscheren, 1 Scherfuge im Schaft, Schrauben M16

8.8:

$$F_{v,Ed} = \frac{N_{R,u} - N_{R,o}}{n} = \frac{100}{4} = 25,0 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 77,2 \text{ kN} \text{ bzw. } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{25,0}{77,2} = 0,32 \leq 1,0$$