

Prüfung SoSe 2022 Stahlbau I – 1. Teil
Prüfungszeit 40 Minuten

Prof. Dr.-Ing. Marcus Rutner

Institut für Metall- und Verbundbau

Hamburg, den 25. August 2022

Name: _____

Vorname: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punktzahl
1)	10	
2)	5	
3)	8	
4)	7	
5)	10	
Summe	40	

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 1. Teil der Klausur sind KEINE Hilfsmittel zugelassen.
- Das Mitführen von Kommunikationsmitteln ist untersagt.

Aufgabe 1 (10 Punkte)

Kreuzen Sie in Tabelle 1 an, ob die folgenden Aussagen wahr oder falsch sind. Je richtig gesetztem Kreuz gibt es einen Punkt. Je falsch gesetztem Kreuz gibt es einen Punkt Abzug. Insgesamt kann die Aufgabe 1 jedoch nicht mit weniger als 0 Punkten bewertet werden.

Tabelle 1:

Aussage	Wahr	Falsch
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Aussagen:

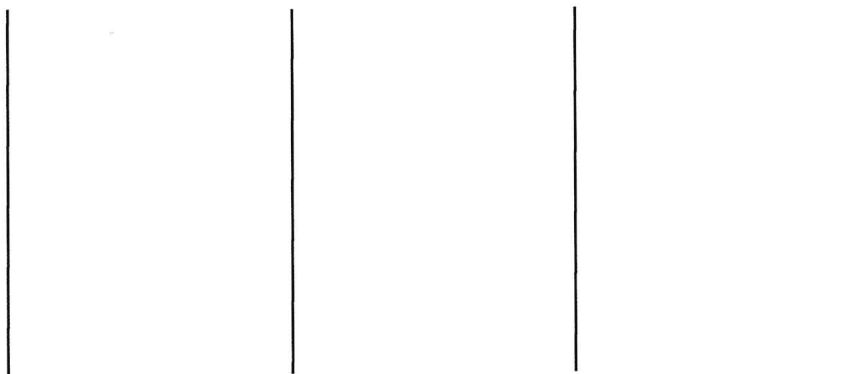
- 1) Stahl ist eine Eisen-Kohlenstoff-Legierung mit einem Kohlenstoffgehalt von maximal 2,06 %.
- 2) In Deutschland ist der Sicherheitsfaktor auf Materialeite $\gamma_{M0} = 1,0$.
- 3) Die Z-Güte sagt etwas über die Sprödigkeit eines Werkstoffs bei Raumtemperatur aus.
- 4) Die Streckgrenze von Walzstählen wird herabgesetzt, für Blechdicken $> 40\text{mm}$.
- 5) Bei symmetrischen I-Profilen liegen elastisch neutrale Achse (ENA) und Plastisch-neutrale Achse (PNA) auf unterschiedlichen Höhen.
- 6) Wenn für Schrauben ein Zugfestigkeitsnachweis geführt wird, muss auch immer ein Durchstanznachweis geführt werden.
- 7) Für vorgespannte Schraubengarnituren darf im GZT kein Gleiten der Verbindung auftreten.
- 8) Der vereinfachte Schweißnahtnachweis liegt auf der sicheren Seite, da der Anteil aus σ_{\perp} überschätzt wird.
- 9) Zugstäbe sind meistens dünner als Druckstäbe.
- 10) Für das Biegedrillknicken ist es besser, wenn die Last oben auf einem I-Träger angreift.

Aufgabe 2 (5 Punkte)

- Zeichnen Sie das Spannungs-Dehnungs-Diagramm für den Zugversuch mit einem S355.
- Kennzeichnen Sie die Fließspannung, die Bruchspannung, die Fließdehnung, die Bruchdehnung und den Beginn der Einschnürung im Diagramm. Zahlenwerte sind nicht gefordert.
- Begründen Sie, weshalb die Spannung nach dem ersten fließen wieder zunimmt.

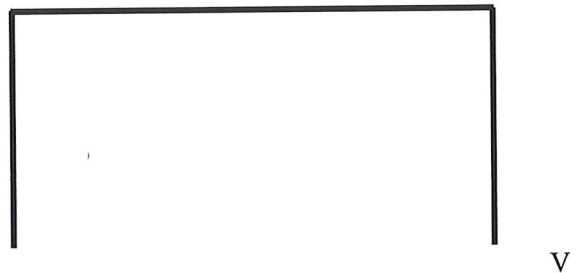
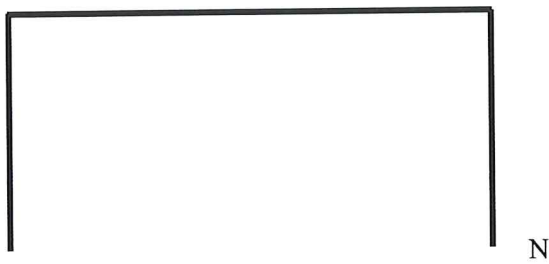
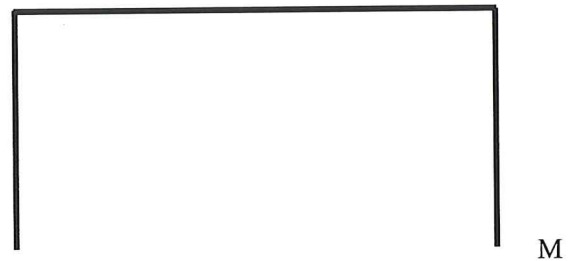
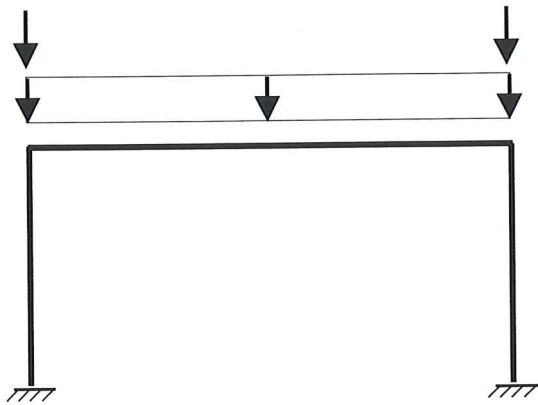
Aufgabe 3 (8 Punkte)

Zeichnen Sie die vier Eulerfälle mit den dazugehörigen Lagerbedingungen und geben Sie jeweils L_{cr} und β_{cr} an. Die Länge der Bauteile beträgt 5 m.



Aufgabe 4 (7 Punkte)

