

**Prüfung WiSe 23-24 Stahlbau II**

**Prüfungszeit 90 Minuten**

Prof. Dr.-Ing. habil. Marcus Rutner

Institut für Metall- und Verbundbau

Hamburg, den 11. März 2024

Name: \_\_\_\_\_

Vorname: \_\_\_\_\_

Matrikelnummer: \_\_\_\_\_

Berechnungsnorm: **DIN EN 1993**

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punktzahl
1)	45	
2)	45	
<b>Summe</b>	<b>90</b>	
		Note:

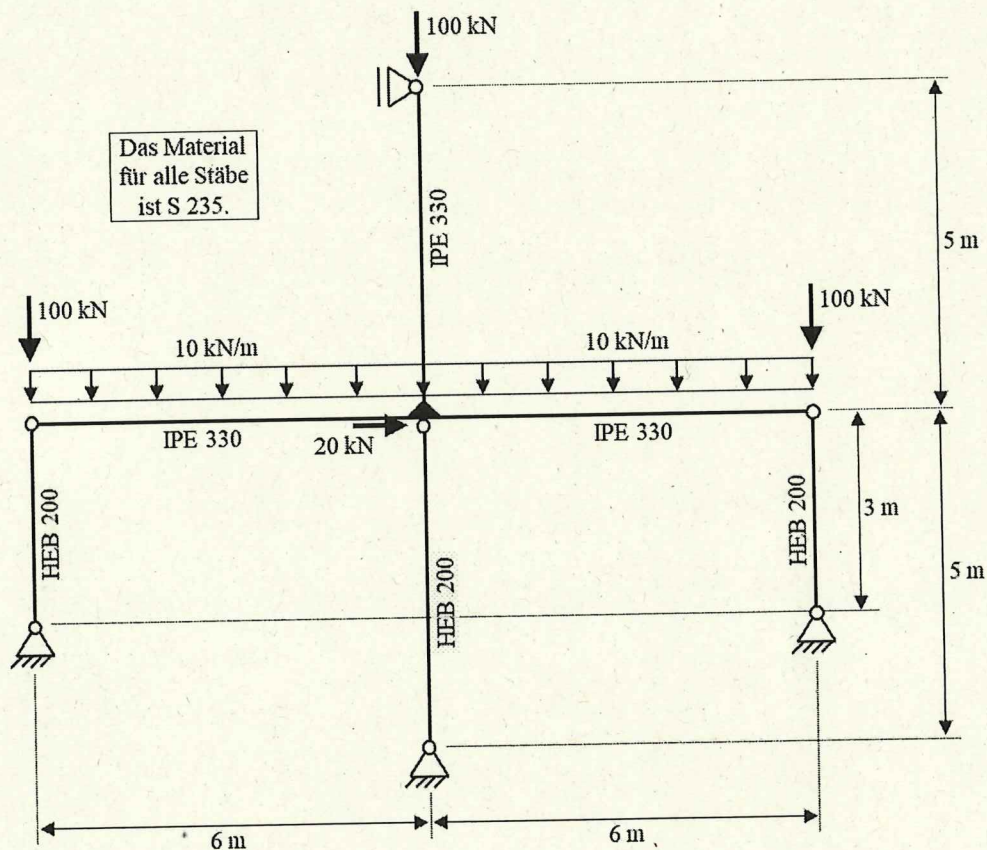
**Bearbeitungshinweise:**

- Alle Blätter sind mit Namen und Matrikelnummer zu versehen.
- Es dürfen keine grünen Farbstifte verwendet werden.
- Lösungen sind so darzustellen, dass der Lösungsweg lückenlos nachvollziehbar ist.
- Hilfsmittel sind zugelassen, jedoch keine elektronischen Geräte außer dem Taschenrechner.
- Das Mitführen von Kommunikationsmitteln ist untersagt.

