

Prüfung SoSe 25 Stahlbau I – 2. Teil
Prüfungszeit 50 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)	12	
2)	26	
3)	12	
Summe	50	
		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.
- Für diesen 2. Teil der Klausur sind Hilfsmittel zugelassen.
- Das Mitführen von Kommunikationsmitteln ist untersagt.

Aufgabe 1 (12 Punkte)

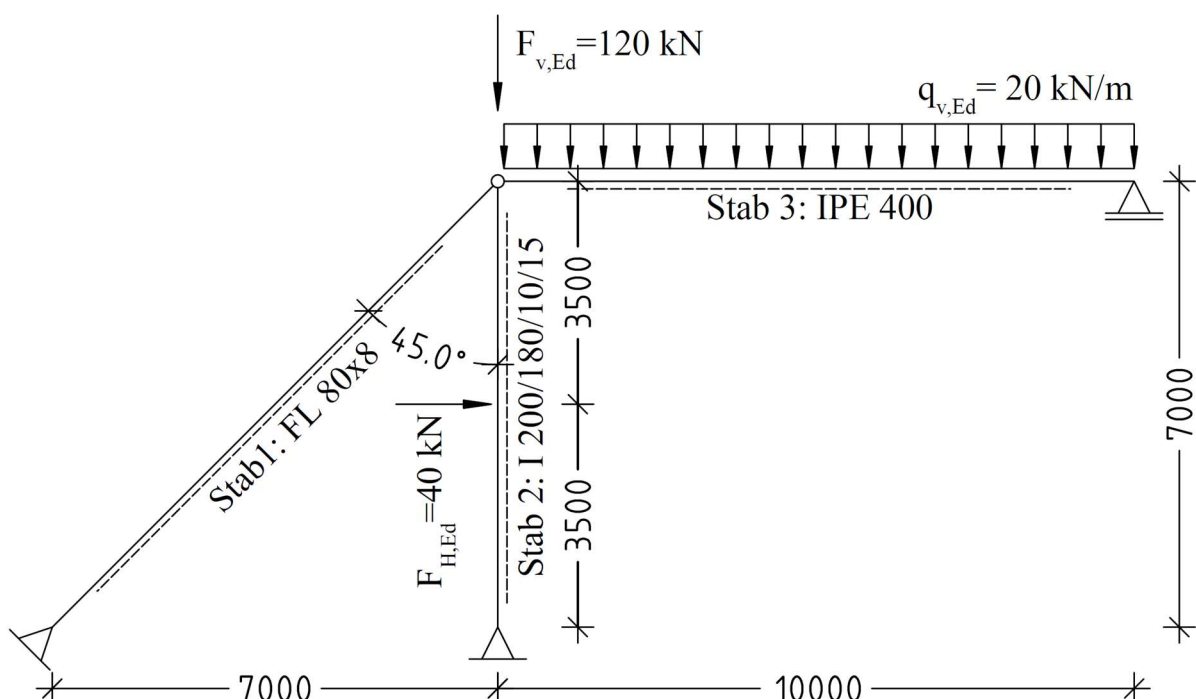
Gegeben ist das unten dargestellte Statische System, bestehend aus einem Zugstab (Stab 1), einer Stütze (Stab 2) und einem Balken (Stab 3). Die jeweiligen Querschnitte im Tragwerk sind der Abbildung zu entnehmen. Das System wird mit einer Streckenlast $q_{v,Ed}$ von 20 kN/m, einer vertikalen Einzellast $F_{v,Ed}$ von 120 kN und einer horizontalen Einzellast $F_{H,Ed}$ von 40 kN beansprucht.

Zeichnen Sie die Schnittgrößenverläufe N_{Ed} , $V_{z,Ed}$ und $M_{y,Ed}$ des gegebenen Statischen Systems getrennt für die einzelnen Lasten und geben Sie Zahlenwerte für die maßgebenden Stellen an.