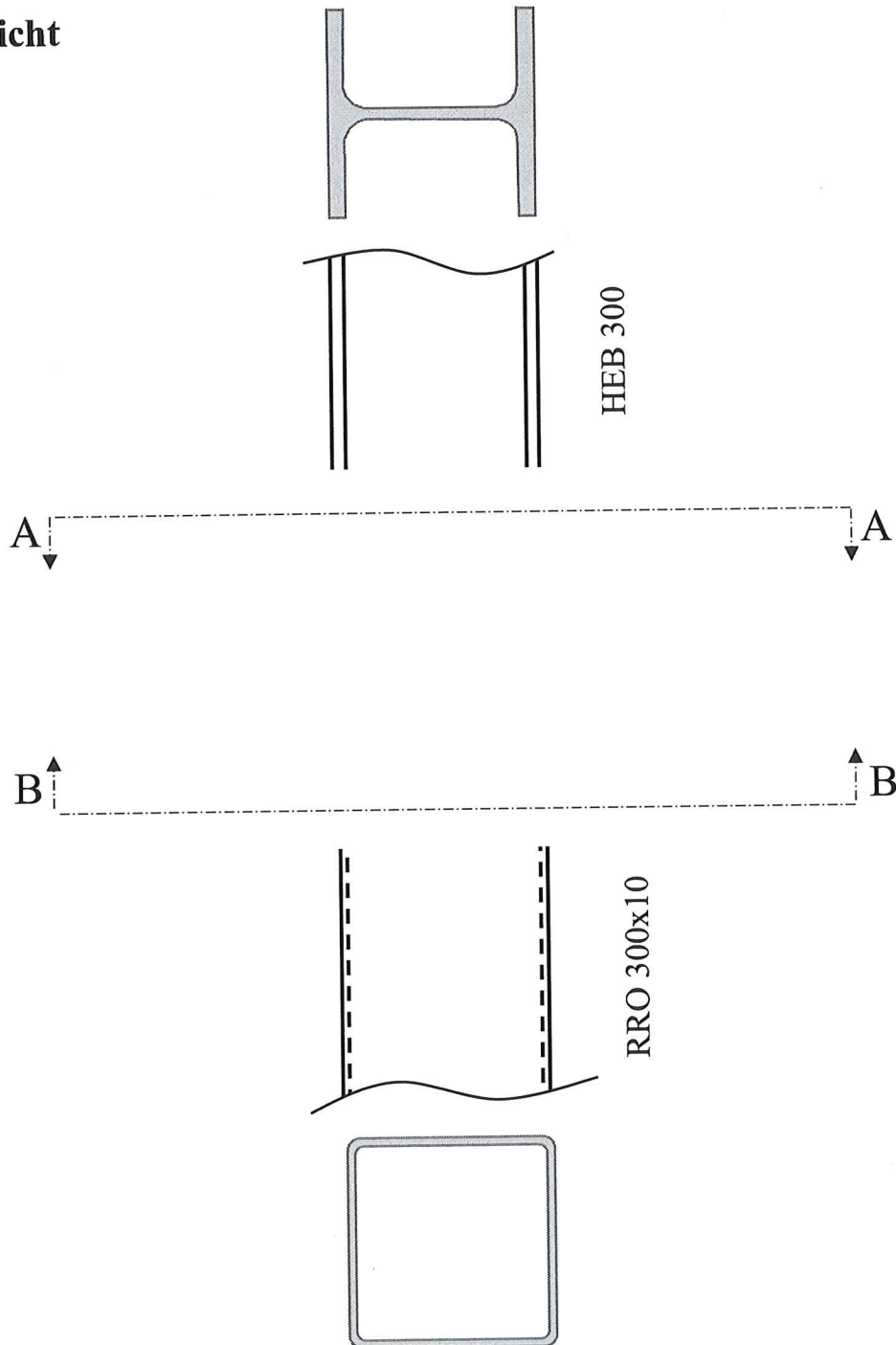
Stellen Sie qualitativ die Schnittgrößenverläufe V, N und M auf und listen Sie alle Nachweise auf, die geführt werden müssen.



Aufgabe 5 (10 Punkte)

Eine Biegesteife Verbindung soll zwischen einem I-Profil HEB 300 und einem Hohlkasten RRO 300x300x8 hergestellt werden. Entwerfen Sie einen geeigneten Anschluss. Vervollständigen Sie dafür den Anschluss auf dieser Seite und zeichnen Sie die Schnitte A-A und B-B auf der folgenden Seite. Beschriften Sie sämtliche Anschlussmittel. Es sind keinerlei Nachweise erforderlich.

Ansicht



Schnitt A-A:

Schnitt B-B:

Prüfung SoSe 2022 Stahlbau I – 2. Teil
Prüfungszeit 50 Minuten

Prof. Dr.-Ing. Marcus Rutner

Institut für Metall- und Verbundbau

Hamburg, den 25. August 2022

Name: _____

Vorname: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punktzahl
1)	15	
2)	20	
3)	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.

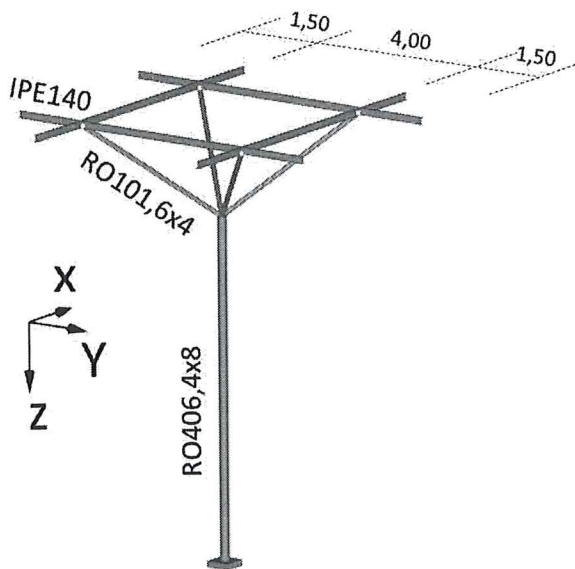
Aufgabe 1 (15 Punkte)

Gegeben ist das dargestellte dreidimensionale System. Es besteht aus einer vertikalen Stütze, die unten eingespannt ist (Rohr 406,4 mm x 8 mm), vier geneigten Stäben (Rohr 101,6 mm x 4 mm) und vier horizontalen Stäben (IPE140). Die vier horizontalen Stäbe sind jeweils über ihre gesamte Länge von 7 m mit der Streckenlast q_{Ed} belastet, wie beispielhaft in der 2D-Ansicht in X-Richtung dargestellt.

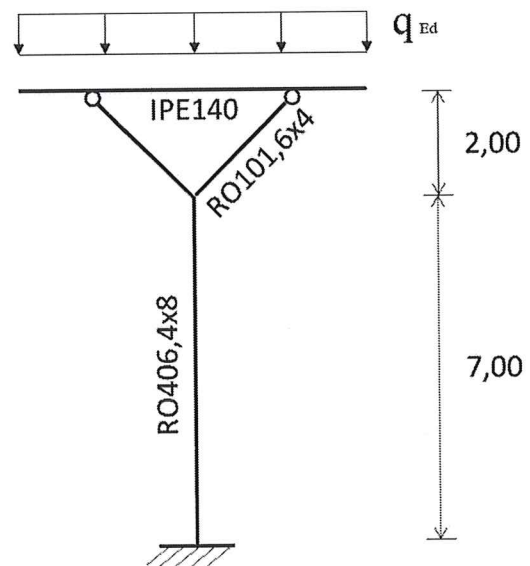
$$q_{Ed} = 8 \text{ kN/m}$$

Alle Bauteile: S355

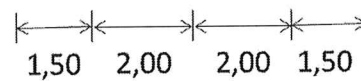
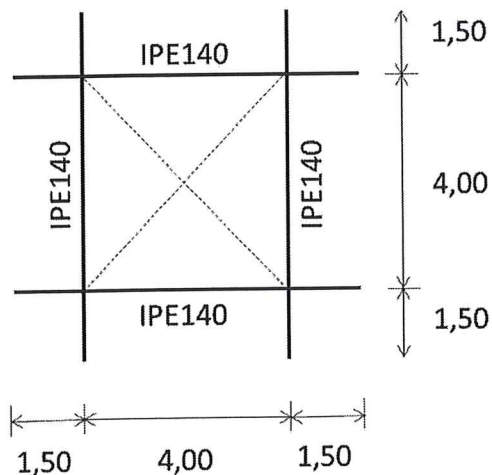
Isometrie:



Ansicht in X-Richtung:



Draufsicht (in Z-Richtung):

