
Prüfung WiSe 24/25 Stahlbau I – 2. Teil
Prüfungszeit 50 Minuten

Prof. Dr.-Ing. Marcus Rutner

Institut für Metall- und Verbundbau

Hamburg, den 10. März 2025

Name: _____

Vorname: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punktzahl
1)	35	
2)	15	
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.

Gegeben ist das dargestellte Statische System, bestehend aus einem Einfeldträger mit einem rechtsseitigen Kragarm, welches über dem Auflager B durchlaufend ist. Der Querschnitt ist ein aus Flachstahl zusammengeschweißtes Hohlprofil. Das System wird mit einer Streckenlast 20,0 kN/m, einer vertikalen Einzellast 50,0 kN und einer horizontalen Einzellast 50,0 kN beansprucht.

Alle weiteren Informationen zu Querschnitten, Materialien, Abmessungen und Belastungen sind den Skizzen zu entnehmen.

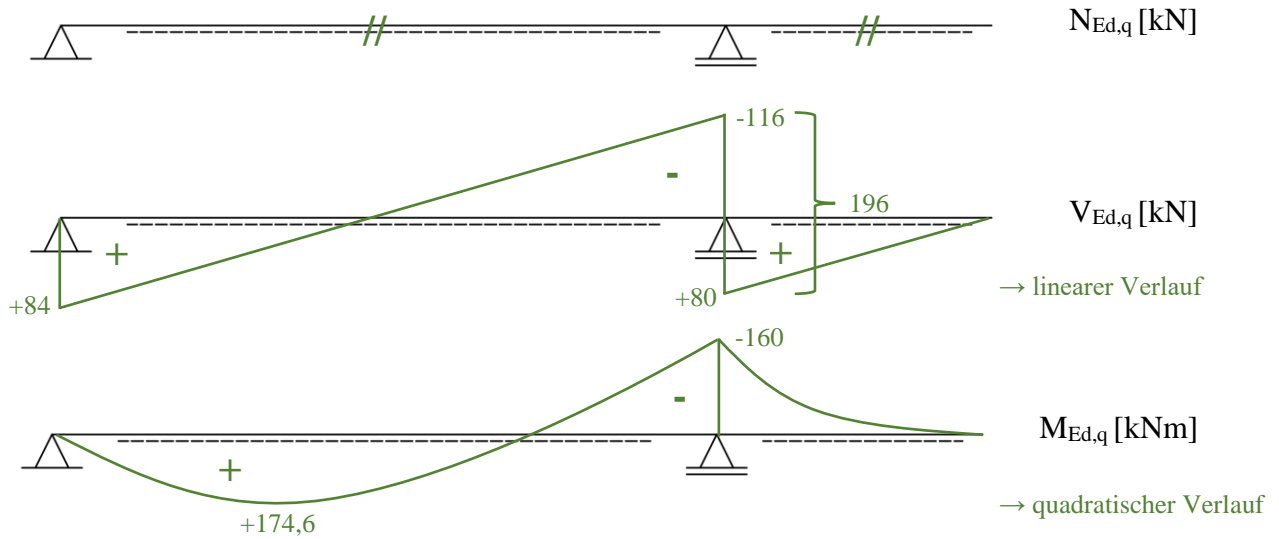
Folgende Teilaufgaben sind zu bearbeiten:

- Zeichnen Sie die Schnittgrößenverläufe N_{Ed} , V_{Ed} und M_{Ed} für das System und geben Sie Zahlenwerte für die maßgebenden Stellen an (siehe Seite 4).
- Führen Sie eine vollständige Querschnittsklassifizierung für den gegebenen Kastenquerschnitt durch.
- Bestimmen Sie das Verhältnis $M_{y,pl,Rd}/M_{y,el,Rd}$.
- Berechnen Sie das ertragbare plastische Moment unter Berücksichtigung der vorliegenden Schnittgrößen N_{Ed} und V_{Ed} unmittelbar links vom Auflager B und zeichnen Sie die zugehörige Spannungsverteilung auf Seite 2.
- Führen Sie alle erforderlichen Stabilitätsnachweise.
- Ihr Arbeitskollege befürchtet eine Stabilitätsgefahr des Gesamtsystems und schlägt vor, den Abstand zwischen den Stegen zu vergrößern. Halten Sie den Vorschlag für zielführend? Begründen Sie Ihre Antwort. Hierfür ist keine Berechnung notwendig.

