

Prüfung SoSe 2023 Stahlbau I – 1. Teil
Prüfungszeit 40 Minuten

Prof. Dr.-Ing. Marcus Rutner

Institut für Metall- und Verbundbau

Hamburg, den 24. August 2023

Name: _____

Vorname: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punktzahl
1)	10	
2)	5	
3)	5	
4)	7	
5)	5	
6)	8	
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"/>

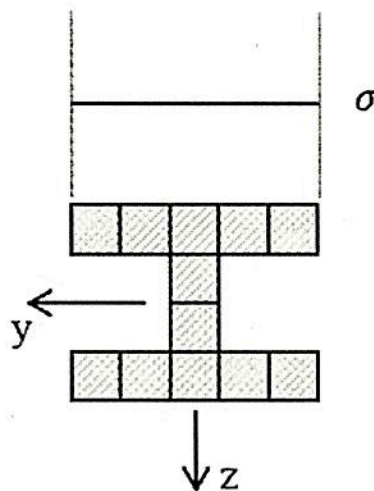
Aussagen:

- 1) Die kritische Last eines Druckstabs kann durch die Wahl eines höherfesten Stahls erhöht werden.
- 2) Das Verhältnis M_{pl}/M_{el} bei einem auf Biegung optimierten I-Profil ist nur wenig größer als 1,0.
- 3) Unter sonst gleichen Bedingungen ist die Biegedrillknickgefahr bei einem konstanten Momentenverlauf geringer als bei einem parabelförmigen.
- 4) Träger mit Hohlkastenquerschnitten sind grundsätzlich nicht biegedrillknickgefährdet.
- 5) Stähle mit einer höheren Streckgrenze haben einen entsprechend höheren Elastizitätsmodul.
- 6) Die Duktilität eines Stahls beschreibt seine Eigenschaft, nach Fließbeginn große Dehnungen aufzunehmen.
- 7) Der Einschnürungsbeginn einer Probe im Zugversuch markiert das Erreichen der Zugfestigkeit f_u .
- 8) Die Tragfähigkeit einer SL-Verbindung auf Lochleibung ist abhängig von der Festigkeitsklasse der verwendeten Schrauben.
- 9) Die Tragfähigkeit einer Schweißnaht ist unabhängig von der Streckgrenze der verschweißten Bleche.
- 10) Bei einem Einfeldträger unter Gleichstreckenlast soll zur Durchführung einer quer verlaufenden Rohrleitung eine Öffnung im Steg des I-förmigen Querschnitts hergestellt werden. Es ist besser, diese Öffnung in Auflagernähe statt in Trägermitte anzuordnen.

Aufgabe 2 (5 Punkte)

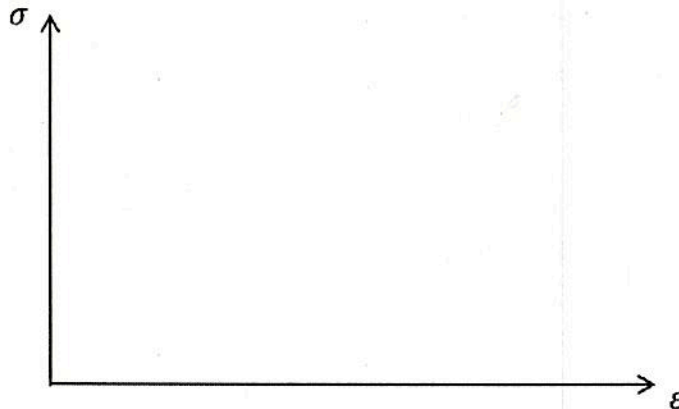
Auf das unten dargestellte doppelsymmetrische I-Profil wird eine Zugnormalkraft aufgebracht, die $\frac{2}{3} N_{pl}$ entspricht. Zusätzlich wird ein positives Moment M_z aufgebracht, das so groß ist, dass der Querschnitt plastisch voll ausgenutzt wird.

- Wo exakt verläuft die plastisch neutrale Achse (PNA) unter der gegebenen Schnittgrößenkombination? Die unten zu sehende zeichnerische Unterteilung des Querschnittes in mehrere gleich große Teilflächen soll die exakte Beantwortung dieser Frage erlauben.
- Zeichnen Sie noch den Normalspannungsverlauf über die Querschnittsbreite.



Aufgabe 3 (5 Punkte)

- Zeichnen Sie das Spannungs-Dehnungsdiagramm eines Baustahls S 235 und Kennzeichnen Sie die Streckgrenze, Zugfestigkeit, Fließdehnung und Bruchdehnung.

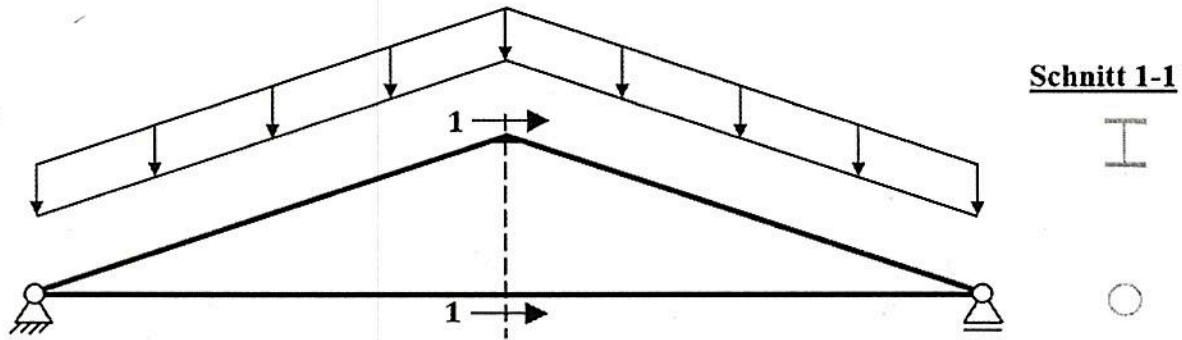


- Wie kann man aus den Daten des Spannungs-Dehnungsdiagramms den Elastizitätsmodul E bestimmen?