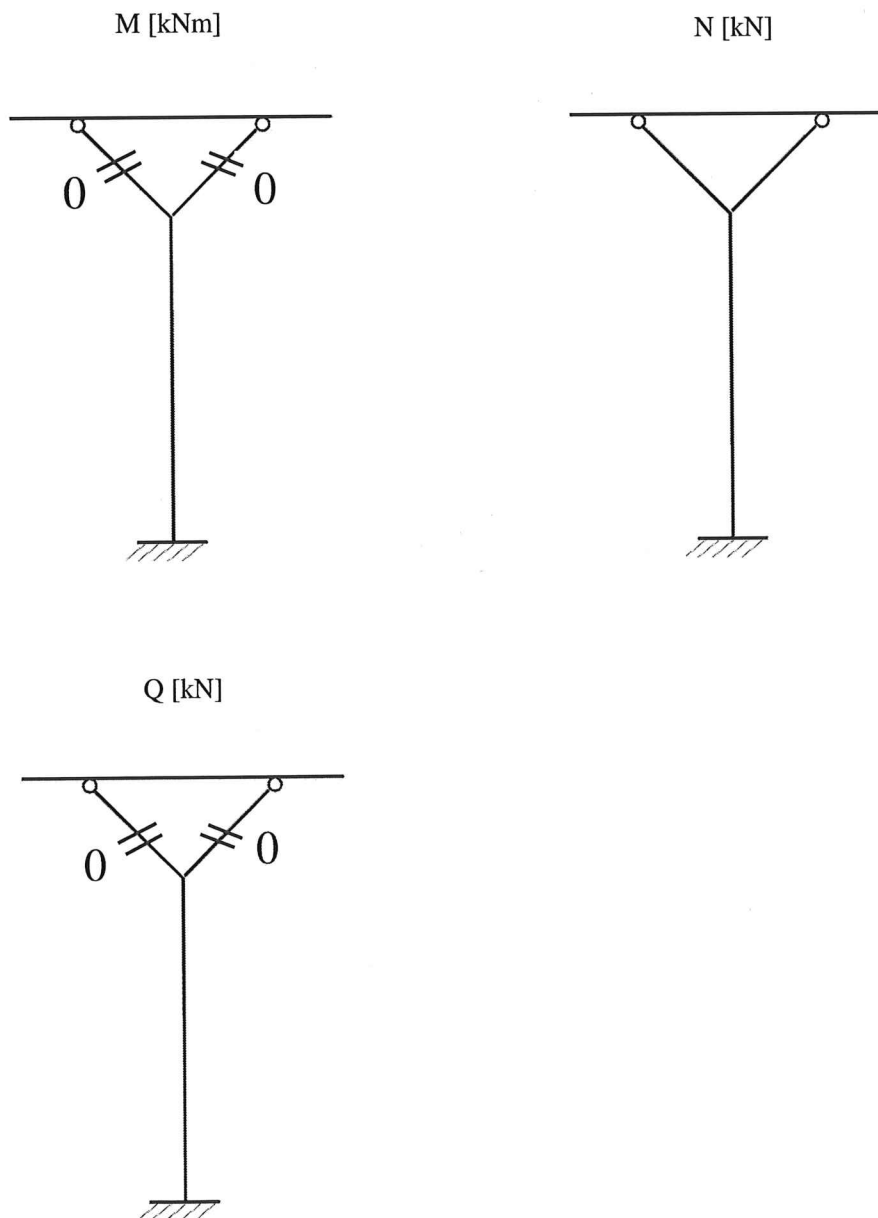


Vervollständigen Sie die drei Schnittgrößenverläufe in Anlage 1 mit maßgebenden Zahlenwerten und Vorzeichen.

Hinweise:

- Das Eigengewicht der Stäbe soll nicht berücksichtigt werden
- Das Moment und die Querkraft in den geneigten Stäben (Rohre 101,6 mm x 4 mm) kann zu Null angenommen werden.

Anlage 1:



Aufgabe 2 (20 Punkte)

Führen Sie alle erforderlichen Bauteil- und Stabilitätsnachweise für das System aus Aufgabe 1 unter Last.

Hinweis:

- Das Eigengewicht der Stäbe soll nicht berücksichtigt werden.

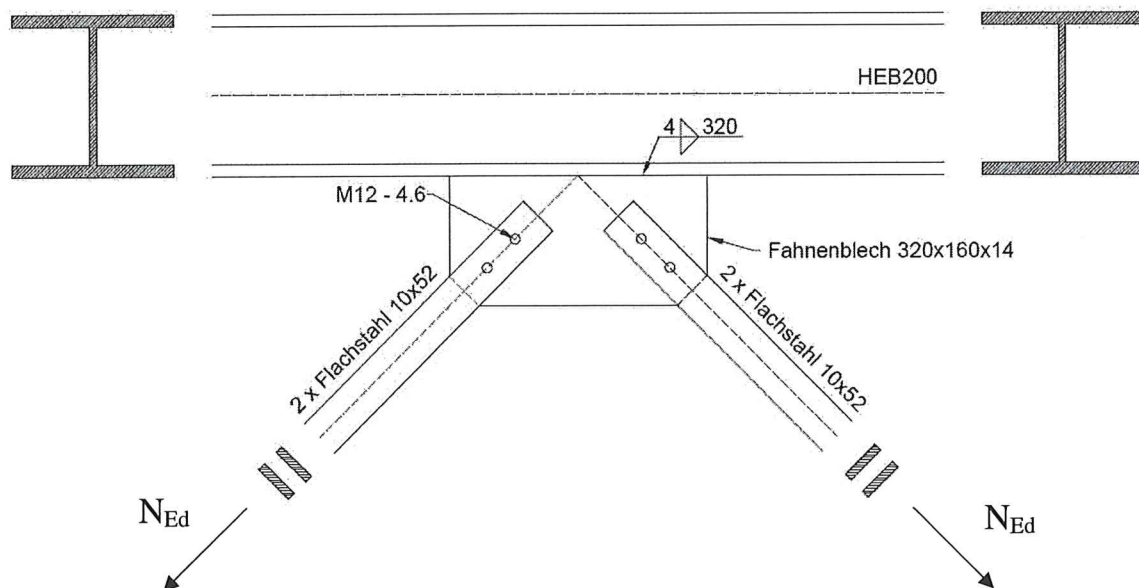
Aufgabe 3 (15 Punkte)

Dargestellt ist der gelenkige Anschluss zweier Zugstäbe (jeweils 2x Flachstahl 10 mm x 52 mm) an einen Biegeträger. Die beiden Flachstähle umschließen ein Fahnenblech ($t = 14$ mm) mit dem sie verschraubt sind. Hierfür werden jeweils zwei Schrauben M12-4.6 verwendet. Das Fahnenblech ist mit Doppelkehlnähten an den Unterflansch des HEB200 geschweißt. Alle Stähle sind S355.

$N_{Ed} = 50$ kN

- Führen Sie alle erforderlichen Nachweise für den Anschluss

Ansicht (Bemaßung in mm):



Hinweis:

- Der Anschluss ist symmetrisch. Die Kräfte N_{Ed} wirken im 45° -Winkel zur Stablängsachse des Biegeträgers.

Prüfung SoSe 2022 Stahlbau I – 1. Teil
Prüfungszeit 40 Minuten

Prof. Dr.-Ing. Marcus Rutner

Institut für Metall- und Verbundbau

Hamburg, den 25. August 2022

Name: _____

Vorname: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punktzahl
1)	10	
2)	5	
3)	8	
4)	7	
5)	10	
Summe	40	
		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 1. Teil der Klausur sind KEINE Hilfsmittel zugelassen.
- Das Mitführen von Kommunikationsmitteln ist untersagt.

Aufgabe 1 (10 Punkte)

Kreuzen Sie in Tabelle 1 an, ob die folgenden Aussagen wahr oder falsch sind. Je richtig gesetztem Kreuz gibt es einen Punkt. Je falsch gesetztem Kreuz gibt es einen Punkt Abzug. Insgesamt kann die Aufgabe 1 jedoch nicht mit weniger als 0 Punkten bewertet werden.