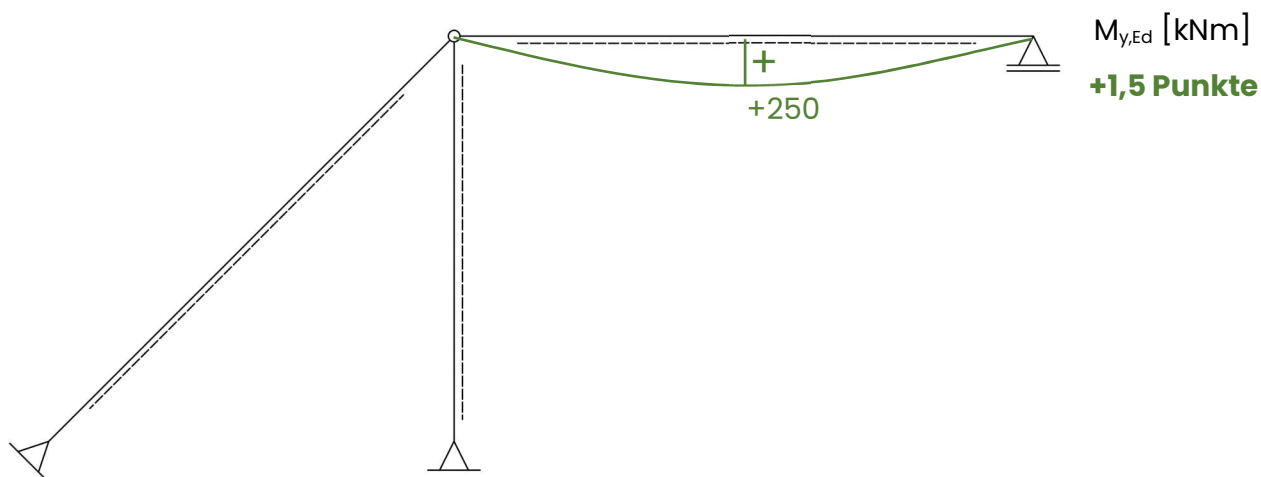
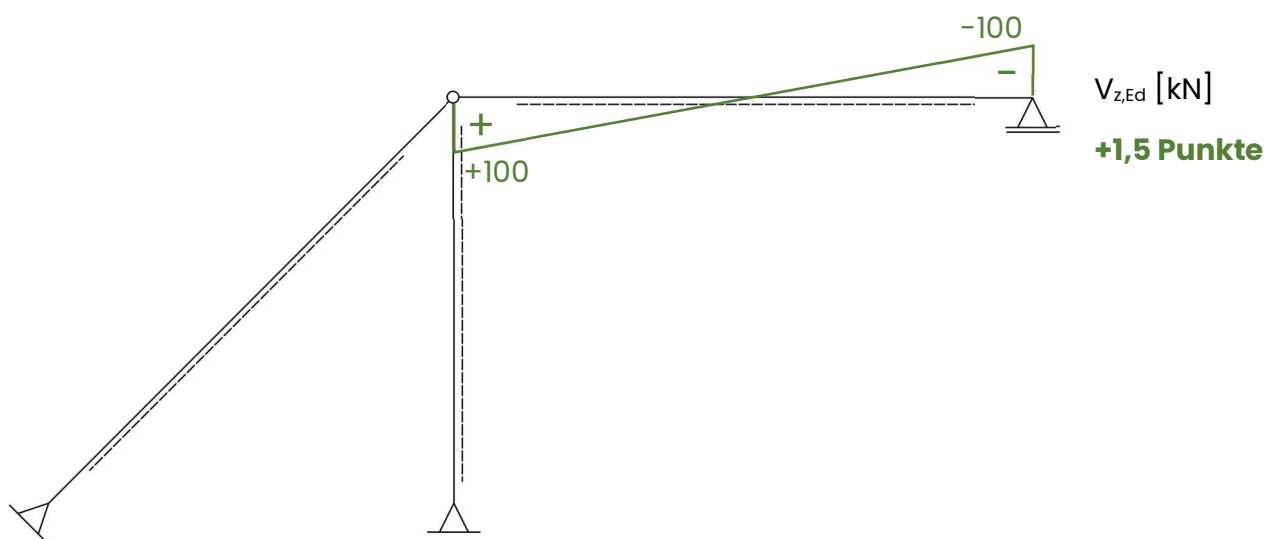
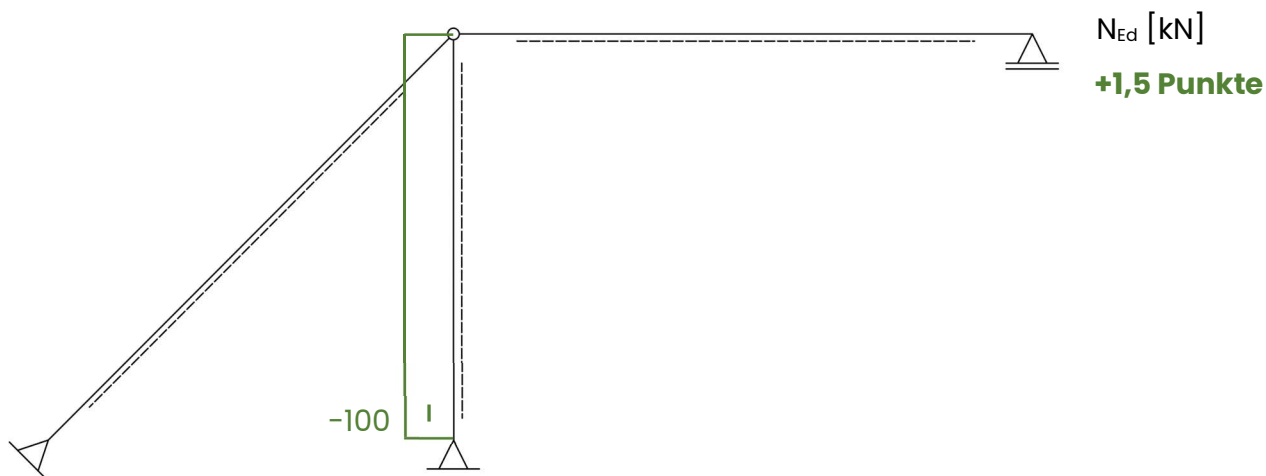
Hinweise:

- 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.
- Der Querschnitt des Zugstabs ist ein Flachstahl mit einer Höhe von 80 mm und einer Blechstärke von 8 mm. Die Stützenquerschnitt ist ein geschweißtes I-Profil.