**Aufgabe 1 (45 Punkte)**

Gegeben ist das unten dargestellte System, bestehend aus drei Pendelstützen und einem darauf aufgestellten T-förmigen Teilsystem. Alle Informationen zur Geometrie, Belastung und Querschnitten sind der Skizze zu entnehmen. Die angegebene Horizontalkraft in Höhe des Riegels enthält schon den Einfluss aus einer Anfangsschiefstellung der Stützen, so dass eine solche Schiefstellung nicht mehr angesetzt werden muss. Folgende Aufgabenpunkte sind zu bearbeiten:

- Bestimmen Sie die Schnittgrößenverläufe  $M$ ,  $Q$  und  $N$  nach Theorie 2. Ordnung.
- Überprüfen Sie die Querschnittstragfähigkeit an den möglichen maßgebenden Stellen im T-förmigen Teilsystem. Die Pendelstützen müssen hier nicht nachgewiesen werden.



Hinweise:

- Alle Profile sind so angeordnet, dass sie bei Belastung in der Systemebene um ihre starke Achse gebogen werden.
- Ein Versagen aus der Systemebene sowie eine Profilverdrillung sind ausgeschlossen.
- Bei den gegebenen Lastwerten handelt es sich um Bemessungswerte.
- Nicht gegebene Größen sind, soweit für die Berechnung erforderlich, sinnvoll zu wählen.