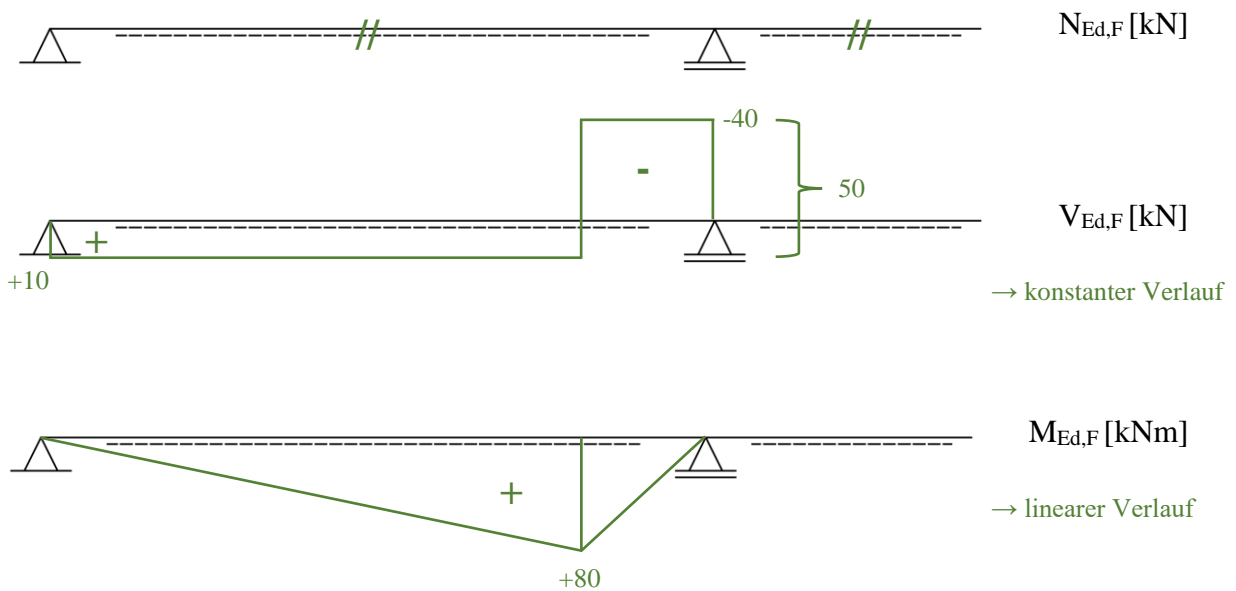
Hinweise:

- Die angegebenen Werte für die Belastung sind Bemessungswerte.
- Das Eigengewicht der Stäbe soll nicht zusätzlich berücksichtigt werden.
- Eine Eigenwertuntersuchung ergab die Verzweigungslastfaktoren zu:
 $\alpha_{cr,y} = N_{cr,y}/N_{Ed} = 19,50$ und $\alpha_{cr,z} = N_{cr,z}/N_{Ed} = 7,20$
- Für die Interaktion können folgenden Interaktionsbeiwerte angenommen werden:
 $k_{yy} = 1,09$ und $k_{zy} = 0,60$
- Ein Biegedrillknicken solcher kastenförmigen Querschnitte ist geometrisch ausgeschlossen.

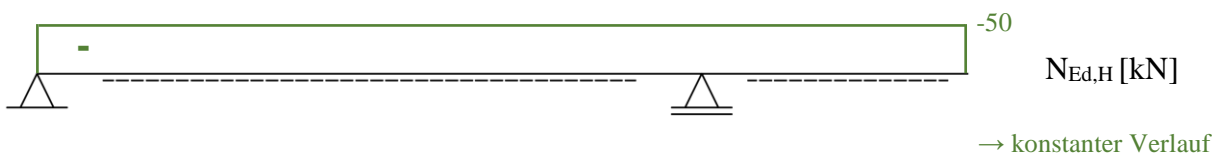
Unter der Streckenlast:



Unter der vertikalen Einzellast:



Unter der horizontalen Einzellast:



Aufgabe 1 a) (9 Punkte)

Die Schnittgrößenverläufe unter den jeweiligen Lasten sollen getrennt mit Hilfe der Schneider Bautabellen ermittelt werden. Das System ist im Baustatik-Teil des Schneiders zu finden und wird dort als Träger auf zwei Stützen mit Kragarm bezeichnet. Die Auswirkungen der unterschiedlichen Einwirkungen (Einzellast oder Streckenlast) auf die jeweiligen Verläufe sollten für das Zeichnen (und generell) unbedingt bekannt sein.

Gegeben:

$$l = 10000 \text{ mm} = 10 \text{ m}$$

$$c = 4000 \text{ mm} = 4 \text{ m}$$

$$a = 8000 \text{ mm} = 8 \text{ m}$$

$$b = 2000 \text{ mm} = 2 \text{ m}$$

$$g_{Ed} = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = q$$

$$F_{Ed} = 50 \text{ kN} = F$$

$$H_{Ed} = 50 \text{ kN}$$

Unter der vertikalen Streckenlast:

Es greifen keine horizontalen Lasten an. Der Normalkraftverlauf ist konstant Null.

Auflagerkräfte:

$$A = (l^2 - c^2) * \frac{q}{2 * l} = (10^2 - 4^2) * \frac{20}{2 * 10} = 84 \text{ kN}$$

$$B = (l + c)^2 * \frac{q}{2 * l} = (10 + 4)^2 * \frac{20}{2 * 10} = 196 \text{ kN}$$

Auflager B - untere Ordinate für Querkraftverlauf:

$$V_{Ed,rechts} = q * c = 20 * 4 = 80 \text{ kN}$$

Auflager B - obere Ordinate für Querkraftverlauf:

$$V_{Ed,links} = B - 80 = 196 - 80 = 116 \text{ kN}$$

Feldmoment (max M) und Stützmoment (M_k):

$$\max M = \frac{A^2}{2 * q} = \frac{84^2}{2 * 20} = 176,4 \text{ kNm}$$

$$M_k = -\frac{q * c^2}{2} = -\frac{20 * 4^2}{2} = -160 \text{ kNm}$$

Unter der vertikalen Einzellast:

Es greifen keine horizontalen Lasten an. Der Normalkraftverlauf ist konstant Null.