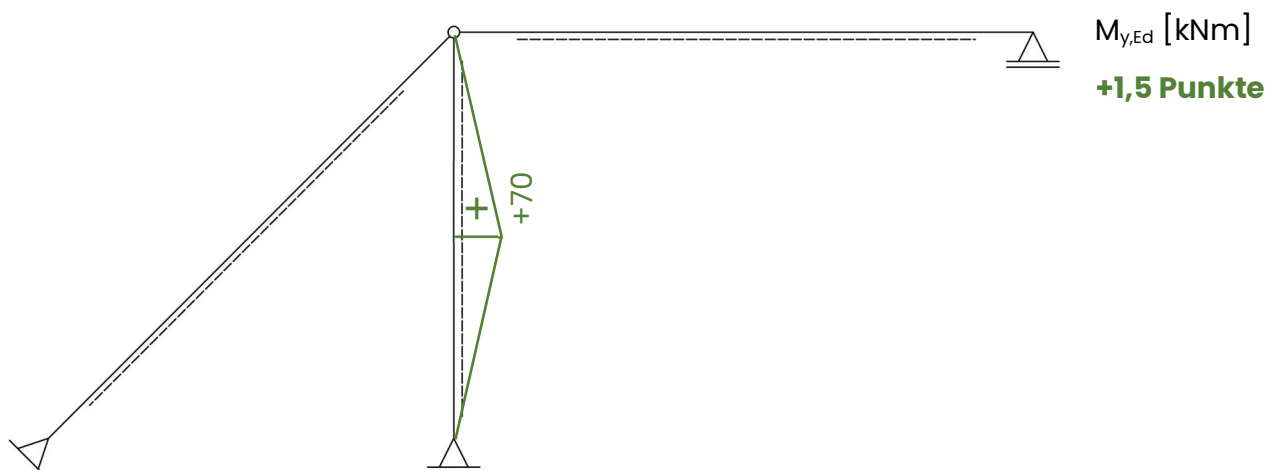
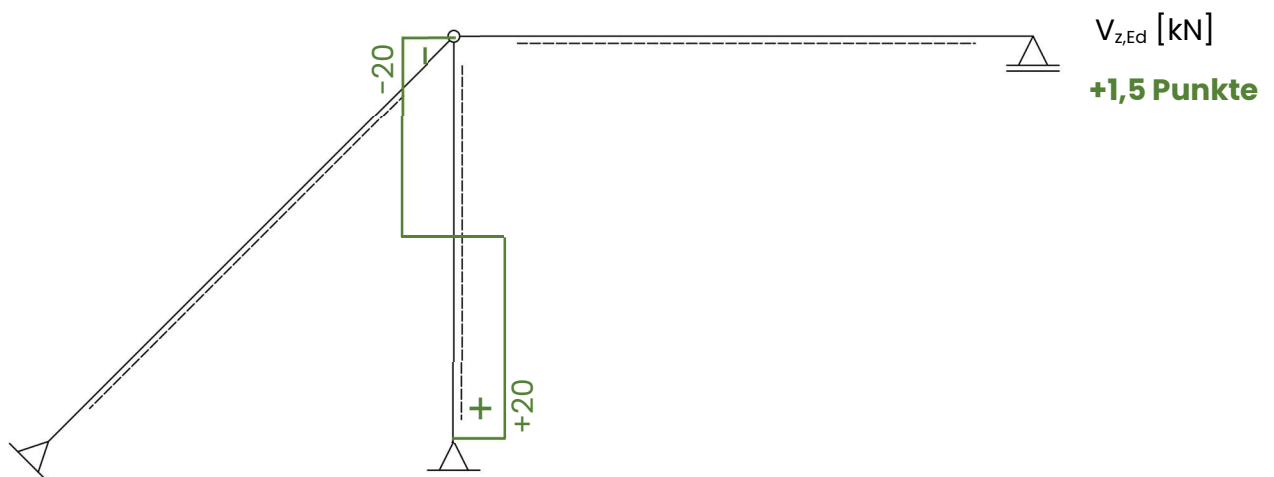
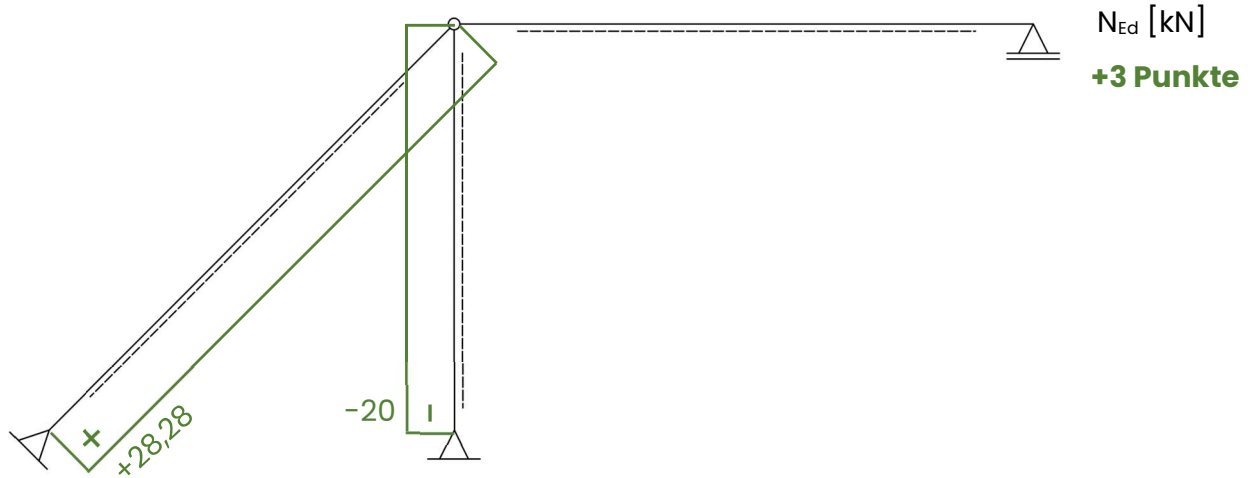
Statisches System:



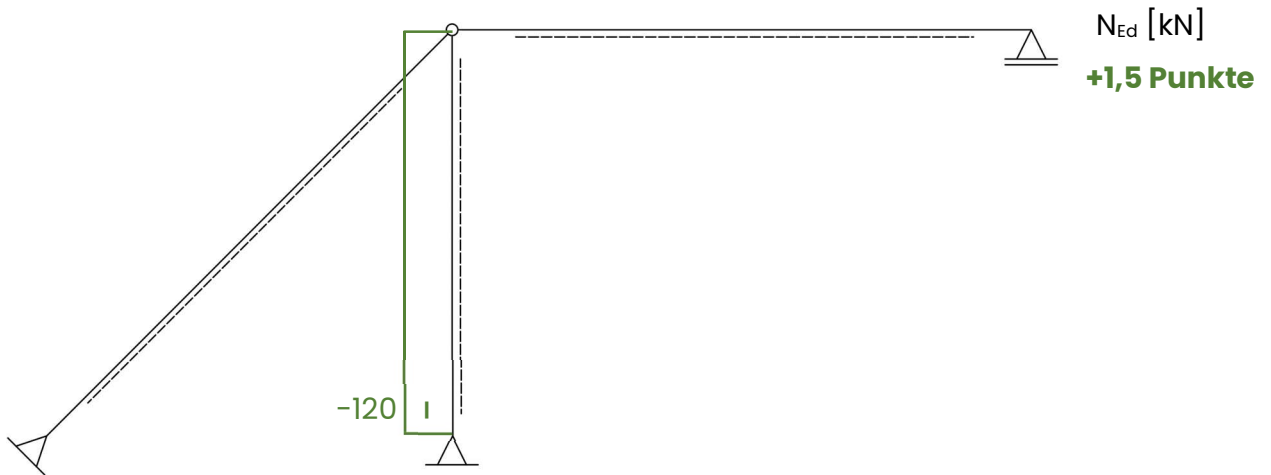
Schnittgrößenverläufe unter der vertikalen Streckenlast $q_{V,Ed}$:



Schnittgrößenverläufe unter der horizontalen Einzellast $F_{H,Ed}$:



Schnittgrößenverlauf unter der vertikalen Einzellast $F_{V,Ed}$:

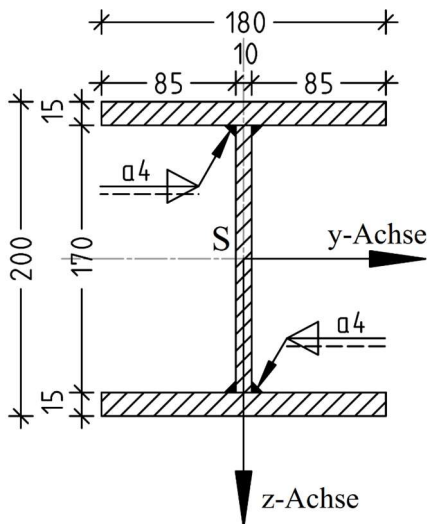


Aufgabe 2 (26 Punkte)

Folgende Teilaufgaben zum Statischen System aus Aufgabe 1 sind zu bearbeiten:

- Führen Sie eine vollständige Querschnittsklassifizierung für den geschweißten Stützenquerschnitt. Nutzen Sie hierfür die auf Seiten 7 und 8 angefügten Tabellen aus der aktuellen Norm.
- Berechnen Sie das Flächenträgheitsmoment I_y und die elastische Biegebeanspruchbarkeit $M_{y,el,Rd}$ des geschweißten Stützenquerschnitts.
- Führen Sie alle erforderlichen Querschnittsnachweise für das geschweißte I-Profil in Anlehnung an die unter Teilaufgabe a) ermittelte Querschnittsklasse. Nutzen Sie zur Ermittlung der Biegebeanspruchbarkeit das gegebene Widerstandsmoment $W_{pl,y}$.
- Führen Sie alle erforderlichen Stabilitätsnachweise für die Stütze mit dem geschweißten I-Profil (Stab 2). Nutzen Sie bei Bedarf die gegebenen Querschnittswerte.
- Welche Nachweise müssen für das Statische System im Grenzzustand der Tragfähigkeit noch geführt werden?

Querschnitt (Stab 2):



A	= ?	cm^2
A_{vz}	= ?	cm^2
I_y	= ?	cm^4
$W_{pl,y}$	= 572	cm^3
I_z	= 1459	cm^4
I_ω	= 124750	cm^6
I_T	= 45	cm^4

Hinweise:

- Das Material für alle Stäbe ist S 235.
- Die Schweißnähte des I-Profiles müssen nicht berücksichtigt werden.
- Am oberen und unteren Ende des Stabs 2 wird eine Verdrehung um die Stablängsachse sowie eine Verschiebung senkrecht zur Zeichenebene verhindert.
- Die horizontale Einzellast greift im Schwerpunkt des Querschnitts an.

Tabelle 7.3 — Maximales c/t -Verhältnis beidseitig gestützter druckbeanspruchter Querschnittsteile

Beidseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile			
Legende			
1 Biegeachse			
	Biegebeanspruchtes Teil	Druckbeanspruchtes Teil	Durch Biegung und Normalkraft beanspruchtes Teil
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)			
Klasse 1	$c/t \leq 72 \varepsilon$	$c/t \leq 28 \varepsilon$	wenn $\alpha_c > 0,5$: $c/t \leq \frac{126 \varepsilon}{5,5 \alpha_c - 1}$ wenn $\alpha_c \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36 \varepsilon}{\alpha_c}$
Klasse 2	$c/t \leq 83 \varepsilon$	$c/t \leq 34 \varepsilon$	wenn $\alpha_c > 0,5$: $c/t \leq \frac{188 \varepsilon}{6,53 \alpha_c - 1}$ wenn $\alpha_c \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5 \varepsilon}{\alpha_c}$
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)			
Klasse 3	$c/t \leq 121 \varepsilon$	$c/t \leq 38 \varepsilon$	wenn $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{38 \varepsilon}{0,608 + 0,343 \psi + 0,049 \psi^2}$ wenn $\psi \leq -1^a$: $\frac{c}{t} \leq 60,5 \varepsilon (1 - \psi)$
Für I- oder H-Querschnitte mit gleichen Flanschen unter Normalkraft und einem Biegemoment um die Hauptachse parallel zu den Flanschen kann der Parameter α_c , der die Position der plastischen Neutralachse definiert, wie folgt bestimmt werden: Wenn $N_{Ed} \geq c t_w f_y$ $\alpha_c = 1,0$ Wenn $N_{Ed} \leq -c t_w f_y$ $\alpha_c = 0$ In anderen Fällen $\alpha_c = 0,5 \left(1 + \frac{N_{Ed}}{c t_w f_y} \right)$ Dabei ist N_{Ed} der Bemessungswert der Normalkraft, Druckkräfte sind positiv, Zugkräfte negativ einzusetzen.			
^a $\psi \leq -1$ und eine Druckspannung $\sigma_{com,Ed} = f_y$ sind anzusetzen, wenn die Dehnungen infolge Zug $\varepsilon_t > f_y/E$ sind.			