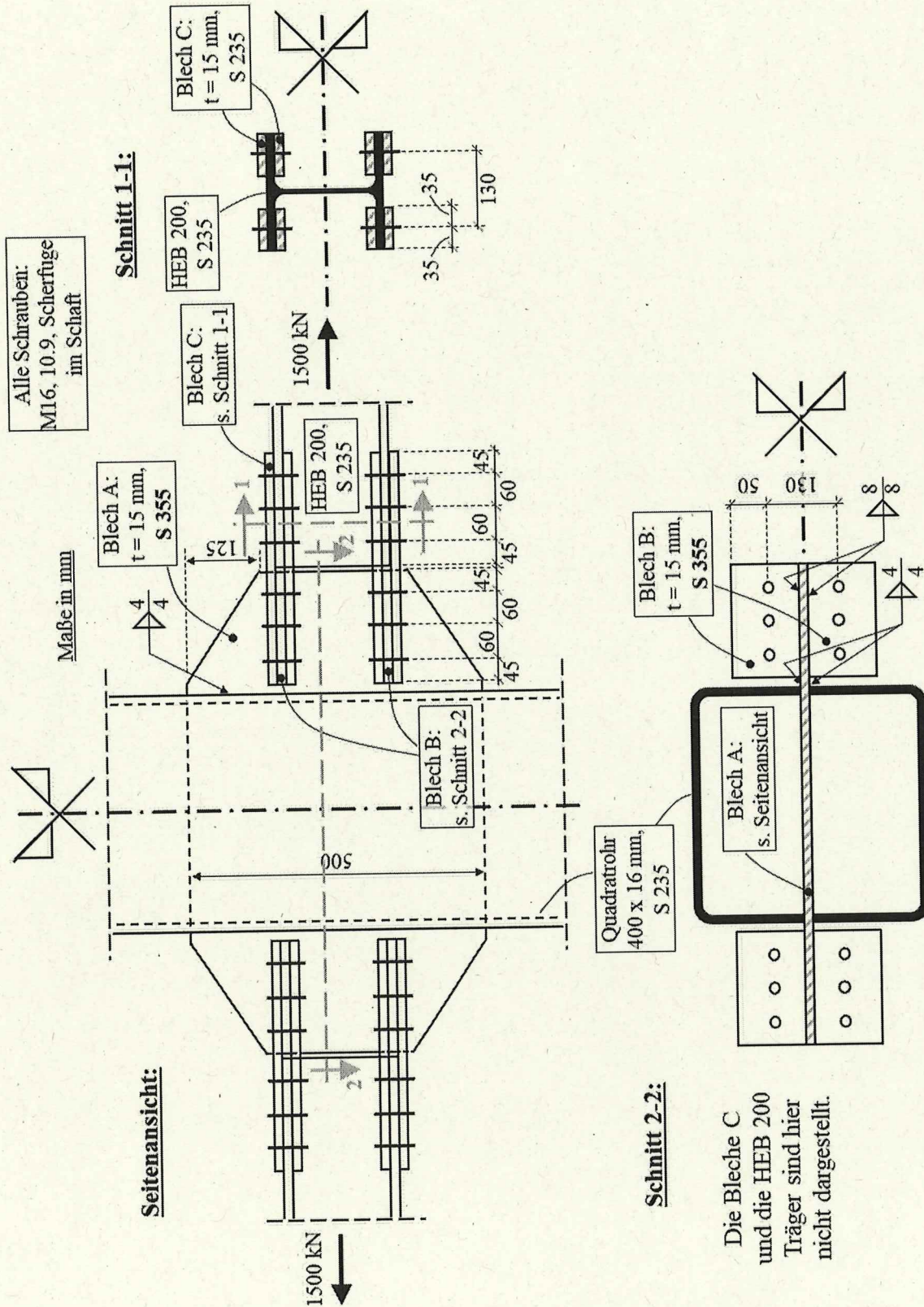
**Aufgabe 2 (45 Punkte)**

Zur Übertragung einer großen Zugkraft zwischen zwei horizontalen HEB 200 Trägern in ihrem Kreuzungsbereich mit einer Hohlprofilstütze ist der unten dargestellte Anschluss geplant. Bei diesem Anschluss wird ein großes vertikales Knotenblech (bezeichnet als „Blech A“ in der Skizze) durch vertikale Schlitze in der linken und rechten Profilwand der Stütze hindurchgesteckt und damit verschweißt. An die seitlich überstehenden Bereiche dieses Knotenbleches werden dann in der Verlängerung der HEB 200 Flansche insgesamt 8 horizontale Bleche (bezeichnet als „Blech B“ in der Skizze) mit vorbereitetem Lochbild für den Schraubanschluss angeschweißt. Der Schraubanschluss erfolgt als SL-Verbindung mittels Laschen (bezeichnet als „Blech C“ in der Skizze) zwischen den Blechen B und den HEB 200 Flanschen.

Alle erforderlichen Angaben zur Belastung, Geometrie, Schrauben und Schweißnähten sind in der Skizze enthalten. Folgende Aufgabenpunkte sind zu bearbeiten:

- a) Führen Sie alle erforderlichen Nachweise zum Schraubanschluss.
- b) Führen Sie die Nachweise für die Bleche B und ihre Schweißnähte, sowie für das große Knotenblech A.
- c) Zusatzfrage: Könnte man den Anschluss ohne Weiteres auch dann verwenden, wenn statt Zug- eine betragsmäßig gleich große Druckkraft zwischen den HEB 200 Trägern zu übertragen wäre? Begründen Sie Ihre Antwort.

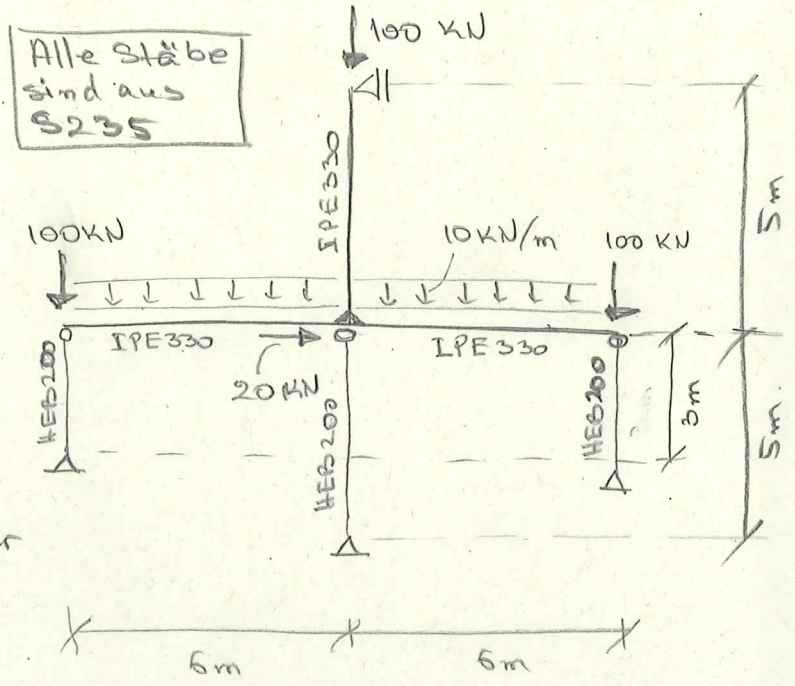
Nicht gegebene Größen sind, soweit für die Berechnung erforderlich, sinnvoll zu wählen.