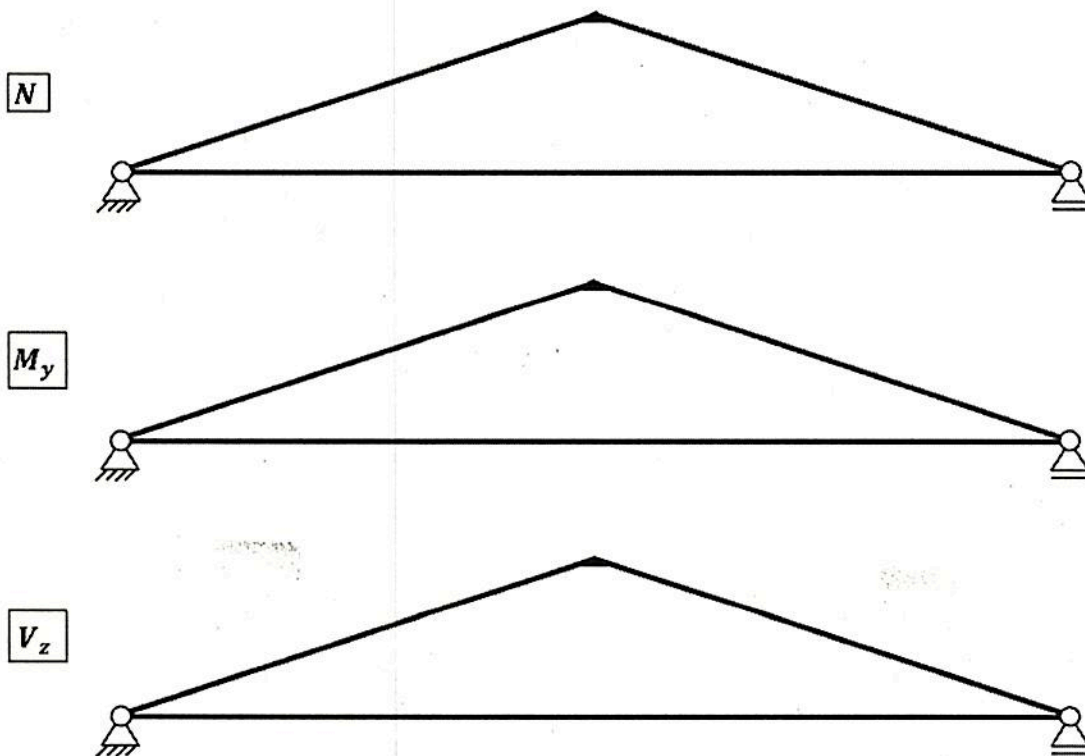
- Wie würde sich das Spannungs-Dehnungsdiagramm qualitativ ändern, wenn der Stahl deutlich weniger duktil wäre? Zeichnen Sie ein solches Diagramm mit entsprechender Bezeichnung neben dem schon gezeichneten Diagramm zum Vergleich ein.

Aufgabe 4 (7 Punkte)

Das unten dargestellte System stellt ein Teil einer Dachkonstruktion dar. Die verwendeten Profiltypen sind im Schnitt 1-1 zu sehen.

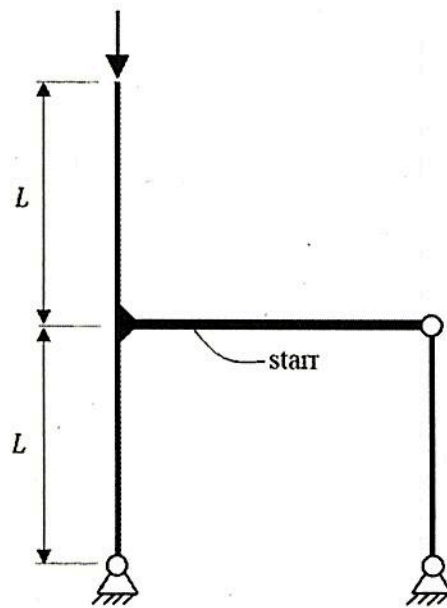


- Zeichnen Sie qualitativ die Schnittgrößenverläufe unter Angabe der Vorzeichen.
- Zählen Sie die erforderlichen Nachweise für die verschiedenen Bauteile auf.



Aufgabe 5 (5 Punkte)

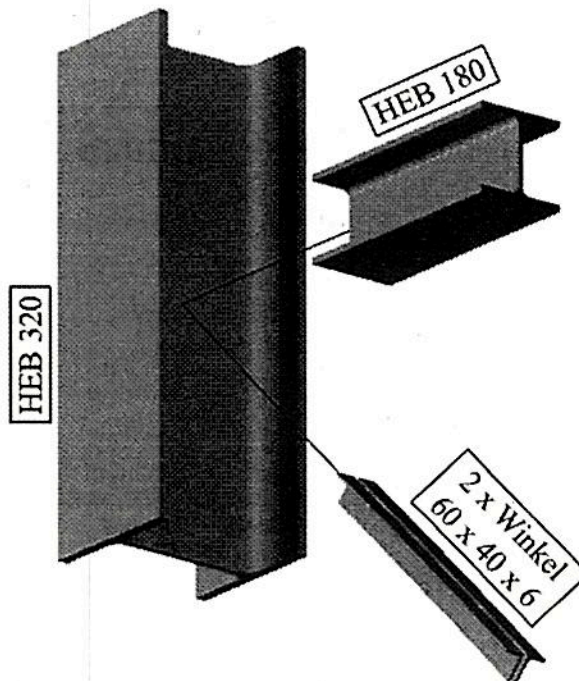
Zeichnen Sie qualitativ die Knickfigur für das unten dargestellte ebene System und machen Sie eine Abschätzung für die Knicklänge der druckbelasteten Stütze. Der Querschnitt dieser Stütze ist über ihre gesamte Höhe von $2L$ konstant. Ein Ausknicken der Pendelstütze kann ausgeschlossen werden.



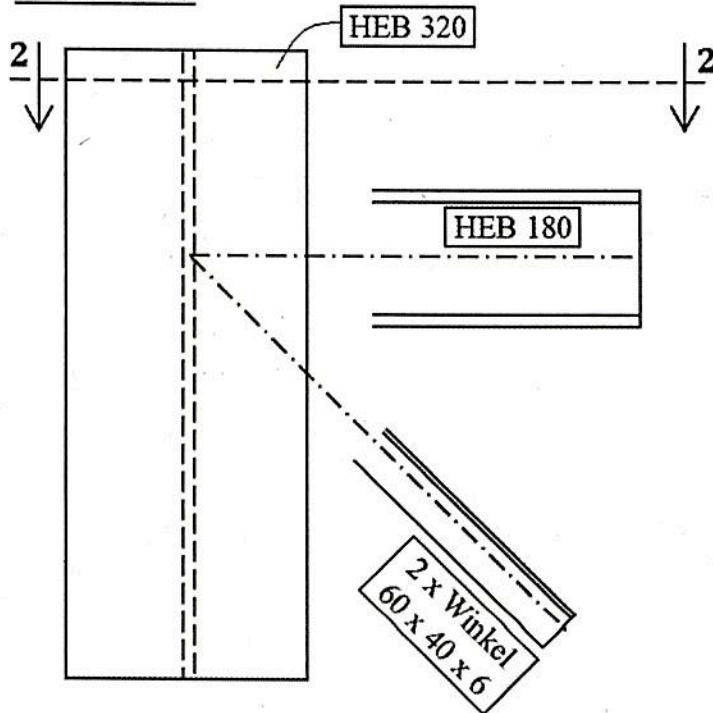
Aufgabe 6 (8 Punkte)

Gegeben ist die unten isometrisch dargestellte Anschlusssituation, bei der ein horizontaler HEB Träger, eine Diagonale mit Doppelwinkelquerschnitt und eine HEB Stütze miteinander zu verbinden sind. Als Teile eines Verbandsystems sind alle Stäbe überwiegend durch Normalkräfte beansprucht. Machen Sie einen sinnvollen Konstruktionsvorschlag, der den Austausch dieser Kräfte unter den ankommenden Stäben ermöglicht. Vervollständigen Sie dazu die Zeichnungen auf der nächsten Seite.