Tabelle 7.4 — Maximales c/t -Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile von einseitig gestützten Flanschen

Einseitig gestützte Flansche			
Gewalzte Querschnitte		Geschweißte Querschnitte	
	Rein druckbeanspruchtes Teil	Durch Biegung und Normalkraft beanspruchtes Teil	
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)			
Klasse 1	$c/t \leq 9 \varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha_c}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha_c \sqrt{\alpha_c}}$
Klasse 2	$c/t \leq 10 \varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha_c}$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha_c \sqrt{\alpha_c}}$
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)			
Klasse 3	$c/t \leq 14 \varepsilon$	$c/t \leq 21 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}$ Zu k_σ siehe EN 1993-1-5	

Musterlösung

Aufgabe 2 a) (3 Punkte)

Für den einfachsten und schnellsten Lösungsweg darf auf der sicheren Seite liegend eine reine Druckbeanspruchung für alle Querschnittsteile angenommen werden. Die Grenzwerte des c/t -Verhältnisses sind hierfür immer am geringsten, sprich reiner Druck ist immer der kritischste Fall. Unter der vorhandenen Belastung würde der Steg natürlich eigentlich auf Druck und Biegung beansprucht werden. Alle Querschnittsteile sind zu überprüfen, da nicht direkt erkennbar ist, welcher maßgebend wird.

Die Klassifizierung des Stegs allein reicht nicht aus.

Ein Vergleich mit dem Grenzwert für reine Biegung ist auch für den Steg auf der unsicheren Seite und daher falsch.

Steg, beidseitig gestützt, auf Druck beansprucht:

$$\frac{c}{t} = \frac{170}{10} = 17 \leq 28 * \varepsilon = 28 * 1,0 = 28 \rightarrow QK 1$$

Äußere Flanschbereiche, einseitig gestützt, auf Druck beansprucht:

$$\frac{c}{t} = \frac{85}{15} = 5,7 \leq 9 * \varepsilon = 9 * 1,0 = 9 \rightarrow QK 1$$

Insgesamt ist der Querschnitt der Querschnittsklasse 1 zuzuordnen.

ALTERNATIV: Steg, beidseitig gestützt, auf Druck und Biegung beansprucht:

$N_{Ed} = 240 \text{ kN}$ (Druck ausnahmsweise positiv bei Verwendung der QK-Tabellen)

$$\alpha_c = 0,5 * \left(1 + \frac{N_{Ed}}{c * t_w * f_y} \right) = 0,5 * \left(1 + \frac{240}{17 * 1 * 23,5} \right) = 0,8 > 0,5$$

$$\frac{c}{t} = \frac{170}{10} = 17 \leq \frac{126 * \varepsilon}{5,5 * \alpha_c - 1} = \frac{126 * 1,0}{5,5 * 0,8 - 1} = 37,1 \rightarrow QK 1$$

Der Flansch steht für die gegebene Belastung natürlich trotzdem nur unter Druckbeanspruchung. Für die vollständige Querschnittsklassifizierung muss sein c/t -Verhältnis wie beim ersten Lösungsweg untersucht werden (\rightarrow QK 1).

Aufgabe 2 b) (3 Punkte)

Es handelt sich um einen doppelsymmetrischen Querschnitt. Die Lage des Gesamtschwerpunkts ist in der Zeichnung mit einem S gekennzeichnet. (Es sollte

zudem offensichtlich sein, dass der Schwerpunkt bei doppelsymmetrischen Querschnitten exakt in der Mitte liegt.)

Berechnung von $M_{y,el,Rd}$:

Für die Berechnung des Flächenträgheitsmoments I_y eines I-Profils gibt es mehrere Möglichkeiten. Für den ersten Lösungsweg soll der Querschnitt in möglichst wenig einzelne Rechteckquerschnitte unterteilt werden, deren Schwerpunktlagen und Flächenträgheitsmomente bekannt sind. Die Abstände der Teilschwerpunkte zum Gesamtschwerpunkt z_{iS} sind in diesem Fall schnell zu erkennen. Für die Ermittlung des elastischen Widerstands mit I_y ist der Steg als ein einzelner Rechteckquerschnitt zu betrachten. Somit ist der Steiner-Anteil für diesen Null.

$$I_y = \sum (I_{yi} + A_i * z_{iS}^2) = \sum \left(\frac{b_i * h_i^3}{12} + b_i * h_i * z_{iS}^2 \right)$$

$$= 2 * \frac{18 * 1,5^3}{12} + 2 * 18 * 1,5 * 9,25^2 + \frac{1 * 17^3}{12} + 1 * 17 * 0^2 = 5039,92 \text{ cm}^4$$

ALTERNATIV:

$$I_y = \frac{b * h^3}{12} - \frac{(b - \sum t_w) * (h - \sum t_f)^3}{12} = \frac{18 * 20^3}{12} - \frac{(18 - 1) * (20 - 2 * 1,5)^3}{12} = 5039,92 \text{ cm}^4$$

Dieser Rechenweg entspricht auch der Formel für das I_y für I-Profile aus dem Baustatik-Teil des Schneiders (Abschnitt Festigkeitslehre). Dort ist die Formel an eine kleine Skizze geknüpft und wird wie folgt geschrieben:

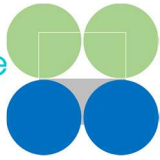
$$I_y = \frac{B * H^3 - b * h^3}{12}$$

Welche Werte für B, H, b und h eingesetzt werden müssen ist in der Skizze gut erkennbar. Achtung, b und h sind in dieser Formel andere Werte als in der oberen Formel.

$$M_{y,el,Rd} = \frac{f_y * I_y}{z_{max}} = \frac{23,5 * 5039,92}{10} = 11844 \text{ kNcm} = 118,44 \text{ kNm}$$

Aufgabe 2 c) (7 Punkte)

Es handelt sich um einen geschweißten doppelsymmetrischen I-Querschnitt der Querschnittsklasse 1, welcher durch Normkraft, Querkraft und einachsige Biegung beansprucht wird.



Überprüfung der Querkraftbeanspruchung:

Im Rahmen des Querkraftnachweises sollte immer überprüft werden, ob ein zusätzlicher Nachweis gegen Schubbeulen zu führen ist. Es gibt **in diesem Fall** jedoch keinen Punktabzug, wenn der Schritt fehlt.

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{170}{10} = 17 \leq 72 * \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 * \frac{1,0}{1,2} = 60$$

Es ist kein zusätzlicher Nachweis gegen Schubbeulen zu führen.