Aufgabe 1:

a) Schnittgrößenverläufe  
N, Q und M nach Th.  
2. Ordnung

b) Querschnittsnachweis  
an den möglichen  
maßgebenden Stellen.  
Die Pendelstützen müssen hier  
nicht nachgewiesen werden.



a) Gesamtabtriebskraft  
in Höhe des Riegels bei  
einer horizontalen Riegel-  
verschiebung  $f$ :

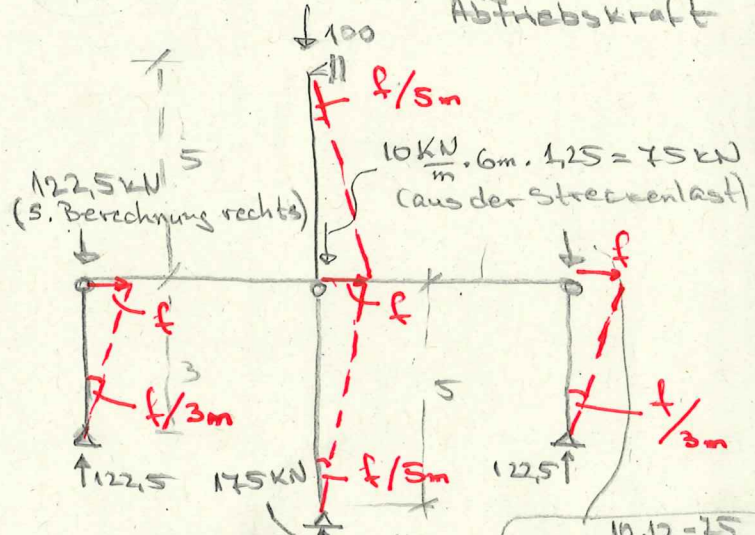
$$H_{\text{Abtrieb}}(f) =$$

$$= 2 \cdot 122,5 \cdot \frac{f}{3} + 100 \cdot \frac{f}{5} + 175 \cdot \frac{f}{5}$$

$$= \frac{410}{3} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot f$$

in [m] einsetzen.

Vertikallasten auf die Stützen  
(N) für die Berechnung der  
Abtriebskraft



Die Horizontalkraft  
von 20 kN in Riegelhöhe  
wird über ein vertikales  
Kräftepaar in  
den 2 Pendelstützen  
aufgenommen. Diese  
Vertikalkräfte erzeugen  
bei einer horizontalen  
Riegelaußenlenkung keine  
Netto-Abtriebskraft und  
werden hier deshalb nicht  
gebraucht.