Auflagerkräfte:

$$A = \frac{F * b}{l} = \frac{50 * 2}{10} = 10 \text{ kN}$$

$$B = \frac{F * a}{l} = \frac{50 * 8}{10} = 40 \text{ kN}$$

Feldmoment (max M) und Stützmoment (M_k):

$$\max M = \frac{F * a * b}{l} = \frac{50 * 8 * 2}{10} = 80 \text{ kNm}$$

$$M_k = 0 \text{ kNm}$$

Unter der horizontalen Einzellast:

Die horizontale Einzellast wirkt als Druckkraft auf den Träger und wird am Festlager A abgetragen.

$$N_{Ed} = -50 \text{ kN}$$

Aufgabe 1 b) (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 würden die Stege natürlich eigentlich auf Druck und Biegung beansprucht werden.)

Ein Nachweis für die Stege als beidseitig gestützte Querschnittsteile unter Druckbeanspruchung ist **in diesem Fall** ausreichend, da diese aufgrund des geringeren t und größeren c eindeutig als maßgebend zu erkennen sind. (Um sicher zu gehen empfiehlt sich dennoch, auch die einseitig gestützten Flanschbereiche zu überprüfen, da hier andere Grenzwerte gelten.)

Stege, beidseitig gestützt, auf Druck beansprucht:

$$\frac{c}{t} = \frac{210}{10} = 21 \leq 33 * \varepsilon = 33 * 1,0 = 33 \rightarrow \text{OK 1}$$

Äußere Flanschbereiche, einseitig gestützt, auf Druck beansprucht:

$$\frac{c}{t} = \frac{30}{20} = 1,5 \leq 9 * \varepsilon = 9 * 1,0 = 9 \rightarrow \text{OK 1}$$

Mittlere Flanschbereiche, beidseitig gestützt, auf Druck beansprucht (auch ohne Rechnung eindeutig nicht maßgebend):

$$\frac{c}{t} = \frac{120}{20} = 6 \leq 33 * \varepsilon = 33 * 1,0 = 33 \rightarrow QK 1$$

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

Eine Berechnung des exakten α wäre **in diesem Fall** zu zeitaufwendig. Es ist in Ordnung hierfür eine logische Annahme zu treffen. $\alpha = 1,0$ entspricht dem Fall der reinen Druckbeanspruchung, $\alpha = 0,5$ entspricht dem Fall der reinen Biegebeanspruchung. Für einen Nachweis mit angenommenem α sollte auf der sicheren Seite liegend daher ein Wert gewählt werden der näher an 1,0 liegt. Der Flansch steht für die gegebene Belastung in keinem Fall unter Biegebeanspruchung, weshalb Nachweise mit Werten für α hier falsch wäre.

Annahme $\alpha = 0,9$

$$\frac{c}{t} = \frac{210}{10} = 21 \leq \frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1} = \frac{396 * 1,0}{13 * 0,9 - 1} = 37 \rightarrow QK 1$$

(Um sicher zu gehen empfiehlt sich bei dieser alternativen Rechnung, auch die einseitig und beidseitig gestützten Flanschbereiche zu überprüfen, da hier andere Grenzwerte gelten.)

Aufgabe 1 c) (5 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 $M_{y,el,Rd}$:

Zunächst muss das Flächenträgheitsmoment bezogen auf die y-Achse ermittelt werden. Der Querschnitt soll in möglichst wenig einzelne Rechteckquerschnitte unterteilt werden, deren jeweilige Schwerpunktlage und Flächenträgheitsmoment bekannt sind. Die Abstände der Teilschwerpunkte zum Gesamtschwerpunkt z_{iS} sind in diesem Fall schnell zu erkennen. Für die Ermittlung des elastischen Widerstands sind die beiden Stege als jeweils ein Rechteckquerschnitt zu betrachten.

$$\begin{aligned} I_y &= \sum (I_{yi} + A_i * z_{iS}^2) = \sum \left(\frac{b_i * h_i^3}{12} + b_i * h_i * z_{iS}^2 \right) \\ &= 2 * \frac{20 * 2^3}{12} + 2 * 20 * 2 * 11,5^2 + 2 * \frac{1 * 21^3}{12} + 2 * 1 * 21 * 0^2 \\ &= 12150,17 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

ALTERNATIV:

$$I_y = \frac{b * h^3}{12} - \frac{(b - \sum t_w) * (h - \sum t_f)^3}{12} = \frac{20 * 25^3}{12} - \frac{(20 - 2 * 1) * (25 - 2 * 2)^3}{12} = 12150,17 \text{ cm}^4$$

$$M_{y,el,Rd} = \frac{f_y * I_y}{z_{max}} = \frac{23,5 * 12150,17}{12,5} = 22842 \text{ kNcm} = 228,42 \text{ kNm}$$

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

Im plastischen Fall werden die Stege in Anteile oberhalb und unterhalb des Schwerpunkts aufgeteilt.

$$M_{y,pl,Rd} = f_y * \sum (A_i * z_{iS}) = 23,5 * \left(2 * 20 * 2 * 11,5 + 4 * \frac{21}{2} * 1 * \frac{10,5}{2} \right) = 26802 \text{ kNcm} = 268,02 \text{ kNm}$$

Berechnung des Verhältnisses $M_{y,pl,Rd}/M_{y,el,Rd}$:

$$\alpha = \frac{M_{y,pl,Rd}}{M_{y,el,Rd}} = \frac{268,02}{228,42} = 1,17$$

Aufgabe 1 d) (7 Punkte)

Es handelt sich um einen Kastenquerschnitt 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.