Wirksame Schubfläche für geschweißte I-Querschnitte bei Lastrichtung parallel zum Steg:

$$A_{vz} = h_w * t_w = 17 * 1 = 17 \text{ cm}^2$$

Plastische Grenzquerkraft bei Lastrichtung parallel zum Steg:

$$V_{pl,z,Rd} = A_{vz} * \frac{f_y}{\sqrt{3}} * \frac{1}{\gamma_{M0}} = 17 * \frac{23,5}{\sqrt{3}} * \frac{1}{1,0} = 230,65 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 20 \text{ kN} \leq 0,5 * V_{pl,Rd} = 0,5 * 230,65 = 115,33 \text{ kN}$$

Druck- und Biegebeanspruchung:

Querschnittsfläche:

$$A = 2 * 18 * 1,5 + 17 * 1 = 71 \text{ cm}^2$$

Interaktionsnachweis:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{71 * 23,5}{1,0} = 1668,5 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 240 \text{ kN} > \min \left\{ \begin{array}{l} 0,25 * N_{pl,Rd} = 0,25 * 1668,5 = 417,13 \text{ kN} \\ 0,5 * h_w * t_w * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,5 * 17 * 1 * \frac{23,5}{1,0} = \mathbf{199,75 \text{ kN}} \end{array} \right.$$

$$a = a^* = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{A - 2 * b * t_f}{A} = \frac{71 - 2 * 18 * 1,5}{71} \\ 0,5 \end{array} \right. = \mathbf{0,24}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{240}{1668,5} = 0,14 \leq 1,0$$

$$M_{N,y,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} M_{pl,y,Rd} * \frac{1-n}{1-0,5 * a^*} = 134,42 * \frac{1-0,14}{1-0,5 * 0,24} = \mathbf{131,37 \text{ kNm}} \\ M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{572 * 23,5}{1,0} * 10^{-2} = 134,42 \text{ kNm} \end{array} \right.$$

$$M_{y,Ed} = 70 \text{ kNm} \leq M_{N,y,Rd} = 131,37 \text{ kNm}$$

Aufgabe 2 d) (12 Punkte)

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 700 \text{ cm}$$

Ideale Verzweigungslasten für Biegeknicken:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 * 21000 * 5039,92}{700^2} = 2132 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 21000 * 1459}{700^2} = 617 \text{ kN}$$

Ideales Biegedrillknickmoment:

$$c^2 = \frac{I_\omega + 0,039 * L^2 * I_T}{I_z} = \frac{124750 + 0,039 * 700^2 * 45}{1459} = 674,91 \text{ cm}^2$$

$$z_p = 0 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = \zeta * N_{cr,z} * \left(\sqrt{c^2 + 0,25 * z_p^2} + 0,5 * z_p \right) = 1,35 * 617 * \sqrt{674,91} = 21639 \text{ kNcm}$$

Bezogene Schlankheitsgrade, Auswahl der Knicklinien und Abminderungsfaktoren für das Biegeknicken und Biegedrillknicken:

{geschweißtes Profil; $t_f = 15 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$; S 235}

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{N_{Rk}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{71 * 23,5}{2132}} = 0,88 \Rightarrow \chi_y = 0,68 \text{ (KL b)}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{N_{Rk}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{71 * 23,5}{617}} = 1,64 \Rightarrow \chi_z = 0,275 \text{ (KL c)}$$

{geschweißtes I – Profil; $\frac{h}{b} = \frac{200}{180} = 1,1 \leq 2,0$ }

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{572 * 23,5}{21639}} = 0,79 \Rightarrow \chi_{LT} = 0,77 \text{ (KL c)}$$

Einzelnachweise:

$$n_y = \frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_y / \gamma_{M1}} = \frac{240}{0,68 * 71 * 23,5 / 1,1} = 0,23$$

$$n_z = \frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_y / \gamma_{M1}} = \frac{240}{0,275 * 71 * 23,5 / 1,1} = 0,58$$

$$m_y = \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_y / \gamma_{M1}} = \frac{70 * 10^2}{0,77 * 572 * 23,5 / 1,1} = 0,74$$

Interaktionsnachweise Biegeknicken mit Biegedrillknicken:

Äquivalente Momentenbeiwerte:

Einzellast, $\alpha_h = 0$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,9 + 0,1 * \alpha_h = 0,9 + 0,1 * 0 = 0,9$$

Interaktionsbeiwerte:

$$k_{yy} = C_{my} * [1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * n_y] = 0,9 * [1 + (0,88 - 0,2) * 0,23] = 1,041$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 * n_z}{C_{mLT} - 0,25} = 1 - \frac{0,1 * 0,58}{0,9 - 0,25} = 0,911$$

Interaktionsnachweise:

$$n_y + k_{yy} * m_y = 0,23 + 1,041 * 0,74 = 1,00 \leq 1$$

$$n_z + k_{zy} * m_y = 0,58 + 0,911 * 0,74 = \mathbf{1,25} > 1$$

Aufgabe 2 e) (1 Punkt)

FL 80x8: Zugstabnachweis, IPE 400: Querkraftnachweis inkl. Ausschluss von Schubbeulen, Nachweis der Biegebeanspruchung, Biegedrillknicken

Aufgabe 3 (12 Punkte)