$$100 + \frac{10 \cdot 12 - 75}{2}$$

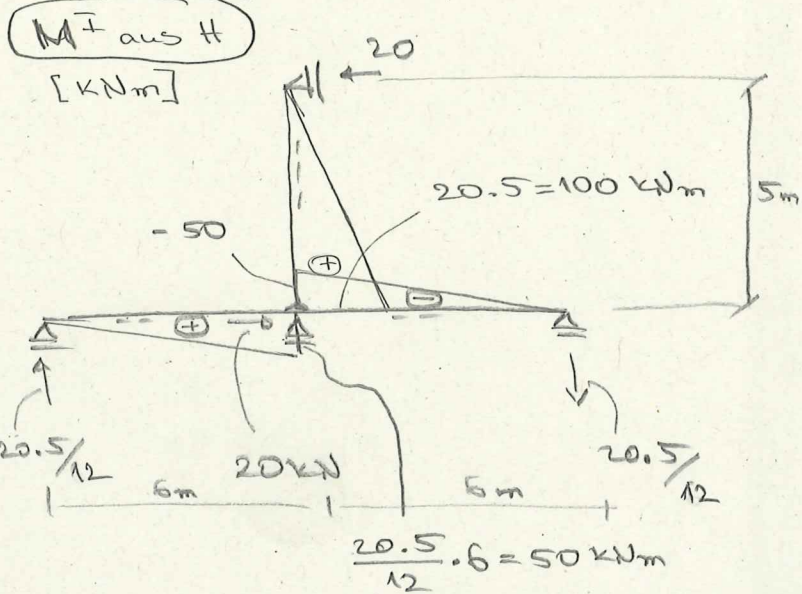
$$= 122,5 \text{ kN}$$

(aus der Streckenlast)

Stahlbau II

Aufgabe 1:

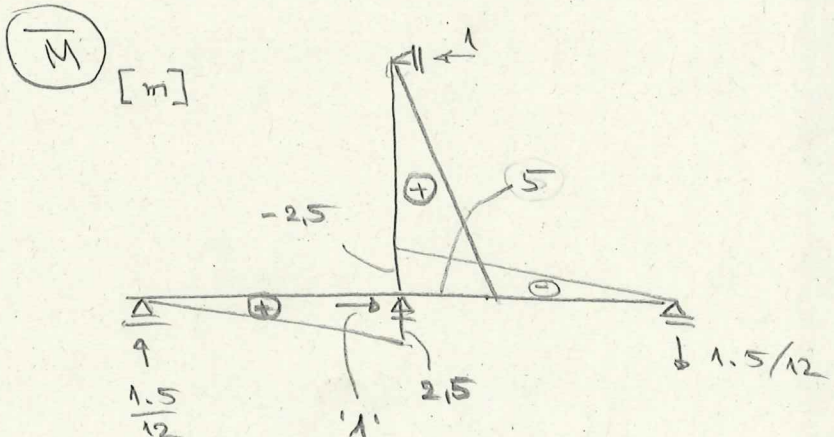
• Horizontale Riegelauslenkung  $f^I$  nach Th. 1.0.  
 (Betrachtet wird hier nur das relevante T-förmige Teilsystem; die Fendelstützen haben keine ausstufende Wirkung)



$$EI \cdot f^I = 5 \cdot \frac{1}{3} \cdot 100 \cdot 5 + 2 \cdot 6 \cdot \frac{1}{3} \cdot 2,5 \cdot 50 = 4000/3$$

mit  $EI = 24717 \text{ kNm}^2$   
 (mit  $I_{y,IPES30} = 11770 \text{ cm}^2$  und  $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$ )

$\Rightarrow \underline{\underline{f^I = 0,054 \text{ m}}}$



$\Rightarrow \Delta H = f^I \cdot \frac{410}{3} = 0,054 \cdot \frac{410}{3} = \underline{\underline{7,38 \text{ kN}}}$   
 s. Berechnung auf S. 4!

$\Rightarrow$  Vergrößerungsfactor nach Dischinger:

$$\frac{1}{1 - \Delta H/H} = \frac{1}{1 - 738/20} = \underline{\underline{1,58}}$$

$\Rightarrow \underline{\underline{f^{II} = 1,58 \cdot 0,054 = 0,085 \text{ m}}}$

Aufgabe 1:

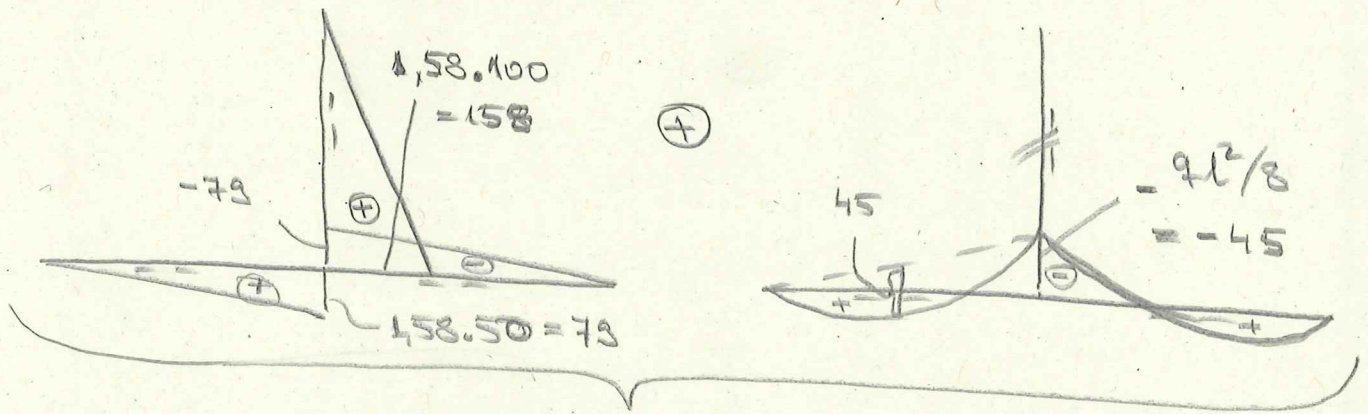
• Schnittgrößen nach Th. 2. Ordnung:

Moment: Das Moment besteht aus 2 Anteilen:  
 - einem Anteil aus Horizontalkraft, der um den berechneten Dischinger-Faktor vergrößert wird, und einem Anteil aus der Gleichstreckenlast  $q$ , den man wie bei einem 2-Feld Träger berechnet. Dieser zweite Anteil wird infolge Th. 2. Ordnung nicht vergrößert.

M-Anteil aus  $H$  incl.

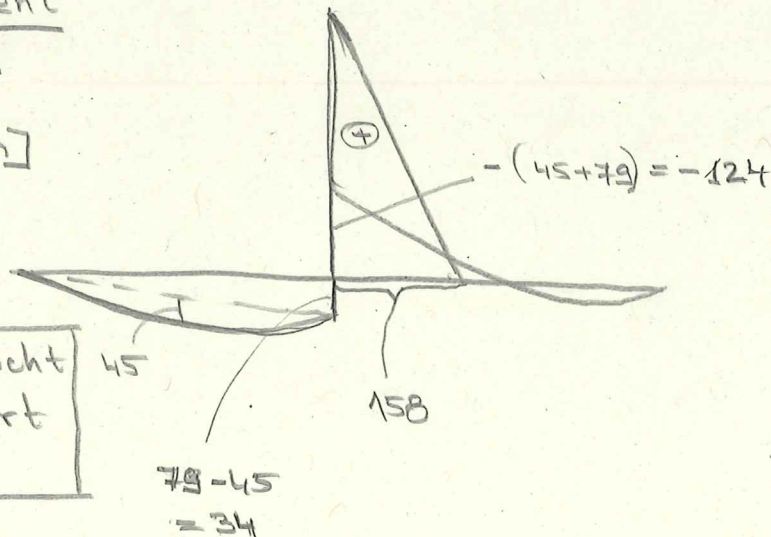
M-Anteil aus  $q$ :

Vergrößerung nach Th. 2.0:



Gesamtmoment nach Th. 2.0:

[kNm]