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{210}{10} = 21 \leq 72 * \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 * \frac{1,0}{1,2} = 60$$

Es ist kein zusätzlicher Nachweis gegen Schubbeulen zu führen.

Wirksame Schubfläche für geschweißte Kastenquerschnitte bei Lastrichtung parallel zum Steg:

$$A_v = \sum h_w * t_w = 2 * 21 * 1 = 42 \text{ cm}^2$$

Plastische Grenzquerkraft bei Lastrichtung parallel zum Steg:

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_y}{\sqrt{3}} * \frac{1}{\gamma_{M0}} = 42 * \frac{23,5}{\sqrt{3}} * \frac{1}{1,0} = 569,84 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 116 + 40 = 156 \text{ kN} \leq 0,5 * V_{pl,Rd} = 0,5 * 569,84 = 284,92 \text{ kN}$$

Druckbeanspruchung (ohne Stabilität):

Querschnittsfläche:

$$A = 2 * 20 * 2 + 2 * 21 * 1 = 122 \text{ cm}^2$$

Grenznormalkraft:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{122 * 23,5}{1,0} = 2867 \text{ kN}$$

Interaktion:

Beim Interaktionsnachweis für Kastenquerschnitte ist unabhängig von der Höhe der Normalkraftausnutzung wie folgt vorzugehen:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{50}{2867} = 0,02$$

$$a_w = \frac{A - 2 * b * t_f}{A} = \frac{122 - 2 * 20 * 2}{122} = 0,34 \leq 0,5$$

$$M_{N,y,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} M_{pl,y,Rd} * \frac{(1-n)}{(1-0,5 * a_w)} = 268,02 * \frac{(1-0,02)}{(1-0,5 * 0,34)} = 316,46 \text{ kNm} \\ M_{pl,y,Rd} = 268,02 \text{ kNm} \end{array} \right.$$

Ertragbares Plastisches Moment unter Berücksichtigung weiterer Schnittgrößen:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = 268,02 \text{ kNm}$$

Aufgabe 1 e) (8 Punkte)

Gegeben:

$$\frac{N_{cr,y}}{N_{Ed}} = 19,5$$

$$\frac{N_{cr,z}}{N_{Ed}} = 7,2$$

$$|N_{Ed}| = 50 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = 1,09$$

$$k_{zy} = 0,60$$

Aus Hinweis: Biegedrillknicken ist ausgeschlossen $\rightarrow \chi_{LT} = 1,0$

Für N_{Ed} wird in der Aufgabenstellung zwar kein Zahlenwert gegeben; wenn die Schnittgrößenermittlung in Aufgabe 1 a) übersprungen wurde, sollte die resultierende Beanspruchung aus der einwirkenden Kraft H_{Ed} jedoch trotzdem offensichtlich sein.

Ermittlung der Verzweigungslasten/Knicklasten über den gegebenen Verzweigungslastfaktor:

$$N_{cr,y} = 19,5 * N_{Ed} = 19,5 * 50 = 975 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = 7,2 * N_{Ed} = 7,2 * 50 = 360 \text{ kN}$$

Ermittlung der bezogenen Schlankheitsgrade:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{122 * 23,5}{975}} = 1,71 > 0,2$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{122 * 23,5}{360}} = 2,82 > 0,2$$

Zuordnung des Kastenquerschnitts zu den Knicklinien:

$$\frac{b}{t_f} = \frac{200}{20} = 10 < 30$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{250}{10} = 25 < 30$$

Knicklinie c $\rightarrow \alpha = 0,49$

$$\Phi_y = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 * [1 + 0,49 * (1,71 - 0,2) + 1,71^2] = 2,33$$

$$\Phi_z = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 * [1 + 0,49 * (2,82 - 0,2) + 2,82^2] = 5,12$$

Ermittlung der Abminderungsfaktoren für Biegeknicken:

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,33 + \sqrt{2,33^2 - 1,71^2}} = 0,26 \leq 1,0$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{5,11 + \sqrt{5,11^2 - 2,82^2}} = 0,11 \leq 1,0$$

ALTERNATIV aus der Tabelle für Abminderungsfaktoren für Biegeknicken ablesen

Stabilitätsnachweis für das auf Biegung und Druck beanspruchte Bauteil:

Der Nachweis darf vereinfachend mit dem maximalen Biegemoment aus der Streckenlast geführt werden.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{50}{0,26 * \frac{2867}{1,1}} + 1,09 * \frac{176,4}{1,0 * \frac{268,02}{1,1}} = 0,86 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{50}{0,11 * \frac{2867}{1,1}} + 0,60 * \frac{176,4}{1,0 * \frac{268,02}{1,1}} = 0,61 \leq 1,0$$

Aufgabe 1 f) (3 Punkte)