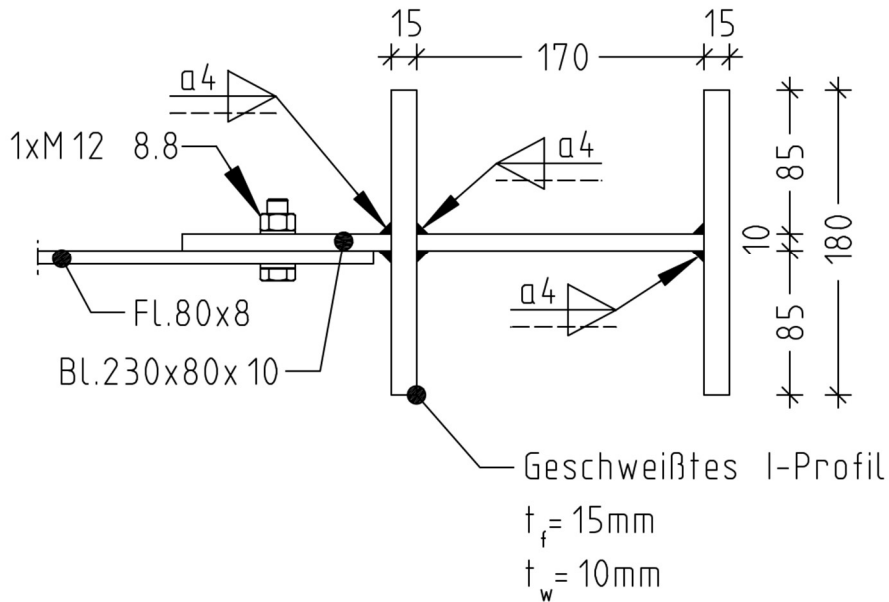
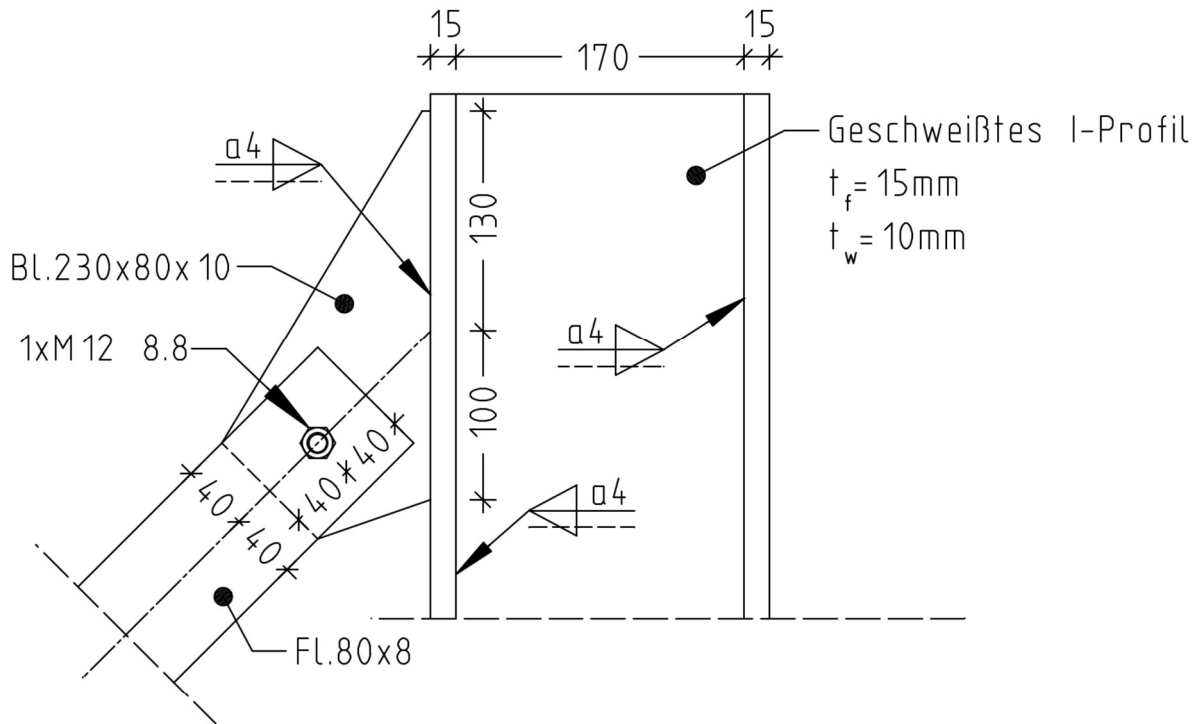
Dargestellt auf Seite 10 ist ein Anschlussentwurf des Zugstabs vom Statischen System aus Aufgabe 1 und 2. Das Flachstahlprofil soll über eine einzelne Schraube (M12, 8.8) mit einem durchgehenden 10 mm dicken Fahnenblech (S 235) verschraubt werden. Das Fahnenblech wiederum wird allseits mit der Stütze verschweißt.

- a) Führen Sie den Nachweis der Zugbeanspruchung für das Flachstahlprofil.
- b) Führen Sie alle erforderlichen Nachweise für die geschraubte Verbindung.
- c) Führen Sie alle erforderlichen Schweißnahtnachweise. Wählen Sie hierfür selber eines der Nachweisverfahren.
- d) Bei einer Prüfung des Detailentwurfs wird von der Ausführung der dargestellten Anschlusskonstruktion abgeraten. Weshalb könnte der Anschluss ungünstig sein? Wie könnten Sie den Anschluss verbessern?

Hinweise:

- Schraube: M12 8.8, Scherfuge im Schaft
- Das Material für alle Stäbe ist S 235.
- Alle Abmessungen sind in mm.
- Rand- und Lochabstände sind ausreichend groß gewählt und müssen nicht überprüft werden.

Anschlussentwurf:



Musterlösung

Aufgabe 3 a) (3 Punkte)

$$A_{FL8 \times 8} = 0,8 * 8 = 6,40 \text{ cm}^2$$

$$A_{net} = A - n * d_0 * t = 6,4 - 1 * 1,3 * 0,8 = 5,36 \text{ cm}^2$$

Nachweis für Zugbeanspruchung:

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6,4 * 23,5}{1,0} = 150,40 \text{ kN} \\ N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 5,36 * 36,0}{1,25} = \mathbf{138,93 \text{ kN}} \end{array} \right.$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{28,28}{138,93} = 0,20 \leq 1,0$$

Aufgabe 3 b) (2 Punkte)

Es darf auch mit einer angenommenen oder abweichenden Zugkraft in Stab 1 gerechnet werden. Zum Erreichen der vollen Punktzahl ist es wichtig, dass die gesamte Rechnung des Anschlusses konsistent ist. Für Abscheren und Lochleibung entspricht die jeweilige Einwirkung in diesem Fall genau der Zugkraft im Stab; für den Schweißnahtnachweis muss die Kraft natürlich in ihren Horizontal- und Vertikalanteil aufgeteilt werden.