Tabelle 1:

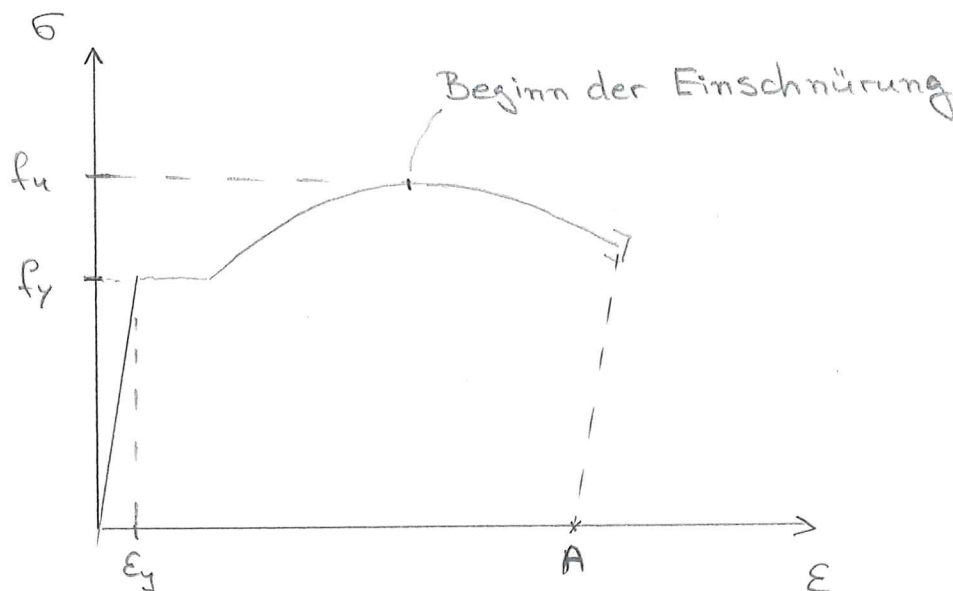
Aussage	Wahr	Falsch
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Aussagen:

- 1) Stahl ist eine Eisen-Kohlenstoff-Legierung mit einem Kohlenstoffgehalt von maximal 2,06 %.
- 2) In Deutschland ist der Sicherheitsfaktor auf Materialseite $\gamma_{M0} = 1,0$.
- 3) Die Z-Güte sagt etwas über die Sprödigkeit eines Werkstoffs bei Raumtemperatur aus.
- 4) Die Streckgrenze von Walzstählen wird herabgesetzt, für Blechdicken $> 40\text{mm}$.
- 5) Bei symmetrischen I-Profilen liegen elastisch neutrale Achse (ENA) und Plastisch-neutrale Achse (PNA) auf unterschiedlichen Höhen.
- 6) Wenn für Schrauben ein Zugfestigkeitsnachweis geführt wird, muss auch immer ein Durchstanznachweis geführt werden.
- 7) Für vorgespannte Schraubengarnituren darf im GZT kein Gleiten der Verbindung auftreten.
- 8) Der vereinfachte Schweißnahtnachweis liegt auf der sicheren Seite, da der Anteil aus σ_{\perp} überschätzt wird.
- 9) Zugstäbe sind meistens dünner als Druckstäbe.
- 10) Für das Biegedrillknicken ist es besser, wenn die Last oben auf einem I-Träger angreift.

Aufgabe 2 (5 Punkte)

- Zeichnen Sie das Spannungs-Dehnungs-Diagramm für den Zugversuch mit einem S355.
- Kennzeichnen Sie die Fließspannung, die Bruchspannung, die Fließdehnung, die Bruchdehnung und den Beginn der Einschnürung im Diagramm. Zahlenwerte sind nicht gefordert.
- Begründen Sie, weshalb die Spannung nach dem ersten fließen wieder zunimmt.



f_y - Fließspannung

f_u - Zugfestigkeit / Bruchspannung

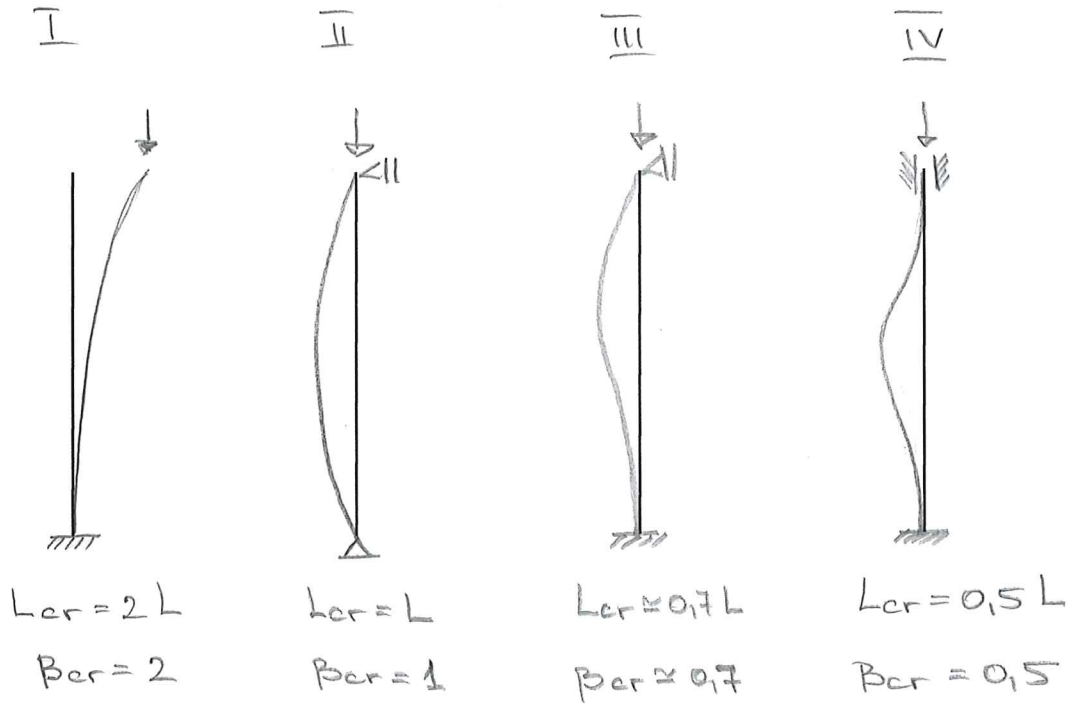
ϵ_y - Fließdehnung

A - Bruchdehnung

Beim Fließen entstehen Versetzungen im Kristallgitter des Materials. Mit zunehmender Dehnung nimmt auch die Versetzungsdichte im Material zu, so dass eine immer größere Spannung notwendig ist, um neue Versetzungen zu erzeugen.