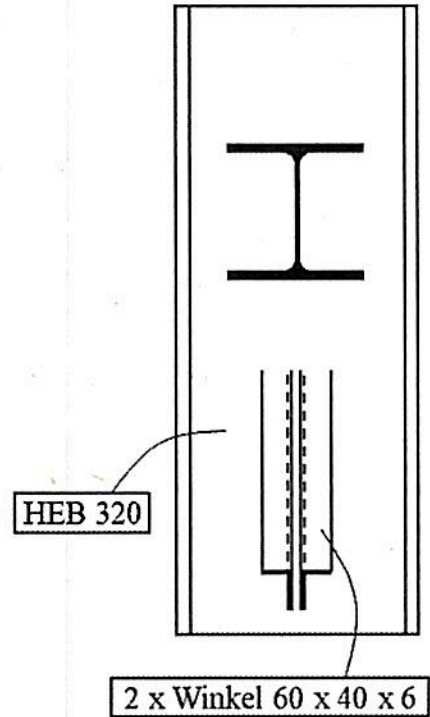
Es sind keinerlei Berechnungen erforderlich.



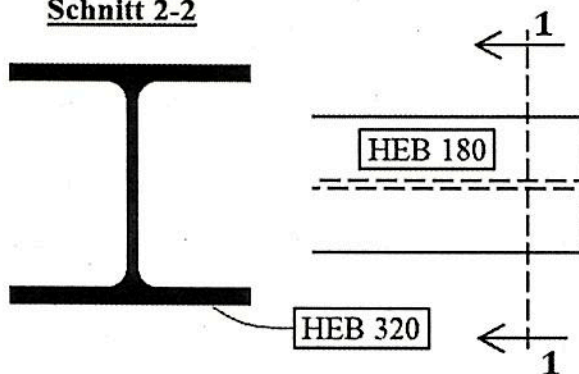
Seitenansicht



Schnitt 1-1



Schnitt 2-2



Prüfung SoSe 2023 Stahlbau I – 2. Teil
Prüfungszeit 50 Minuten

Prof. Dr.-Ing. Marcus Rutner

Institut für Metall- und Verbundbau

Hamburg, den 24. August 2023

Name: _____

Vorname: _____

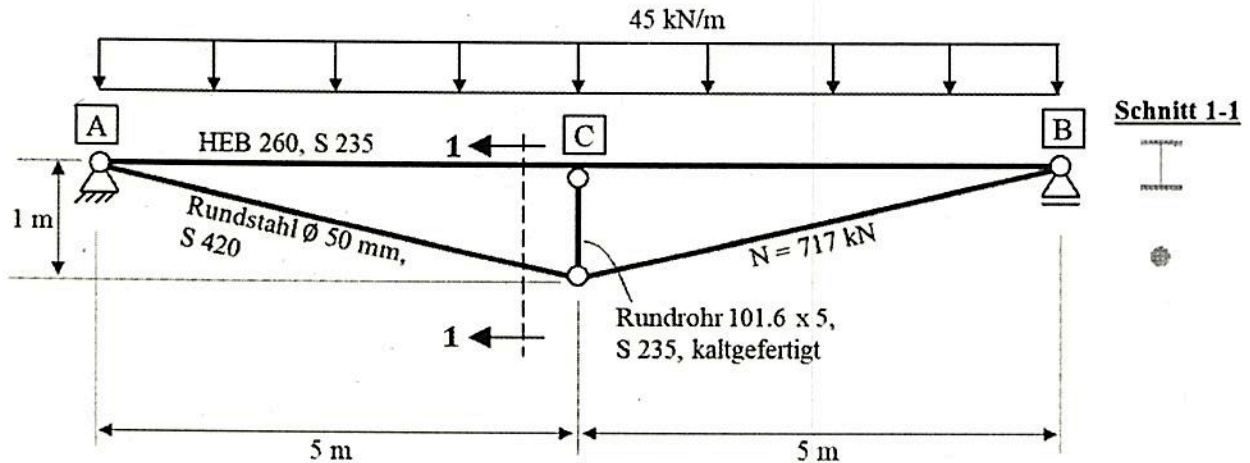
Matrikelnummer: _____

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 der oben dargestellte unterspannte Träger unter Gleichstreckenlast. Die Normalkraft in der Unterspannung ist mit 717 kN vorgegeben und braucht daher nicht am statisch unbestimmten System berechnet zu werden.

Alle weiteren Informationen zu Querschnitten, Materialien, Abmessungen und Belastungen sind der Skizze zu entnehmen. Die angegebenen Werte für die Belastung sind Bemessungswerte. Das Eigengewicht der Stäbe soll nicht zusätzlich berücksichtigt werden.

- Zeichnen Sie die Schnittgrößenverläufe N , Q und M für alle Stäbe und geben Sie Zahlenwerte für die maßgebenden Stellen an.

Aufgabe 2 (20 Punkte)

Führen Sie alle erforderlichen Nachweise die Stäbe in Aufgabe 1. Beim Nachweis des horizontalen Trägers HEB 260 sind noch folgende Vorgaben zu beachten:

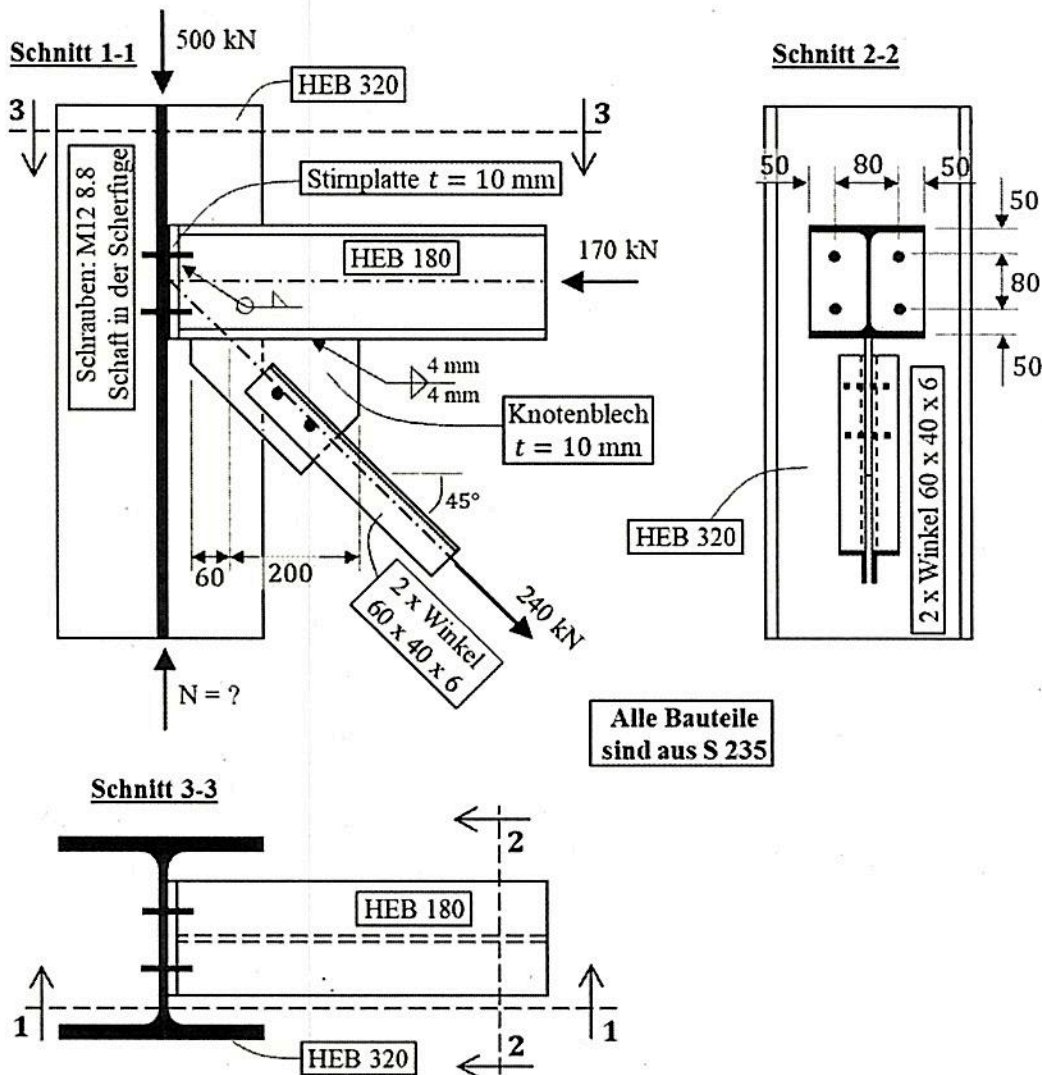
- Die Gleichstreckenlast wirkt in Höhe der Profilloberkante.
- An den Auflagerstellen (Knoten A und B) und in der Mitte (Knoten C) kann von einer Gabelagerung ausgegangen werden.