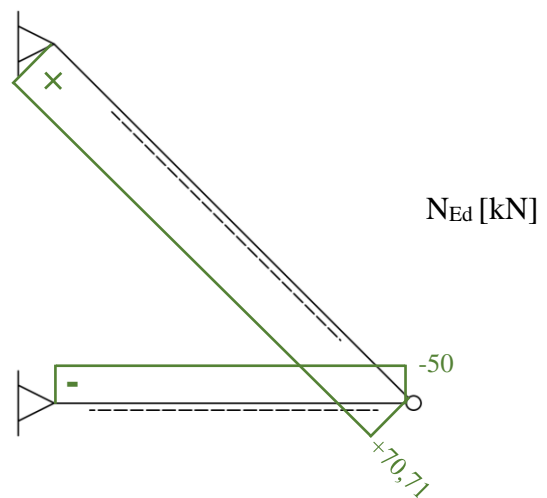
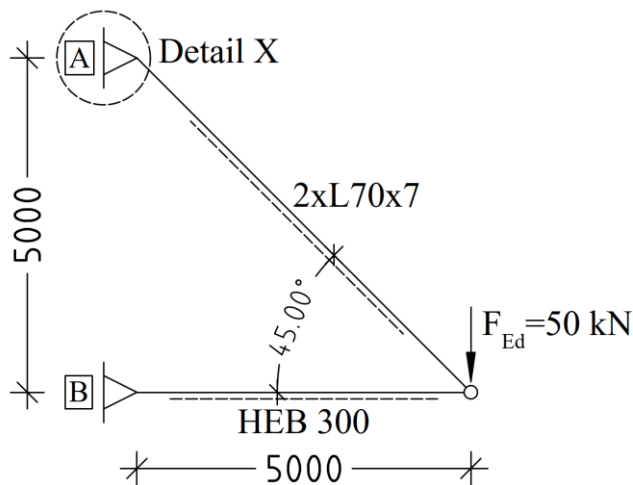
Der Vorschlag ist nicht zielführend. Durch die Verbreiterung des Stegabstands wird lediglich I_z größer, I_y jedoch nicht. Maßgebend ist jedoch der Stabilitätsnachweis für das Knicken um die y-Achse, weshalb eine Vergrößerung von I_y sinnvoller wäre.

Aufgabe 2 (15 Punkte)

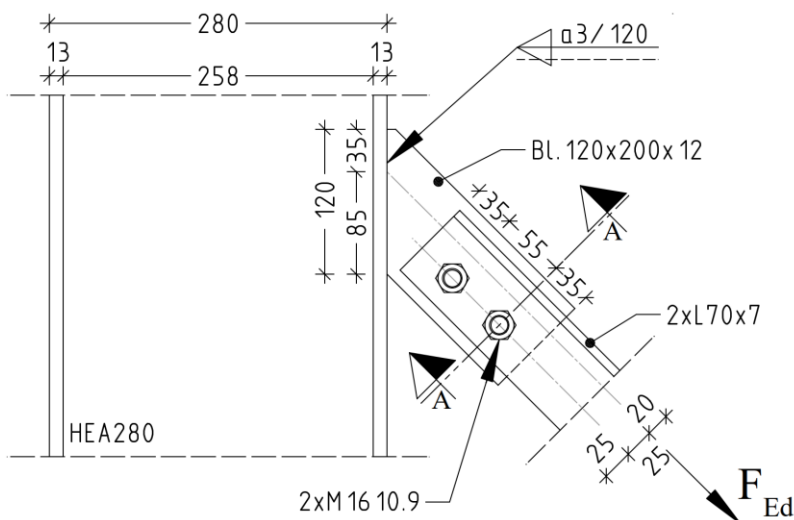
Das Anschlussdetail vom unten dargestellten Statischen System soll wie folgt realisiert werden. Die Winkelprofile werden mit einem durchgehenden 12 mm dicken Fahnenblech verschraubt, welches mit der Stütze flanschseitig verschweißt wird.

Statisches System:

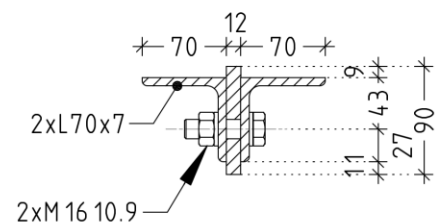
Alle Stahlbauteile sind in S235



Anschlussdetail:



Schnitt A - A



Folgende Teilaufgaben sind zu bearbeiten:

- a) Berechnen Sie die Normalkräfte im System.
- b) Führen Sie einen elastischen Spannungsnachweis für den maßgebenden Querschnitt.
- c) Führen Sie alle erforderlichen Schraubennachweise.
- d) Führen Sie alle erforderlichen Schweißnachweise.

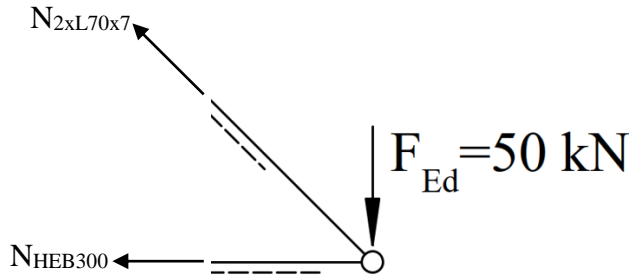
Alle Informationen, die zur Bearbeitung der folgenden Aufgabenpunkte erforderlich sind, sind in den Skizzen enthalten.