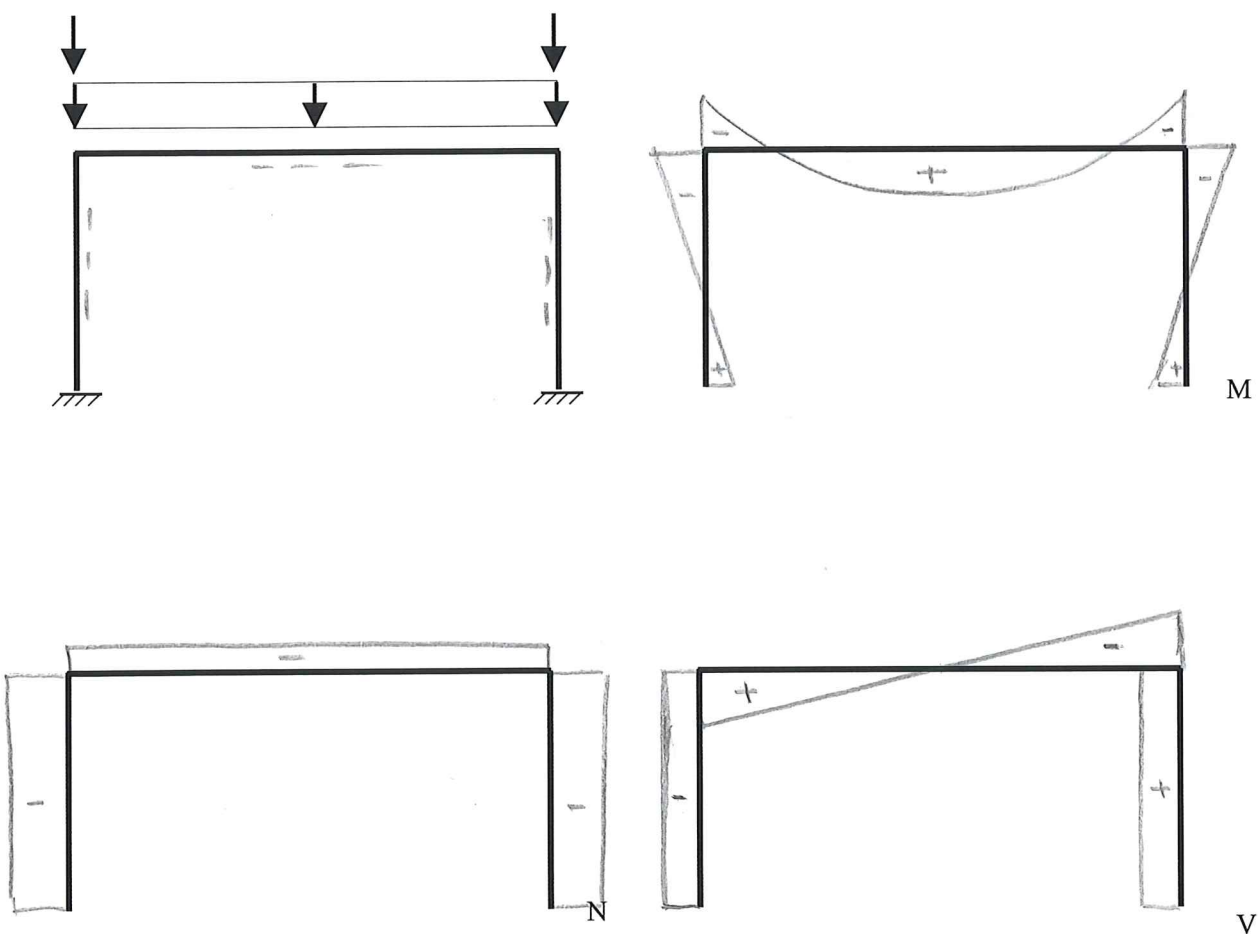
Aufgabe 3 (8 Punkte)

Zeichnen Sie die vier Eulerfälle mit den dazugehörigen Lagerbedingungen und geben Sie jeweils L_{cr} und β_{cr} an. Die Länge der Bauteile beträgt 5 m.



Aufgabe 4 (7 Punkte)

Stellen Sie qualitativ die Schnittgrößenverläufe V , N und M auf und listen Sie alle Nachweise auf, die geführt werden müssen.



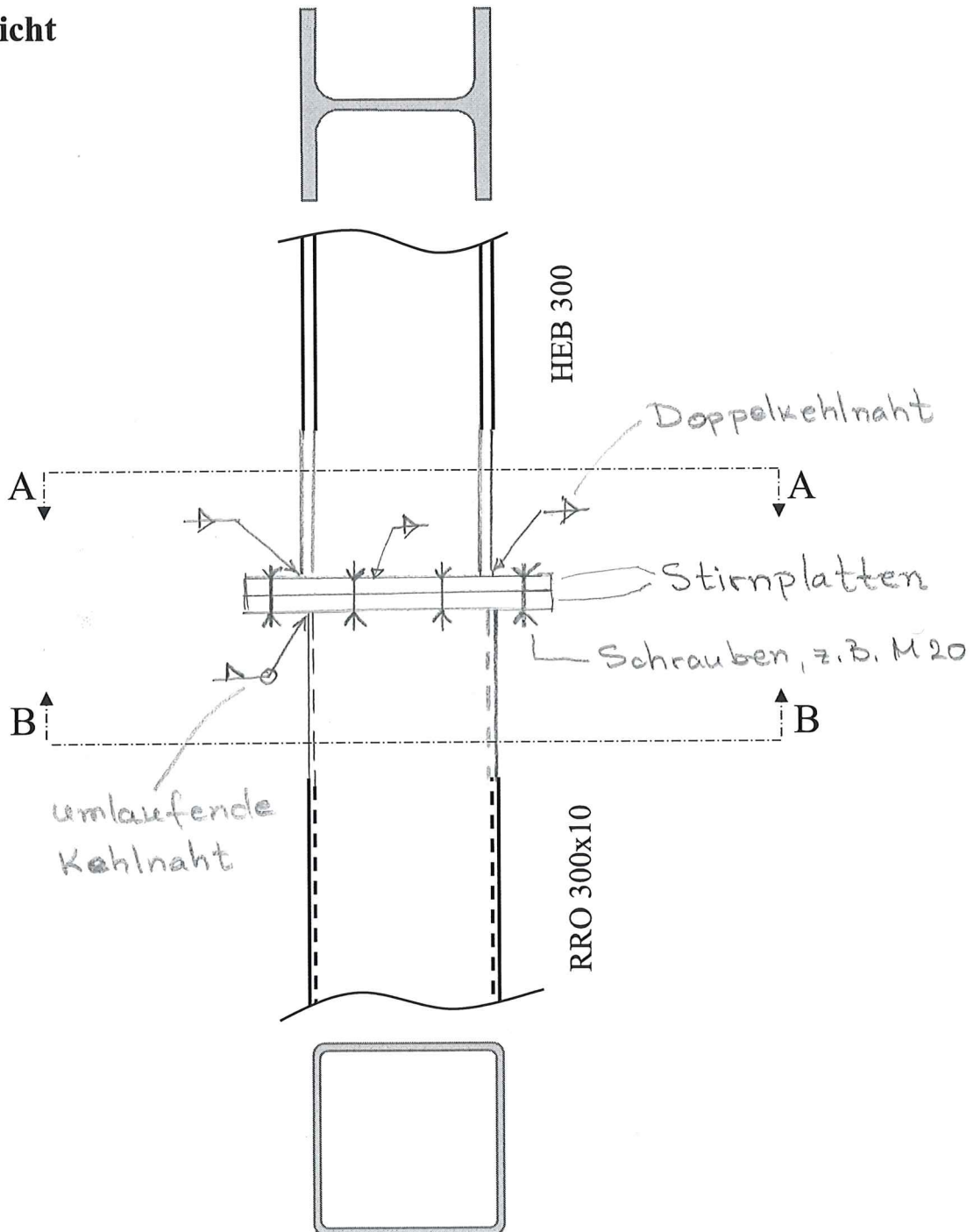
Nachweise:

- für Stützen und Riegel: Stabilitätsnachweis unter kombinierter Beanspruchung aus N und M_y (Interaktion Biegeknicken + Biegedrillknicken)
- An den Rahmenecken und Einspannstellen: Querschnittsnachweis unter N, M_y und V_z -elastisch oder plastisch, je nach Querschnittsklasse
- Anschlussnachweise

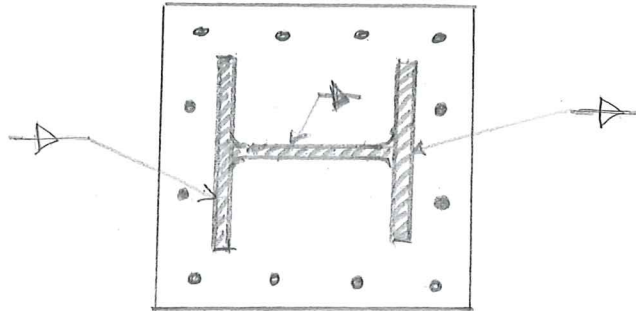
Aufgabe 5 (10 Punkte)

Eine Biegesteife Verbindung soll zwischen einem I-Profil HEB 300 und einem Hohlkasten RRO 300x300x8 hergestellt werden. Entwerfen Sie einen geeigneten Anschluss. Vervollständigen Sie dafür den Anschluss auf dieser Seite und zeichnen Sie die Schnitte A-A und B-B auf der folgenden Seite. Beschriften Sie sämtliche Anschlussmittel. Es sind keinerlei Nachweise erforderlich.