Aufgabe 3 (15 Punkte)

Das aus dem ersten Klausurteil schon bekannte Anschlussdetail soll wie unten dargestellt realisiert werden. Der horizontale Träger wird mit einer Stirnplatte verschweißt und über diese mit dem Steg des Stützenprofils verschraubt. Zum Anschluss der Diagonale wird ein Knotenblech an die Unterkante des horizontalen Trägers angeschweißt und die Winkelprofile werden mit diesem Blech verschraubt.

Alle Informationen, die zur Bearbeitung der folgenden Aufgabenpunkte erforderlich sind, sind in den unteren Skizzen enthalten. Die Kräfte sind mit ihren Bemessungswerten angegeben.

- Bestimmen Sie die Drucknormalkraft im Stützenprofil unterhalb des Anschlussknotens (s. Schnitt 1-1).
- Führen Sie den Schrauben- und Lochleibungsnachweis für den Schraubanschluss zwischen dem horizontalen Träger und der Stütze.
- Führen Sie den Nachweis der Doppelkehlnaht zwischen dem horizontalen Träger und dem Knotenblech für die Diagonale.



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 checked="" 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 checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

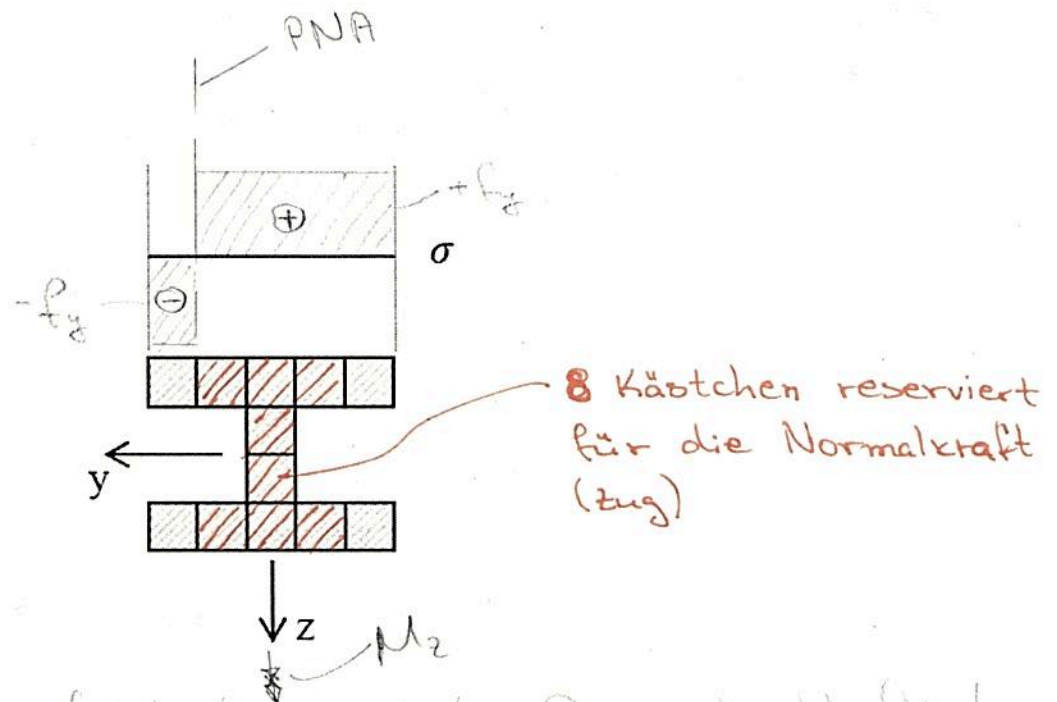
Aussagen:

- 1) Die kritische Last eines Druckstabs kann durch die Wahl eines höherfesten Stahls erhöht werden.
- 2) Das Verhältnis M_{pl}/M_{el} bei einem auf Biegung optimierten I-Profil ist nur wenig größer als 1,0.
- 3) Unter sonst gleichen Bedingungen ist die Biegedrillknickgefahr bei einem konstanten Momentenverlauf geringer als bei einem parabelförmigen.
- 4) Träger mit Hohlkastenquerschnitten sind grundsätzlich nicht biegedrillknickgefährdet.
- 5) Stähle mit einer höheren Streckgrenze haben einen entsprechend höheren Elastizitätsmodul.
- 6) Die Duktilität eines Stahls beschreibt seine Eigenschaft, nach Fließbeginn große Dehnungen aufzunehmen.
- 7) Der Einschnürungsbeginn einer Probe im Zugversuch markiert das Erreichen der Zugfestigkeit f_u .
- 8) Die Tragfähigkeit einer SL-Verbindung auf Lochleibung ist abhängig von der Festigkeitsklasse der verwendeten Schrauben.
- 9) Die Tragfähigkeit einer Schweißnaht ist unabhängig von der Streckgrenze der verschweißten Bleche.
- 10) Bei einem Einfeldträger unter Gleichstreckenlast soll zur Durchführung einer quer verlaufenden Rohrleitung eine Öffnung im Steg des I-förmigen Querschnitts hergestellt werden. Es ist besser, diese Öffnung in Auflagernähe statt in Trägermitte anzuordnen.

Aufgabe 2 (5 Punkte)

Auf das unten dargestellte doppelsymmetrische I-Profil wird eine Zugnormalkraft aufgebracht, die $\frac{2}{3} N_{pl}$ entspricht. Zusätzlich wird ein positives Moment M_z aufgebracht, das so groß ist, dass der Querschnitt plastisch voll ausgenutzt wird.