Nachweis der Schraube auf Abscheren, 1 Schraube und 1 Scherfuge im Schaft, $F_{v,Ed} = N_{t,Ed} = 28,28 \text{ kN}$:

$$F_{v,Ed} = 28,28 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 43,40 \text{ kN} \text{ bzw. } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{28,28}{43,40} = 0,65 \leq 1,0$$

Lochleibungsnachweis einschnittiger Anschlusses mit nur einer Schraubenreihe, $F_{v,Ed} = N_{t,Ed} = 28,28 \text{ kN}$:

Formel für die Grenzlochleibungskraft eines einschnittigen Anschlusses mit nur einer Schraubenreihe:

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 * d * t * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{1,5 * 1,2 * 0,8 * 36}{1,25} = 41,47 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 28,28 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 41,47 \text{ kN} \text{ bzw. } \frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{28,28}{41,47} = 0,68 \leq 1,0$$

Die Nutzung der Tabelle für Grenzlochleibungskräfte aus dem Schneider ist für den einschnittigen Anschluss mit einer Schraubenreihe falsch.

Aufgabe 3 c) (5 Punkte)

$$F_{\parallel,Ed} = F_{Ed} * \cos \alpha = F_{Ed} * \frac{\sqrt{2}}{2} = 28,28 * \frac{\sqrt{2}}{2} = 20,00 \text{ kN}$$

$$F_{\perp,Ed} = F_{Ed} * \sin \alpha = F_{Ed} * \frac{\sqrt{2}}{2} = 28,28 * \frac{\sqrt{2}}{2} = 20,00 \text{ kN}$$

$$e = \frac{230}{2} - 100 = 15 \text{ mm} = 1,50 \text{ cm}$$

$$M_{y,Ed} = F_{\perp,Ed} * e = 20,00 * 1,50 = 30,00 \text{ kNcm}$$

Die Tragfähigkeit von Kehlnähten kann mit dem richtungsbezogenen oder dem vereinfachten Verfahren nachgewiesen werden. Der richtungsbezogene Nachweis wird immer auf Basis von Spannungen geführt. Das vereinfachte Verfahren wird (beispielsweise im Schneider) prinzipiell auf Basis von Kräften durchgeführt. Jedoch lässt sich der Nachweis auch mit Spannungen führen.

Es stehen somit drei Wege für den Schweißnahtnachweis zur Verfügung.

Schweißnahtnachweis – Richtungsbezogenes Verfahren:

$$\tau_{\parallel,Ed} = \frac{F_{\parallel,Ed}}{2 * a * l_w} = \frac{20,00}{2 * 0,4 * 23} = 1,09 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\perp,Ed} = \sigma_{\perp,Ed} = \left(\frac{F_{\perp,Ed}}{2 * a * l_w} + \frac{M_{y,Ed}}{W_w} \right) * \frac{\sqrt{2}}{2} = \left(\frac{20,00}{2 * 0,4 * 23} + \frac{30,00}{2 * 0,4 * \frac{23^2}{6}} \right) * \frac{\sqrt{2}}{2} = 1,07 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\begin{aligned} \sqrt{\sigma_{\perp,Ed}^2 + 3 * (\tau_{\perp,Ed}^2 + \tau_{\parallel,Ed}^2)} &= \sqrt{1,07^2 + 3 * (1,09^2 + 1,07^2)} = 2,85 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} \\ &= \frac{36,0}{0,8 * 1,25} = 36,00 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \end{aligned}$$

$$\sigma_{\perp,Ed} = 1,07 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 36,0}{1,25} = 25,92 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

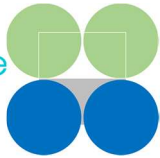
Schweißnahtnachweis – Vereinfachtes Verfahren mit Kräften:

$$V_{\parallel,Ed} = \frac{F_{\parallel,Ed}}{l_w} = \frac{20,00}{23} = 0,87 \text{ kN/cm}$$

$$N_{\perp,Ed} = \frac{F_{\perp,Ed}}{l_w} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{l_w^2}{6}} = \frac{20,00}{23} + \frac{30}{\frac{23^2}{6}} = 1,21 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{V_{\parallel,Ed}^2 + N_{\perp,Ed}^2} = \sqrt{0,87^2 + 1,21^2} = 1,49 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u * 2 * a}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{36,0 * 2 * 0,4}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,25} = 16,63 \text{ kN/cm}$$



$$F_{w,Ed} = 1,49 \text{ kN/cm} \leq F_{w,Rd} = 16,63 \text{ kN/cm}$$

Schweißnahtnachweis – Vereinfachtes Verfahren mit Spannungen:

$$\tau_{\parallel,Ed} = \frac{F_{\parallel,Ed}}{2 * a * l_w} = \frac{20}{2 * 0,4 * 23} = 1,09 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\perp,Ed} = \frac{F_{\perp,Ed}}{2 * a * l_w} + \frac{M_{y,Ed}}{W_w} = \frac{20}{2 * 0,4 * 23} + \frac{30}{2 * 0,4 * \frac{23^2}{6}} = 1,51 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\tau_{\parallel,Ed}^2 + \sigma_{\perp,Ed}^2} = \sqrt{1,09^2 + 1,51^2} = 1,86 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{36,0}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = 1,86 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{w,Rd} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

Aufgabe 3 d) (2 Punkte)

Gründe:

Nur eine Schraube -> ungestützte Verbindung -> Größere Verformungen möglich/Anschluss kann sich verdrehen -> Lastumlagerung -> Zugbeanspruchung in der Schraube

Asymmetrischer Anschluss -> Versatzmoment ist zu berücksichtigen -> ggf. Zugstab auch auf Biegung nachweisen

Stabilität der Stütze gefährdet -> erfährt bei versetztem Zugstab Torsion -> erhöhte Gefahr des Stabilitätsverlusts der Stütze

Verbesserungsvorschläge:

symmetrischer Anschluss -> zusätzliche Schraube(n)/2 Flachstähle als Zugstab oder 2 Fahnenbleche

Versatz auf Fahnenblech und Zugstab aufteilen, rechts und links der Schwerlinie des Stützenprofils