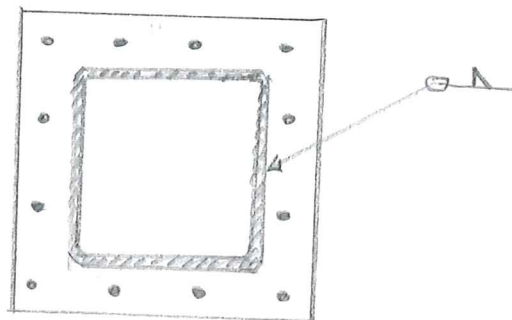
Ansicht



Schnitt A-A:



Schnitt B-B:



Prüfung SoSe 2022 Stahlbau I – 2. Teil
Prüfungszeit 50 Minuten

Prof. Dr.-Ing. Marcus Rutner

Institut für Metall- und Verbundbau

Hamburg, den 25. August 2022

Name: _____

Vorname: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punktzahl
1)	15	
2)	20	
3)	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.

Aufgabe 1 (15 Punkte)

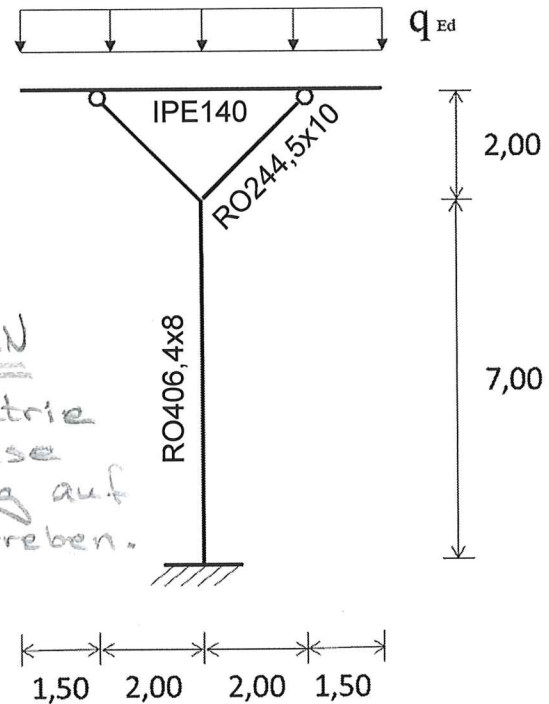
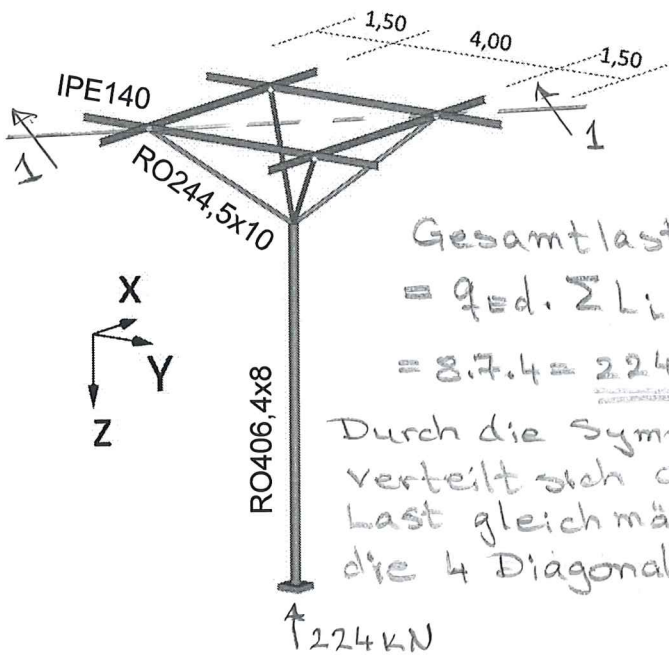
Gegeben ist das dargestellte dreidimensionale System. Es besteht aus einer unten eingespannten vertikalen Stütze (Rohr 406,4 mm x 8 mm), vier geneigten Stäben (Rohr 244,5 mm x 10 mm) und vier horizontalen Stäben (IPE 140). Die vier horizontalen Stäbe sind jeweils über ihre gesamte Länge von 7 m mit der Gleichstreckenlast q_{Ed} belastet, wie beispielhaft in der 2D-Ansicht in X-Richtung dargestellt.

$q_{Ed} = 8 \text{ kN/m}$

Alle Bauteile: S355

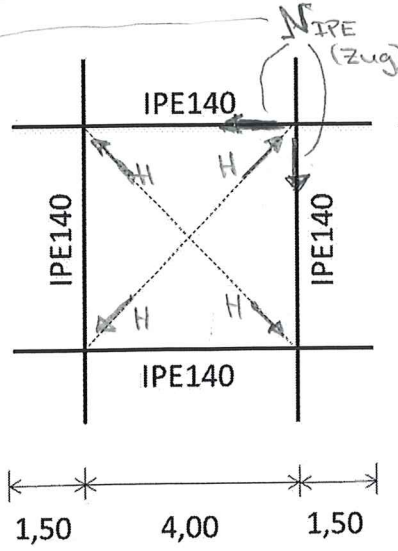
Isometrie:

Ansicht in X-Richtung:



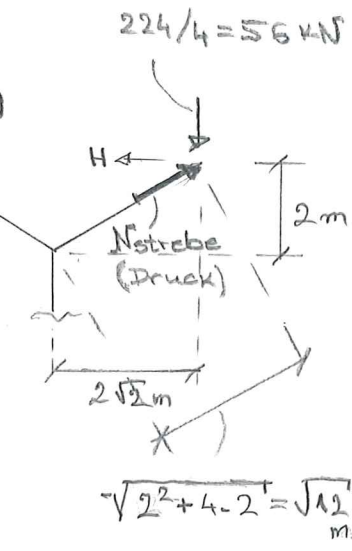
Gesamtlast
 $= q_{Ed} \cdot \sum L_i$
 $= 8 \cdot 7 \cdot 4 = 224 \text{ kN}$
 Durch die Symmetrie verteilt sich diese Last gleichmäßig auf die 4 Diagonalstreben.

Draufsicht (in Z-Richtung):



Schnitt 1-1:

$\uparrow: \frac{N_{strebe}}{56} = \frac{\sqrt{12}}{2}$
 $N_{strebe} = 97 \text{ kN (Druck)}$
 $\rightarrow: \frac{N_{strebe}}{H} = \frac{\sqrt{12}}{2\sqrt{2}}$
 $H = 97 \cdot \frac{2\sqrt{2}}{12} = 79,2 \text{ kN}$