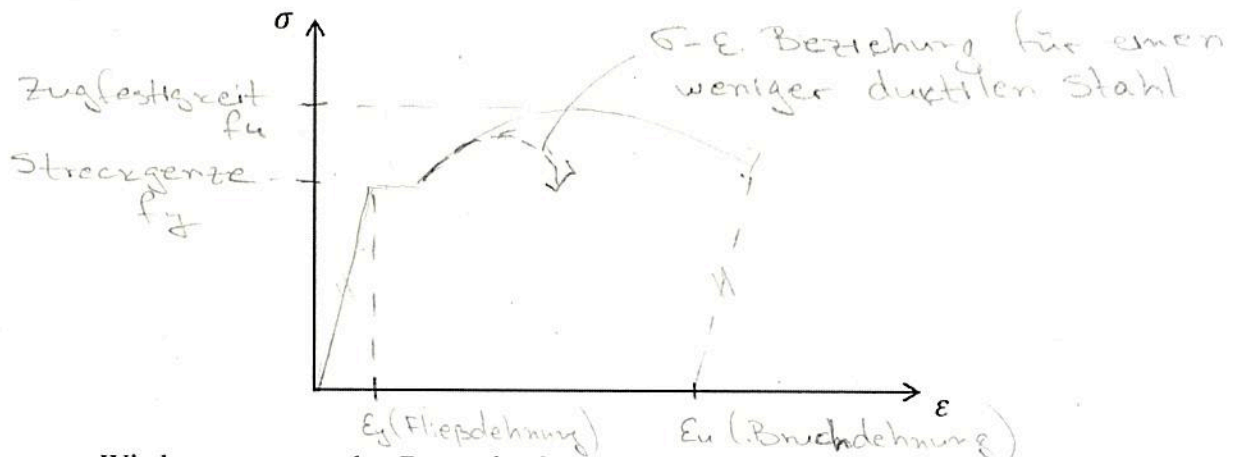
- Wo exakt verläuft die plastisch neutrale Achse (PNA) unter der gegebenen Schnittgrößenkombination? Die unten zu sehende zeichnerische Unterteilung des Querschnittes in mehrere gleich große Teilflächen soll die exakte Beantwortung dieser Frage erlauben.
- Zeichnen Sie noch den Normalspannungsverlauf über die Querschnittsbreite.



Aus $N = \frac{2}{3} N_{pl}$ folgt, dass $\frac{2}{3}$ der Querschnittsfläche (8 Kästchen aus insgesamt 12) für N reserviert werden müssen.

Aufgabe 3 (5 Punkte)

- Zeichnen Sie das Spannungs-Dehnungsdiagramm eines Baustahls S 235 und kennzeichnen Sie die Streckgrenze, Zugfestigkeit, Fließdehnung und Bruchdehnung.



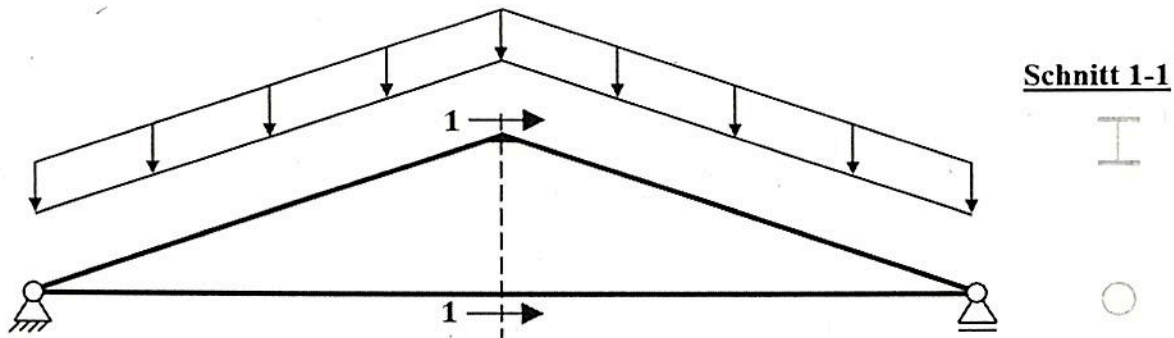
- Wie kann man aus den Daten des Spannungs-Dehnungsdiagramms den Elastizitätsmodul E bestimmen?

$$E = \frac{f_y}{\epsilon_y}$$

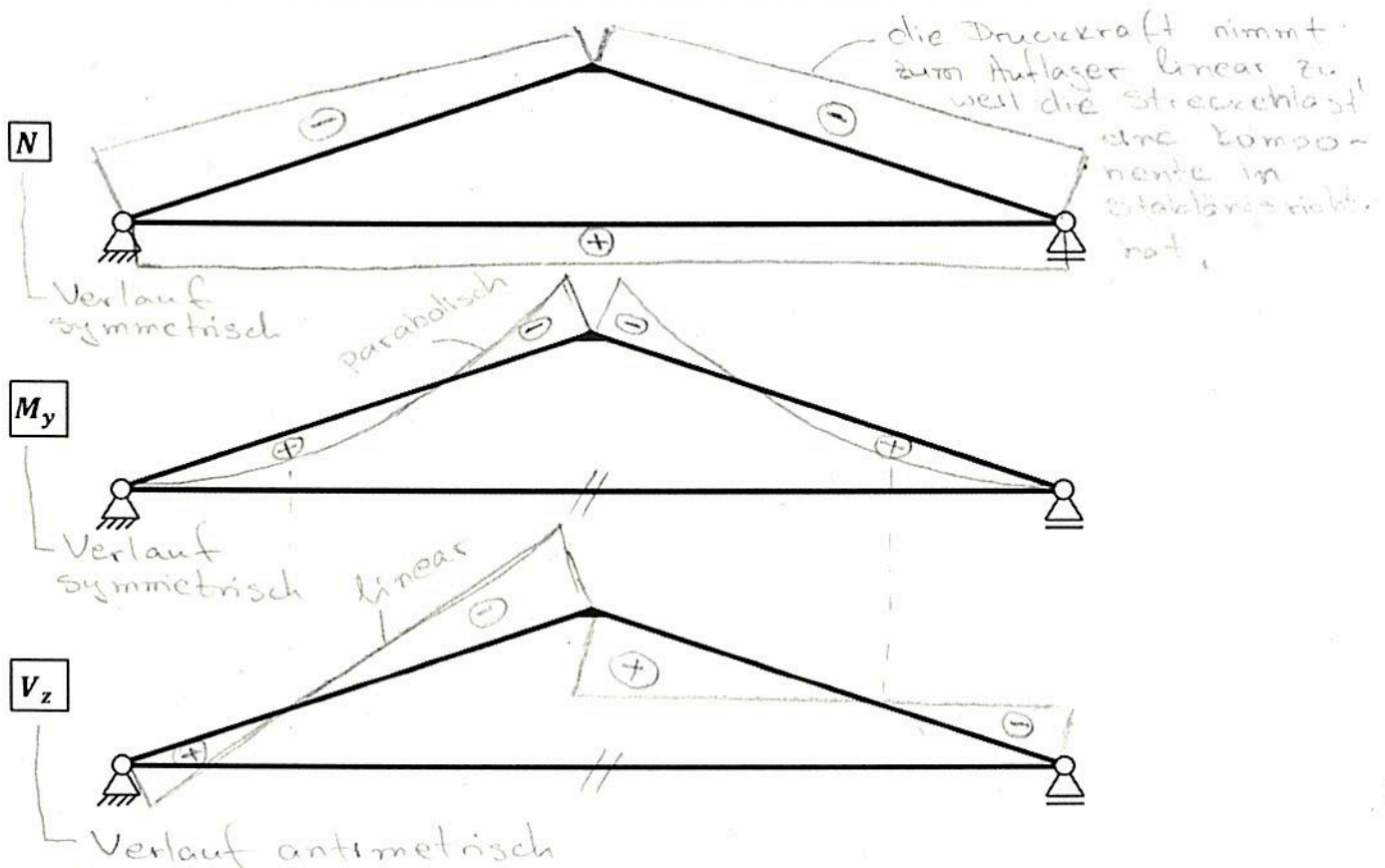
- Wie würde sich das Spannungs-Dehnungsdiagramm qualitativ ändern, wenn der Stahl deutlich weniger duktil wäre? Zeichnen Sie ein solches Diagramm mit entsprechender Bezeichnung neben dem schon gezeichneten Diagramm zum Vergleich ein.