Hinweise:

- Die angegebenen Werte für die Belastung sind Bemessungswerte.
- Das Eigengewicht der Stäbe soll nicht zusätzlich berücksichtigt werden.

Aufgabe 2 a) (3 Punkte)

Die Normalkräfte lassen sich über das vertikale und horizontale Gleichgewicht am Knoten ermitteln:



$$\sum V = 0 = F_{Ed} - N_{2xL70x7} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \rightarrow N_{2xL70x7} = F_{Ed} \cdot \frac{2}{\sqrt{2}} = 50 \cdot \frac{2}{\sqrt{2}} = 70,71 \text{ kN (Zug)}$$

$$\begin{aligned} \sum H = 0 &= -N_{HEB300} - N_{2xL70x7} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \rightarrow N_{HEB300} = -N_{2xL70x7} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = -70,71 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \\ &= -50 \text{ kN (Druck)} \end{aligned}$$

Aufgabe 2 b) (3 Punkte)

Maßgebend ist der Nachweis am Zugstab. Die Normalkraftbeanspruchung ist höher und die Querschnittsfläche geringer als die des Druckstabs. Die Querschnittsflächen lassen sich schnell mit Hilfe der Schneider Bautabellen vergleichen,

$$A_{2xL70x7} = 2 \cdot 9,4 = 18,8 \text{ cm}^2 < A_{HEB300} = 149,1 \text{ cm}^2$$

Elastischer Spannungsnachweis unter Berücksichtigung der Schraubenlöcher mit A_{net} :

$$A_{net} = A - n \cdot d_0 \cdot t = 18,8 - 1 \cdot 1,8 \cdot (2 \cdot 0,7) = 16,28 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{N}{A_{net}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z}} = \frac{70,71}{16,28} + 0 + 0 = 4,34 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1,0} = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

ALTERNATIV Nachweis für Zugbeanspruchung wäre **in diesem Fall** auch in Ordnung:

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \begin{aligned} N_{pl,Rd} &= \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{18,8 \cdot 23,5}{1,0} = 441,8 \text{ kN} \\ N_{u,Rd} &= \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 16,28 \cdot 36,0}{1,25} = \mathbf{421,98 \text{ kN}} \end{aligned} \right.$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{70,71}{421,98} = 0,17 \leq 1,0$$

Aufgabe 2 c) (4 Punkte)

Theoretisch gilt für den Anschluss $F_{Ed} = N_{t,Ed} = 70,71 \text{ kN}$ gemäß der Schnittgrößenermittlung aus Teil a). Da die Bezeichnung F_{Ed} innerhalb der Aufgabe unglücklicherweise zwei Mal in unterschiedlichen Kontexten auftritt, ist eine Bemessung des Anschlusses mit $F_{Ed} = 50 \text{ kN}$ **in diesem Fall** auch in Ordnung.

Gegeben:

Schrauben 2xM16 10.9, diverse Abstände gemäß Zeichnung

In der Regel befindet sich die Scherfuge meist im Schaft der Schraube. Da es hierzu jedoch keinen Hinweis gibt und die Widerstände bei Scherfugenlage im Gewinde sogar geringer sind, darf der Nachweis **in diesem Fall** mit beiden Grenzabscherkräften geführt werden.

Nachweis der Schrauben auf Abscheren, 2 Schrauben und 2 Scherfugen im Schaft, $F_{Ed} = N_{t,Ed} = 70,71 \text{ kN}$:

$$F_{v,Ed} = \frac{70,71}{2 * 2} = 17,68 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 96,5 \text{ kN} \text{ bzw. } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{17,68}{96,5} = 0,18 \leq 1,0$$

Der Nachweis kann auch wie folgt geführt werden:

$$F_{v,Ed} = 70,71 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 2 * 2 * 96,5 = 386 \text{ kN} \text{ bzw. } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{70,71}{386} = 0,18 \leq 1,0$$

ALTERNATIV Nachweis der Schrauben auf Abscheren, 2 Schrauben und 2 Scherfugen im Gewinde, $F_{Ed} = N_{t,Ed} = 70,71 \text{ kN}$:

$$F_{v,Ed} = \frac{70,71}{2 * 2} = 17,68 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 62,8 \text{ kN} \text{ bzw. } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{17,68}{62,8} = 0,28 \leq 1,0$$

Der Nachweis kann auch wie folgt geführt werden:

$$F_{v,Ed} = 70,71 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 2 * 2 * 62,8 = 251,2 \text{ kN} \text{ bzw. } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{70,71}{251,2} = 0,28 \leq 1,0$$

ALTERNATIV Nachweis der Schrauben auf Abscheren, 2 Schrauben und 2 Scherfugen im Schaft, $F_{Ed} = 50 \text{ kN}$:

$$F_{v,Ed} = \frac{50}{2 * 2} = 12,50 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 96,5 \text{ kN} \text{ bzw. } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{12,50}{96,5} = 0,13 \leq 1,0$$

Der Nachweis kann auch wie folgt geführt werden:

$$F_{v,Ed} = 50 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 2 * 2 * 96,5 = 386 \text{ kN} \text{ bzw. } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{50}{386} = 0,13 \leq 1,0$$