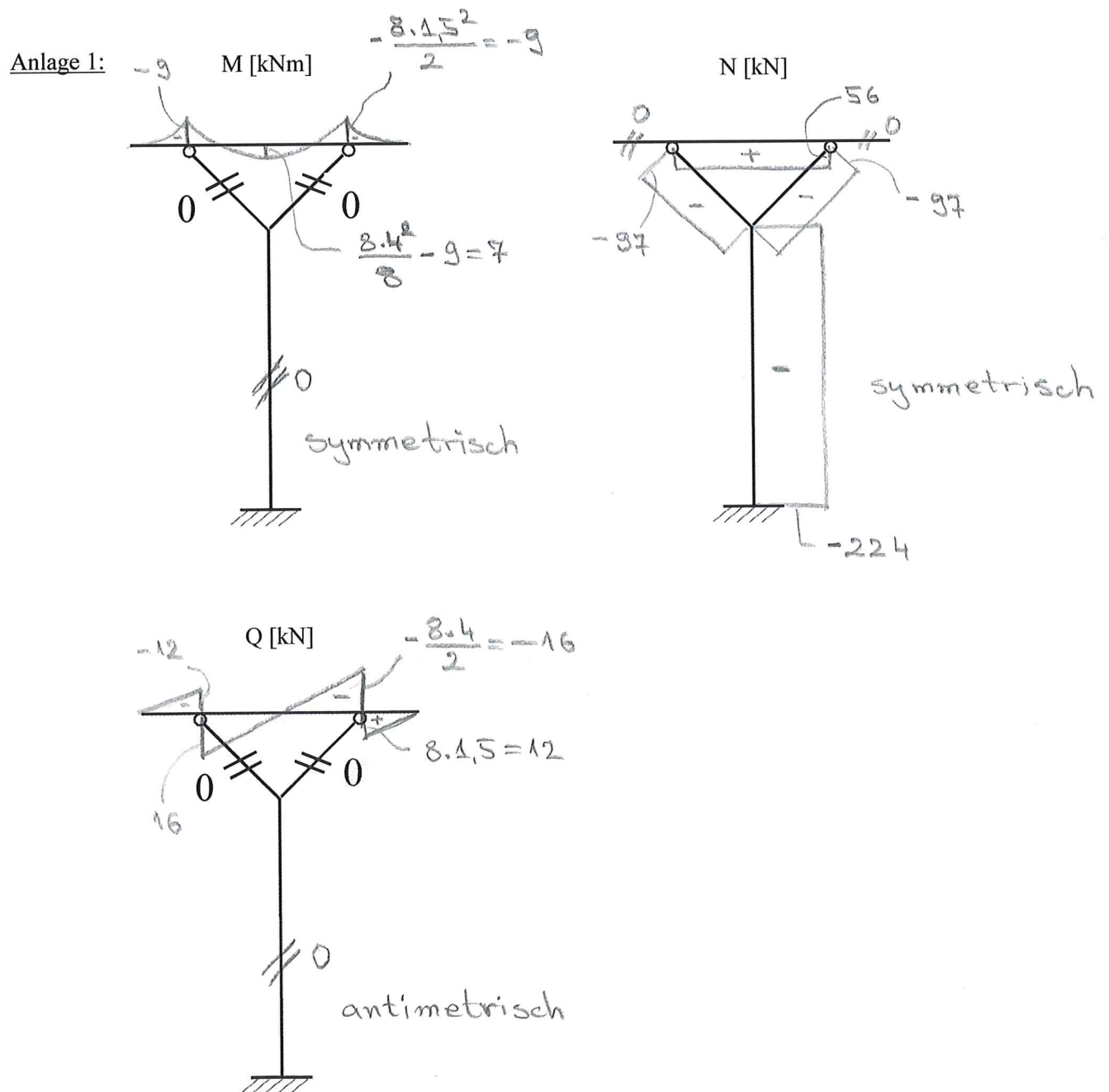


$N_{IPE} = \frac{H}{\sqrt{2}} = \frac{79,2}{\sqrt{2}} = 56 \text{ kN}$

Vervollständigen Sie die drei Schnittgrößenverläufe in Anlage 1 mit maßgebenden Zahlenwerten und Vorzeichen.

Hinweise:

- Das Eigengewicht der Stäbe soll nicht berücksichtigt werden
- Das Moment und die Querkraft in den geneigten Stäben (Rohre 101,6 mm x 4 mm) kann zu Null angenommen werden.



Aufgabe 2 (20 Punkte)

Führen Sie für das System aus Aufgabe 1 die erforderlichen Nachweise für alle Rohrstäbe und für den IPE 140 Träger im Feldbereich.

Hinweis:

- Das Eigengewicht der Stäbe soll nicht berücksichtigt werden.

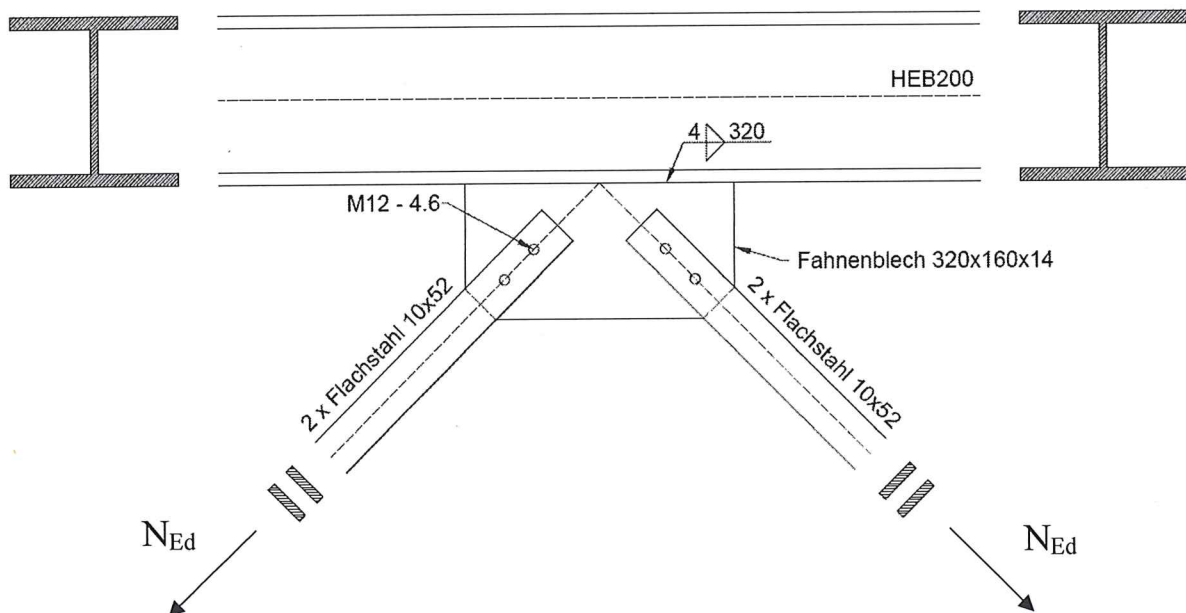
Aufgabe 3 (15 Punkte)

Dargestellt ist der gelenkige Anschluss zweier Zugstäbe (jeweils 2x Flachstahl 10 mm x 52 mm) an einen Biegeträger. Die beiden Flachstähle umschließen ein Fahnenblech ($t = 14$ mm) mit dem sie verschraubt sind. Hierfür werden jeweils zwei Schrauben M12-4.6 verwendet. Das Fahnenblech ist mit Doppelkehlnähten an den Unterflansch des HEB200 geschweißt. Alle Stähle sind S355.

$N_{Ed} = 50$ kN

- Führen Sie alle erforderlichen Nachweise für den Anschluss

Ansicht (Bemaßung in mm):