Aufgabe 4 (7 Punkte)

Das unten dargestellte System stellt ein Teil einer Dachkonstruktion dar. Die verwendeten Profiltypen sind im Schnitt 1-1 zu sehen.



- Zeichnen Sie qualitativ die Schnittgrößenverläufe unter Angabe der Vorzeichen.
- Zählen Sie die erforderlichen Nachweise für die verschiedenen Bauteile auf.



Nachweise:

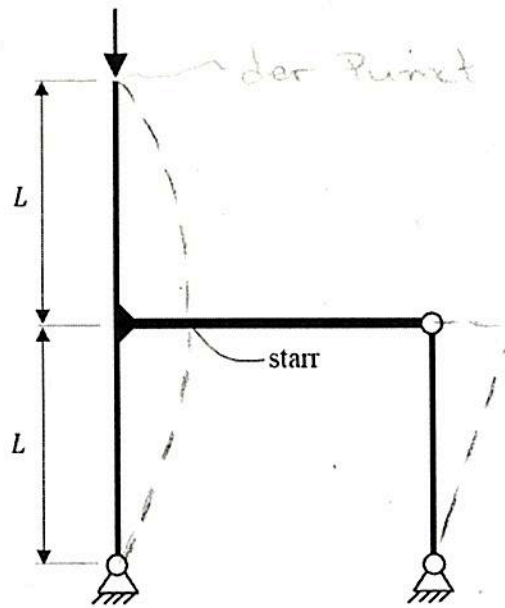
- für den horizontalen Stab: Querschnittsnachweis, evtl. Nachweis des Nettoquerschnitts im Anschlussbereich
- für die schrägen Stäbe:
 - Stabilitätsnachweis (Interaktion Biegeknicken + Biegedrillknicken)
 - Querschnittsnachweis am Scheitelpunkt

Aufgabe 5 (5 Punkte)

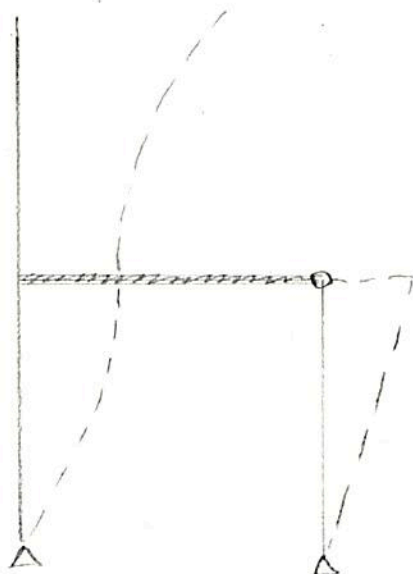
Zeichnen Sie qualitativ die Knickfigur für das unten dargestellte ebene System und machen Sie eine Abschätzung für die Knicklänge der druckbelasteten Stütze. Der Querschnitt dieser Stütze ist über ihre gesamte Höhe von $2L$ konstant. Ein Ausknicken der Pendelstütze kann ausgeschlossen werden.

Für beide gezeichneten Knickfiguren ergibt sich der gleiche Verzweigungslastfaktor und die gleiche Knicklänge.

$l_{cr} = 2 \cdot L$



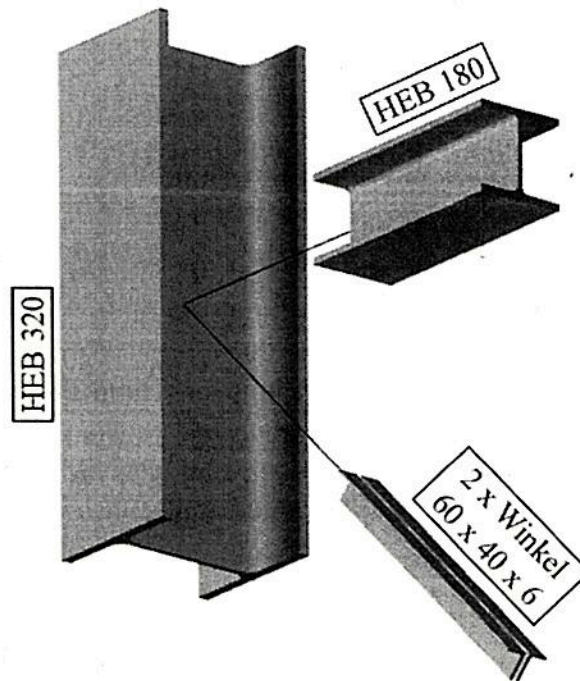
oder:



Aufgabe 6 (8 Punkte)

Gegeben ist die unten isometrisch dargestellte Anschlusssituation, bei der ein horizontaler HEB Träger, eine Diagonale mit Doppelwinkelquerschnitt und eine HEB Stütze miteinander zu verbinden sind. Als Teile eines Verbandsystems sind alle Stäbe überwiegend durch Normkräfte beansprucht. Machen Sie einen sinnvollen Konstruktionsvorschlag, der den Austausch dieser Kräfte unter den ankommenden Stäben ermöglicht. Vervollständigen Sie dazu die Zeichnungen auf der nächsten Seite.

Es sind keinerlei Berechnungen erforderlich.



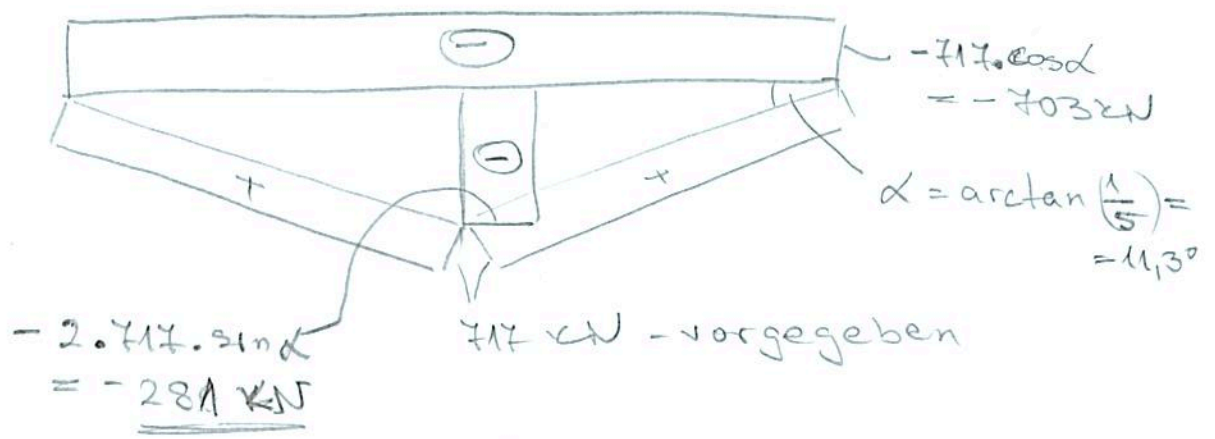
Eine mögliche Ausführung ist in Aufgabe 3 Teil 2 zu finden!