ALTERNATIV Nachweis der Schrauben auf Abscheren, 2 Schrauben und 2 Scherfugen im Gewinde, $F_{Ed} = 50 \text{ kN}$:

$$F_{v,Ed} = \frac{50}{2 * 2} = 12,5 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 62,8 \text{ kN} \text{ bzw. } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{12,5}{62,8} = 0,20 \leq 1,0$$

Der Nachweis kann auch wie folgt geführt werden:

$$F_{v,Ed} = 50 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 2 * 2 * 62,8 = 251,2 \text{ kN} \text{ bzw. } \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{50}{251,2} = 0,20 \leq 1,0$$

Nachweis des maßgebenden Bauteils auf Lochleibung:

Das Blech ist maßgebend: $t = 12 \text{ mm} < 2 * 7 = 14 \text{ mm}$

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

$$p_1 = 55 \text{ mm} \geq e_1 + 14 = 35 + 14 = 49 \text{ mm}$$

Belastung je Schraube:

$$F_{v,Ed} = \frac{70,71}{2} = 35,36 \text{ kN}$$

ALTERNATIV:

$$F_{v,Ed} = \frac{50}{2} = 25,00 \text{ kN}$$

Grenzlochleibungskraft je Schraube mit normalem Lochspiel bezogen auf 10 mm Bauteildicke:

$$F_{b,Rd} = 74,67 \text{ kN}$$

Grenzlochleibungskraft je Schraube mit normalem Lochspiel bezogen auf 12 mm Bauteildicke:

$$F_{b,Rd} = 1,2 * 74,67 = 89,60 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 35,36 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 89,60 \text{ kN} \text{ bzw. } \frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{35,36}{89,60} = 0,39 \leq 1,0$$

ALTERNATIV:

$$F_{v,Ed} = 25,00 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 89,60 \text{ kN} \text{ bzw. } \frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{25,00}{89,60} = 0,28 \leq 1,0$$

Aufgabe 2 d) (5 Punkte)

Theoretisch gilt für den Anschluss $F_{Ed} = N_{t,Ed} = 70,71 \text{ kN}$ gemäß der Schnittgrößenermittlung aus Teil a). Da die Bezeichnung F_{Ed} innerhalb der Aufgabe unglücklicherweise zwei Mal in unterschiedlichen Kontexten auftritt, ist eine Bemessung des Anschlusses mit $F_{Ed} = 50 \text{ kN}$ **in diesem Fall** auch in Ordnung.

Überprüfung der Mindestmaße von tragenden Kehlnähten:

$$\text{Schweißnahtdicke: } a_w = 3 \text{ mm} \geq \min a_w = 3 \text{ mm} \geq \sqrt{\max t} - 0,5 = \sqrt{12} - 0,5 = 2,96$$

$$\text{Schweißnahtlänge: } l_w = 120 \text{ mm} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ mm} \\ 6 * a_w = 6 * 3 = 18 \text{ mm} \end{array} \right.$$

Schnittgrößen in der Anschlussebene mit $F_{Ed} = N_{t,Ed} = 70,71 \text{ kN}$ und $\alpha = 45^\circ$:

$$F_{\parallel,Ed} = F_{Ed} * \cos \alpha = F_{Ed} * \frac{\sqrt{2}}{2} = 70,71 * \frac{\sqrt{2}}{2} = 50 \text{ kN}$$

$$F_{\perp,Ed} = F_{Ed} * \sin \alpha = F_{Ed} * \frac{\sqrt{2}}{2} = 70,71 * \frac{\sqrt{2}}{2} = 50 \text{ kN}$$

$$e = \frac{120}{2} - 35 = 25 \text{ mm} = 2,5 \text{ cm}$$

$$M_{y,Ed} = F_{\perp,Ed} * e = 50 * 2,5 = 125 \text{ kNcm}$$

ALTERNATIV Schnittgrößen in der Anschlussebene mit $F_{Ed} = 50 \text{ kN}$ und $\alpha = 45^\circ$:

$$F_{\parallel,Ed} = F_{Ed} * \cos \alpha = F_{Ed} * \frac{\sqrt{2}}{2} = 50 * \frac{\sqrt{2}}{2} = 35,36 \text{ kN}$$

$$F_{\perp,Ed} = F_{Ed} * \sin \alpha = F_{Ed} * \frac{\sqrt{2}}{2} = 50 * \frac{\sqrt{2}}{2} = 35,36 \text{ kN}$$

$$e = \frac{120}{2} - 35 = 25 \text{ mm} = 2,5 \text{ cm}$$

$$M_{y,Ed} = F_{\perp,Ed} * e = 35,36 * 2,5 = 88,40 \text{ kNcm}$$

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, die **in diesem Fall** jeweils mit der Zugkraft aus der Schnittgrößenermittlung oder vereinfacht mit $F_{Ed} = 50 \text{ kN}$ geführt werden dürfen. Die 6 möglichen Lösungswege sind im Folgenden aufgeführt.