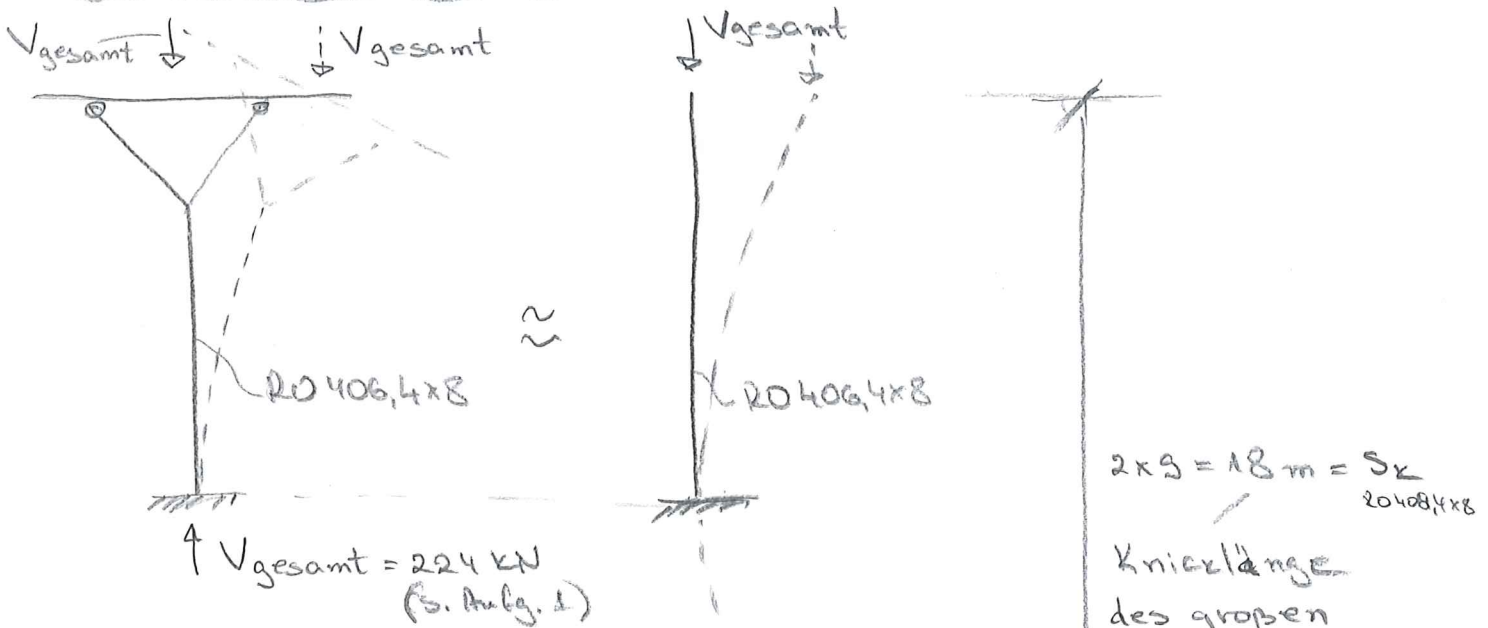


Hinweis:

- Der Anschluss ist symmetrisch. Die Kräfte N_{Ed} wirken im 45° -Winkel zur Stablängsachse des Biegeträgers.

Aufgabe 2: 12,5 Punkte

• Knicknachweise der Rohrprofile:



Kritische Last V_{cr} :

$$V_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI_{RO406,4 \times 8}}{S_k^2, RO406,4 \times 8}$$

$$= \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 19870}{1800^2} = \underline{\underline{1271 \text{ kN}}}$$

$$\Rightarrow N_{cr, Diag} = \frac{V_{cr}}{4} \cdot \frac{97}{56} = 550 \text{ kN}$$

Knicklast eines Diagonalrohres

• Knicknachweis RO 406,4 x 8 KLa - warmgefertigt

$$\rightarrow \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{100 \times 355}{1271}} = \underline{\underline{1,67}}$$

→ Abminderungsfaktor χ für KLa

$$\chi = 0,31$$

→ Nachweis:

$$\frac{N}{\chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{224}{0,31 \cdot 100 \cdot 355 / 1,1} = 0,22 < 1 \quad \checkmark$$

• Knicknachweis Diagonale RO 244,5 x 10 KLa - warmgefertigt

$$\rightarrow \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{737 \cdot 355}{550}} = 2,18$$

→ Abminderungsfaktor χ für KLa

$$\chi = 0,19$$

→ Nachweis:

$$\frac{N}{\chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{97}{0,19 \cdot 737 \cdot 355 / 1,1} = 0,21 < 1 \quad \checkmark$$

Aufgabe 2:

• Biegedrillknicken des IPE 140 im Feldbereich

$$M_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 44,9}{400^2} = 58,16 \text{ kN}$$

→ Drehradius e :

$$e^2 = (I_{\omega} + 0,039 l^2 \cdot I_T) / I_z = (1981 + 0,039 \cdot 400^2 \cdot 2,45) / 44,9$$
$$= 384,6 \text{ cm}$$

Schnittgrößen:



$$\Rightarrow M_{cr} = \underbrace{1,12}_{\substack{\text{Momentenbeiwert} \\ \text{für einen} \\ \text{Verlauf (a.d.s. Seite)}}} \cdot 58,16 \cdot \left[\sqrt{384,6 + 0,25 \cdot 7^2} - 0,5 \cdot 7 \right] / 100 = 10,7 \text{ kNm}$$

Lastangriff am Obergurt

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr}} = \sqrt{\frac{8834 \cdot 35,5 / 100}{31,36}} / 10,7 = 1,7$$

$$\chi_{LT} = 0,35$$

(KLB)

$$m_y = \frac{M_{Ed,max}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{y,Ed}} = \frac{9}{0,35 \cdot 3136 / 1,1} = 0,9 < 1 \quad \checkmark$$

Da die Normalkraft eine Zugkraft ist, geht von ihr keine Kriechgefahr aus. N_{pl} muss daher beim Nachweis nicht abgemindert werden, und der Ausnutzungsgrad $n = N / N_{pl,Rd}$ kann ohne Interaktionsbeiwert zu m_y (s.o.) addiert werden:

Nachweis unter M_y und N :

$$\underbrace{\frac{N}{N_{pl,Rd}}}_n + m_y = \frac{56}{164 \cdot 35,5 / 1,1} + 0,9 \approx 1,0 \quad \checkmark$$

$$V / V_{pl,z,Rd} = 16 / \left[7,6 \cdot (35,5 / \sqrt{3}) / 1,1 \right] = 0,11 < 0,5 \Rightarrow \text{Der Einfluss von } V \text{ darf vernachlässigt werden.}$$

Aufgabe 3:

- Schraubennachweis:

2-schnittige SL-Verbindung

$$F_{v,Ed} = \frac{50/2}{2} = 12,5 \text{ kN} < F_{v,Rd} = 21,7 \text{ kN} \quad \checkmark$$

(Annahme: Scherfuge im Schaft)

- Lochleibungsnachweis: Knotenblech maßgebend, da $t = 1,4 \text{ cm} < 2 \cdot a = 2 \text{ cm}$

$$\left. \begin{array}{l} e_1 = 40 \text{ mm} \\ p_1 = 50 \text{ mm} \end{array} \right\} V_{L,Rd} = 36,4 \cdot 1,4 \cdot \frac{49}{36} = 164,6 \text{ kN} > \frac{50}{2} \quad \checkmark$$

Tabellenwert
 Knotenblechdicke
 $\frac{f_{u,S355}}{f_{u,S235}}$

- Nettoquerschnitt eines Flachstahls:

$$A_{net} = 1 \cdot (5,2 - \underbrace{1,3}) = 3,9 \text{ cm}^2$$

↳ Lochdurchmesser

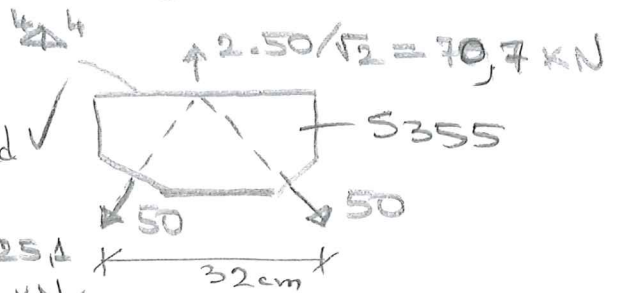
$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 5,2 \cdot 35,5 / 1,0 = 184,6 \text{ kN} \\ 0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 3,9 \cdot 49 / 1,25 = 137,6 \text{ kN} > \frac{50}{2} \quad \checkmark \end{array} \right.$$

- Schweißnaht Knotenblech-Träger:

- vereinfachtes Verfahren:

$$\sigma_{w,Ed} = \frac{70,7}{2,04 \cdot 32} = 2,76 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < f_{vw,Rd} \quad \checkmark$$

$$\text{mit } f_{vw,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{49}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 25,1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$



- richtungsbezogenes Verfahren (alternativ):

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{70,7 / \sqrt{2}}{2,04 \cdot 32} = 4,95 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} < \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 49}{1,25} = 35,28 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \checkmark$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2} = 3,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{49}{0,9 \cdot 1,25} = 43,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \checkmark \end{array} \right.$$