Stahlbau 1, Teil 2

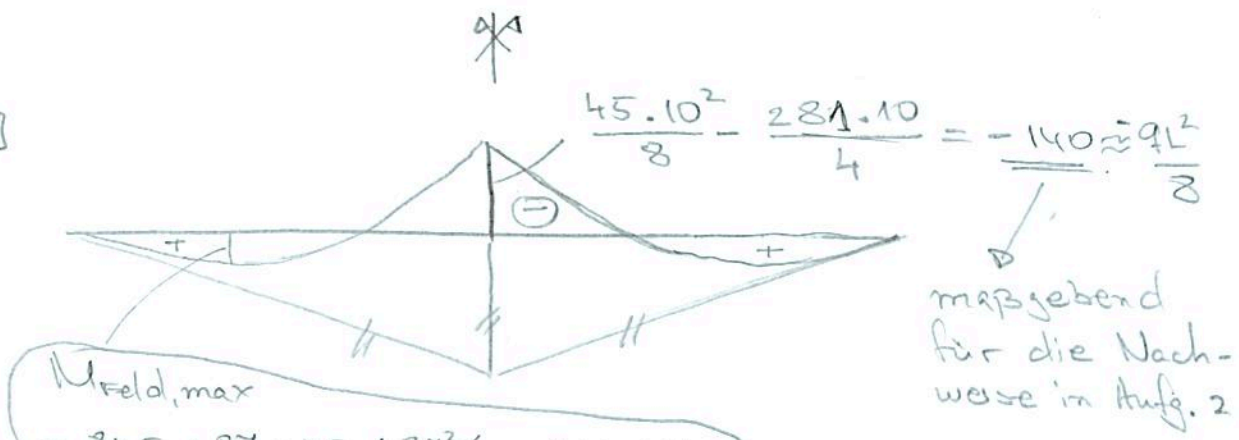
Aufgabe 1

Schnittgrößen (Zugkraft in der Unterspannung ist vorgegeben, so dass keine statisch unbestimmte Berechnung erforderlich ist).

(N) [kN]



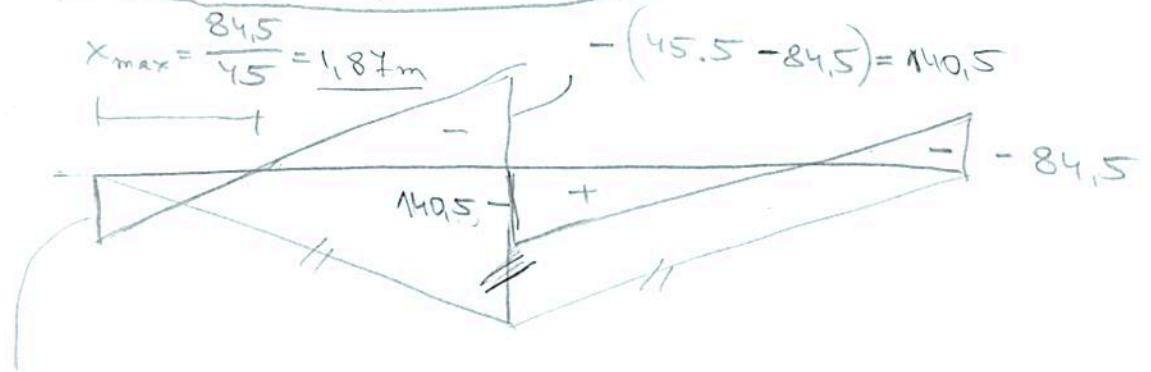
(M) [kNm]



$M_{\text{feld, max}} = 84,5 \cdot 1,87 - 45 \cdot 1,87^2 / 2 = 49,3 \text{ kNm}$

s. Berechnung von V

(V) [kN]



$-140/5 + \frac{45 \cdot 5^2}{2} = 84,5$

Stahlbau 1, Teil 2

Aufgabe 2

- Knicken um die starke Achse:

$l_{cr,y} = 5m$

$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 14920}{500^2}$

$= 12369 \text{ kN}$

$\chi_y = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{118,4 \cdot 23,5}{12369}} = 0,47$

$\Rightarrow \chi_y = 0,9$ (Knicklinie b)

$\eta_y = \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{703}{0,9 \cdot 118,4 \cdot \frac{23,5}{1,1}}$

$= 0,31 < 1 \checkmark$

- Knicken um die z-Achse:

$l_{cr,z} = 5m$

$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 5135}{500^2} = 4257 \text{ kN}$

$\chi_z = \sqrt{\frac{118,4 \cdot 23,5}{4257}} = 0,81$

$\Rightarrow \chi_z = 0,66$ (Abgelesen für Knicklinie c)

$\Rightarrow \eta_z = \frac{703}{0,66 \cdot 118,4 \cdot \frac{23,5}{1,1}} = 0,42 < 1 \checkmark$

- Biegedrillknicken

$M_{cr} = \zeta \cdot N_{cr,z} \cdot \left[\sqrt{e^2 + 0,25 z_{cp}^2} + 0,5 \cdot z_{cp} \right]$

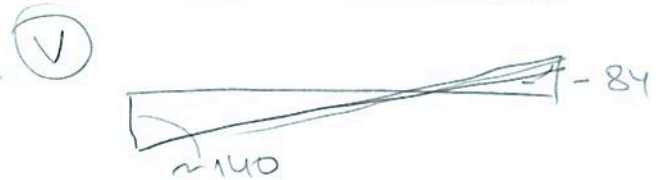
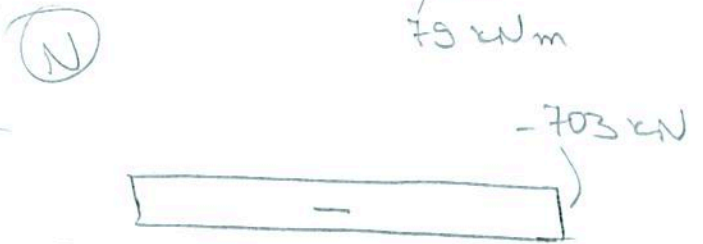
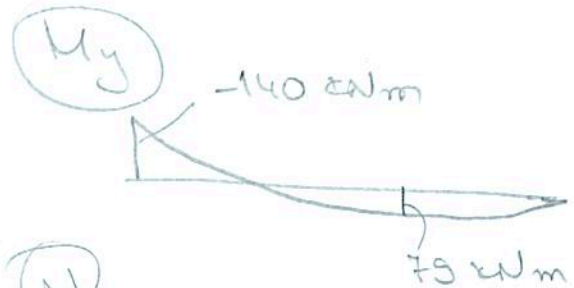
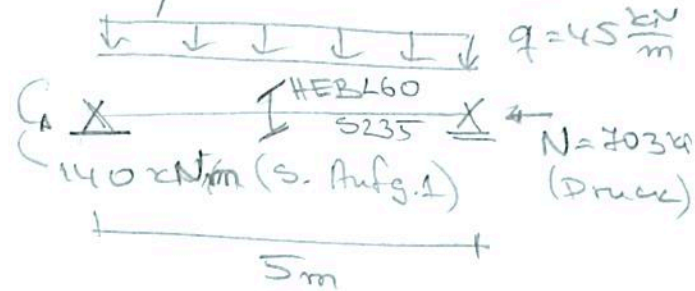
$\zeta = 2,25$; $z_{cp} = -h/2 = -13 \text{ cm}$