Schweißnahtnachweis – Richtungsbezogenes Verfahren $F_{Ed} = N_{t,Ed} = 70,71 \text{ kN}$:

$$\tau_{\parallel,Ed} = \frac{F_{\parallel,Ed}}{2 * a * l_w} = \frac{50}{2 * 0,3 * 12} = 6,94 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\perp,Ed} = \sigma_{\perp,Ed} = \left(\frac{F_{\perp,Ed}}{2 * a * l_w} + \frac{M_{y,Ed}}{W_w} \right) * \frac{\sqrt{2}}{2} = \left(\frac{50}{2 * 0,3 * 12} + \frac{125}{2 * 0,3 * \frac{12^2}{6}} \right) * \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$= 11,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp,Ed}^2 + 3 * (\tau_{\perp,Ed}^2 + \tau_{\parallel,Ed}^2)} = \sqrt{11,05^2 + 3 * (11,05^2 + 6,94^2)} = 25,16 \text{ kN/cm}^2$$

$$\leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{36,0}{0,8 * 1,25} = 36,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\perp,Ed} = 11,05 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 36,0}{1,25} = 25,92 \text{ kN/cm}^2$$

Schweißnahtnachweis – Richtungsbezogenes Verfahren $F_{Ed} = 50 \text{ kN}$:

$$\tau_{\parallel,Ed} = \frac{F_{\parallel,Ed}}{2 * a * l_w} = \frac{35,36}{2 * 0,3 * 12} = 4,91 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\perp,Ed} = \sigma_{\perp,Ed} = \left(\frac{F_{\perp,Ed}}{2 * a * l_w} + \frac{M_{y,Ed}}{W_w} \right) * \frac{\sqrt{2}}{2} = \left(\frac{35,36}{2 * 0,3 * 12} + \frac{88,40}{2 * 0,3 * \frac{12^2}{6}} \right) * \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$= 7,81 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp,Ed}^2 + 3 * (\tau_{\perp,Ed}^2 + \tau_{\parallel,Ed}^2)} = \sqrt{7,81^2 + 3 * (7,81^2 + 4,91^2)} = 17,79 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$= \frac{36,0}{0,8 * 1,25} = 36,00 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp,Ed} = 7,81 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 36,0}{1,25} = 25,92 \text{ kN/cm}^2$$

Schweißnahtnachweis – Vereinfachtes Verfahren mit Kräften $F_{Ed} = N_{t,Ed} = 70,71 \text{ kN}$:

$$V_{\parallel,Ed} = \frac{F_{\parallel,Ed}}{l_w} = \frac{50}{12} = 4,17 \text{ kN/cm}$$

$$N_{\perp,Ed} = \frac{F_{\perp,Ed}}{l_w} + \frac{M_{y,Ed}}{l_w^2/6} = \frac{50}{12} + \frac{125}{12^2/6} = 9,38 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{V_{\parallel,Ed}^2 + N_{\perp,Ed}^2} = \sqrt{4,17^2 + 9,38^2} = 10,27 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u * 2 * a}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{36,0 * 2 * 0,3}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,25} = 12,47 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} = 10,27 \text{ kN/cm} \leq F_{w,Rd} = 12,47 \text{ kN/cm}$$

Schweißnahtnachweis – Vereinfachtes Verfahren mit Kräften $F_{Ed} = 50 \text{ kN}$:

$$V_{\parallel,Ed} = \frac{F_{\parallel,Ed}}{l_w} = \frac{35,36}{12} = 2,95 \text{ kN/cm}$$

$$N_{\perp,Ed} = \frac{F_{\perp,Ed}}{l_w} + \frac{M_{y,Ed}}{l_w^2/6} = \frac{35,36}{12} + \frac{88,40}{12^2/6} = 6,63 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{V_{\parallel,Ed}^2 + N_{\perp,Ed}^2} = \sqrt{2,95^2 + 6,63^2} = 7,26 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u * 2 * a}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{36,0 * 2 * 0,3}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,25} = 12,47 \text{ kN/cm}$$

$$F_{w,Ed} = 7,26 \text{ kN/cm} \leq F_{w,Rd} = 12,47 \text{ kN/cm}$$

Schweißnahtnachweis – Vereinfachtes Verfahren mit Spannungen $F_{Ed} = N_{t,Ed} = 70,71$ kN:

$$\tau_{\parallel,Ed} = \frac{F_{\parallel,Ed}}{2 * a * l_w} = \frac{50}{2 * 0,3 * 12} = 6,94 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\perp,Ed} = \frac{F_{\perp,Ed}}{2 * a * l_w} + \frac{M_{y,Ed}}{W_w} = \frac{50}{2 * 0,3 * 12} + \frac{125}{2 * 0,3 * 12^2/6} = 15,63 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\tau_{\parallel,Ed}^2 + \sigma_{\perp,Ed}^2} = \sqrt{6,94^2 + 15,63^2} = 17,10 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$\sigma_{w,Ed} = 17,10 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{w,Rd} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

Schweißnahtnachweis – Vereinfachtes Verfahren mit Spannungen $F_{Ed} = 50$ kN:

$$\tau_{\parallel,Ed} = \frac{F_{\parallel,Ed}}{2 * a * l_w} = \frac{35,36}{2 * 0,3 * 12} = 4,91 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\perp,Ed} = \frac{F_{\perp,Ed}}{2 * a * l_w} + \frac{M_{y,Ed}}{W_w} = \frac{35,36}{2 * 0,3 * 12} + \frac{88,40}{2 * 0,3 * 12^2/6} = 11,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\tau_{\parallel,Ed}^2 + \sigma_{\perp,Ed}^2} = \sqrt{4,91^2 + 11,05^2} = 12,09 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$\sigma_{w,Ed} = 12,09 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{w,Rd} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$