$e^2 = (I_w + 0,039 \cdot l^2 \cdot I_T) / I_z = (753700 + 0,039 \cdot 500^2 \cdot 123,8) / 5135 = 382 \text{ cm}^2$

$\Rightarrow M_{cr} = 2,25 \cdot 4257 \cdot \left[\sqrt{382 + 0,25 \cdot 13^2} - 0,5 \cdot 13 \right] / 100 = 1350 \text{ kNm}$

$\chi_{LT} = \sqrt{W_{pl,y} \cdot f_y / M_{cr}} = \sqrt{\frac{1283 \cdot 23,5}{100 \cdot 1350}} = 0,47 \Rightarrow \chi_{LT} = 0,975$ für KL 'b' ($h/b \leq 2$)

Lastangriff am Obergurt
System mit Belastung



Stahlbau 1, Teil 2

Aufgabe 2:

$$\Rightarrow m_y = \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{140 \cdot 1000}{0,975 \cdot 1283,23,5 / 1,1} = \underline{\underline{0,524}} < 1$$

Es ist noch nachzuweisen, dass:

und $n_y + \chi_{yy} \cdot m_y \leq 1$
 $n_z + \chi_{zy} \cdot m_z \leq 1$

$$\chi_{yy} = C_{my} \left[1 + (\alpha_y - 0,2) \cdot n_y \right]$$

$$= 0,55 \left[1 + (0,47 - 0,2) \cdot 0,31 \right] = \underline{\underline{0,6}}$$

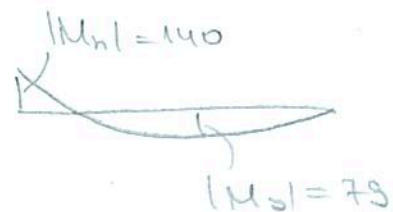
$$\leq 0,55 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot 0,31 \right] = 0,69$$

$$\chi_{zy} = \left[1 - \frac{0,1 \cdot \bar{N}_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot n_z \right]$$

$$= \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,81}{0,55 - 0,25} \cdot 0,42 \right] = \underline{\underline{0,89}} \Rightarrow$$

$$\left[1 - \frac{0,1}{0,55 - 0,25} \cdot 0,42 \right] = 0,86$$

Bestimmung von C_{my}, C_{mz}



$$|M_{n1}| > |M_{n2}|$$

$$\Rightarrow \alpha_s = \frac{M_2}{M_1} = \frac{79}{140} = -0,56$$

$$\psi = 0 \Rightarrow C_{my} = C_{mLT} =$$

$$= 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s = \underline{\underline{0,55}}$$

> 0,4

Nachweis:

$$n_y + \chi_{yy} \cdot m_y = 0,31 + 0,6 \cdot 0,524 = 0,624 < 1 \checkmark$$

$$n_z + \chi_{zy} \cdot m_z = 0,42 + 0,89 \cdot 0,524 = 0,89 < 1 \checkmark$$

Querschnittsnachweis an der Stützstelle:

elastisch: $\sigma_{max} = \frac{M_y}{W_{el,y}} + \frac{N}{A} = \frac{110000}{1148} + \frac{703 \cdot 1000}{1184} = 18,13 < \frac{23,5}{1,1}$

$$\frac{V_z}{V_{pl,zd}} = \frac{140}{\frac{2744 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,1} \cdot A_2} = 0,51 \sim 0,5 \rightarrow \text{Schubspannungseinfluss darf beim } \sigma\text{-Nachweis vernachlässigt werden.}$$

Aufg. 2

- Knicknachweis des Rohrs 101,6 x 5, S235, kaltgefertigt

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot I_{yy}}{100^2} = 3669 \text{ kN}$$

$$\chi = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{15,2 \cdot 23,5}{3669}} = 0,31$$

⇒ $\chi = 0,945$ (abgelesen für Knicklinie c)

$$\text{Nachweis: } \frac{N_{Ed}}{\chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{280}{0,945 \cdot 15,2 \cdot 23,5 / 1,1} = 0,31 < 1 \quad \checkmark$$

- Zugnachweis der Unterspannung ($\emptyset 50 \text{ mm}$, S420)

$$N_{Ed} = 717 \text{ kN}$$

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{717 \text{ kN}}{\pi \cdot 5^2 / 4} = 36,5 \text{ kN/cm}^2 < 42 \text{ kN/cm}^2 \quad \checkmark$$

Stahlbau 1, Teil 2

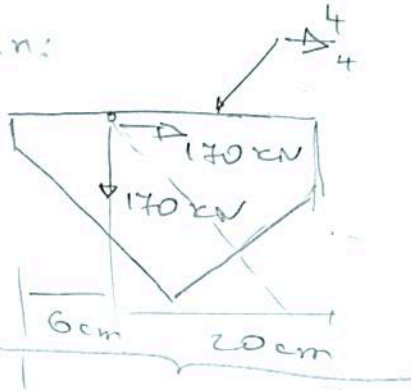
Aufgabe 3:

b) Nachweis der Schweißnähte zw. der Winkelanschlus- lasche und dem HEB 180-Träger

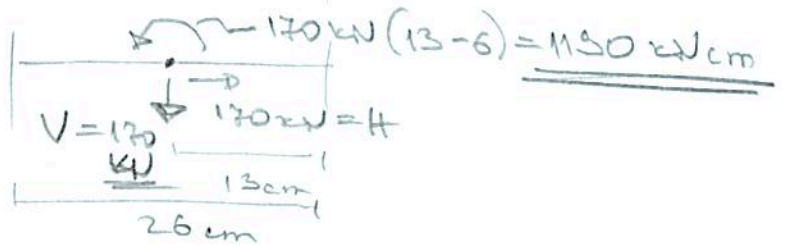
Schweißnahtspannungen:
(Richtungsbezogenes Verfahren)

• aus H:

$$T_{||} = \frac{170}{2 \cdot 0,4 \cdot 26} = 8,17 \frac{kN}{cm^2}$$



• aus V und M:



$$\sigma_{\perp} = T_{\perp} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left[\frac{170}{2 \cdot 0,4 \cdot 26} + \frac{1190}{2 \cdot 0,4 \cdot 26^2 / 6} \right] = 15,11 \frac{kN}{cm^2}$$

Nachweis:

$$\sigma_{\perp} = 15,11 < \frac{f_u \cdot 0,9}{\beta_w} = \frac{0,9 \cdot 36}{1,25} = 25,9 \frac{kN}{cm^2} \checkmark$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (T_{\perp}^2 + T_{||}^2)} = 33,4 \frac{kN}{cm^2} < \frac{f_u}{\beta_w} = \frac{36}{1,25 \cdot 0,9} = 36 \checkmark$$