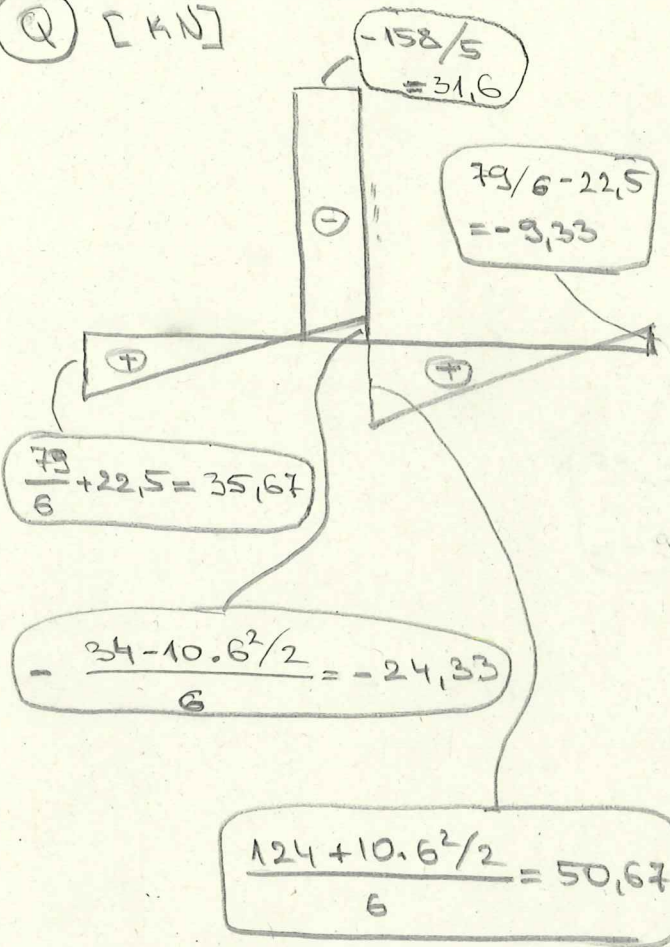


Pendelstützen nicht dargestellt, da dort  $M=0$  ist.

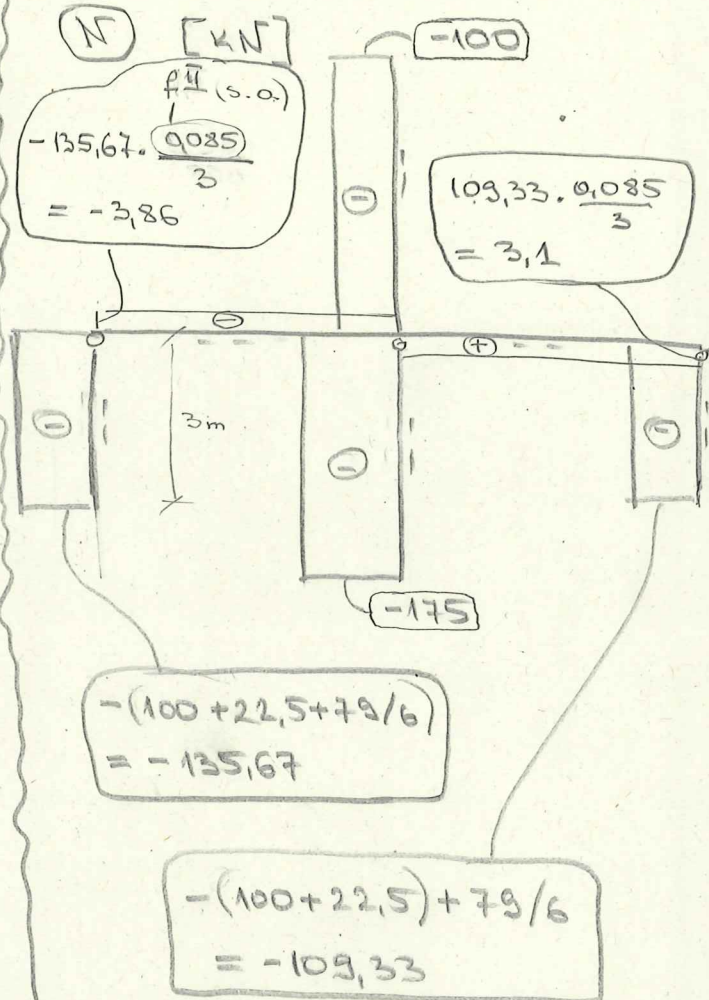
Stahlbau II

Aufgabe 1:

Q [kN]



N [kN]



b) Maßgebend ist die IPE 330 Stütze, da dort die betragsmäßig größten N und M auftreten:

Querschnittsnachweis am Anschluss zum Riegel:

$$|M|_{Ed} = 158 \text{ kNm} \quad |N|_{Ed} = 100 \text{ kN} \quad |V| = 31,6 < \frac{V_{pl}}{2} \rightarrow \text{keine Auswirkung auf die Tragfähigkeit unter M und N.}$$

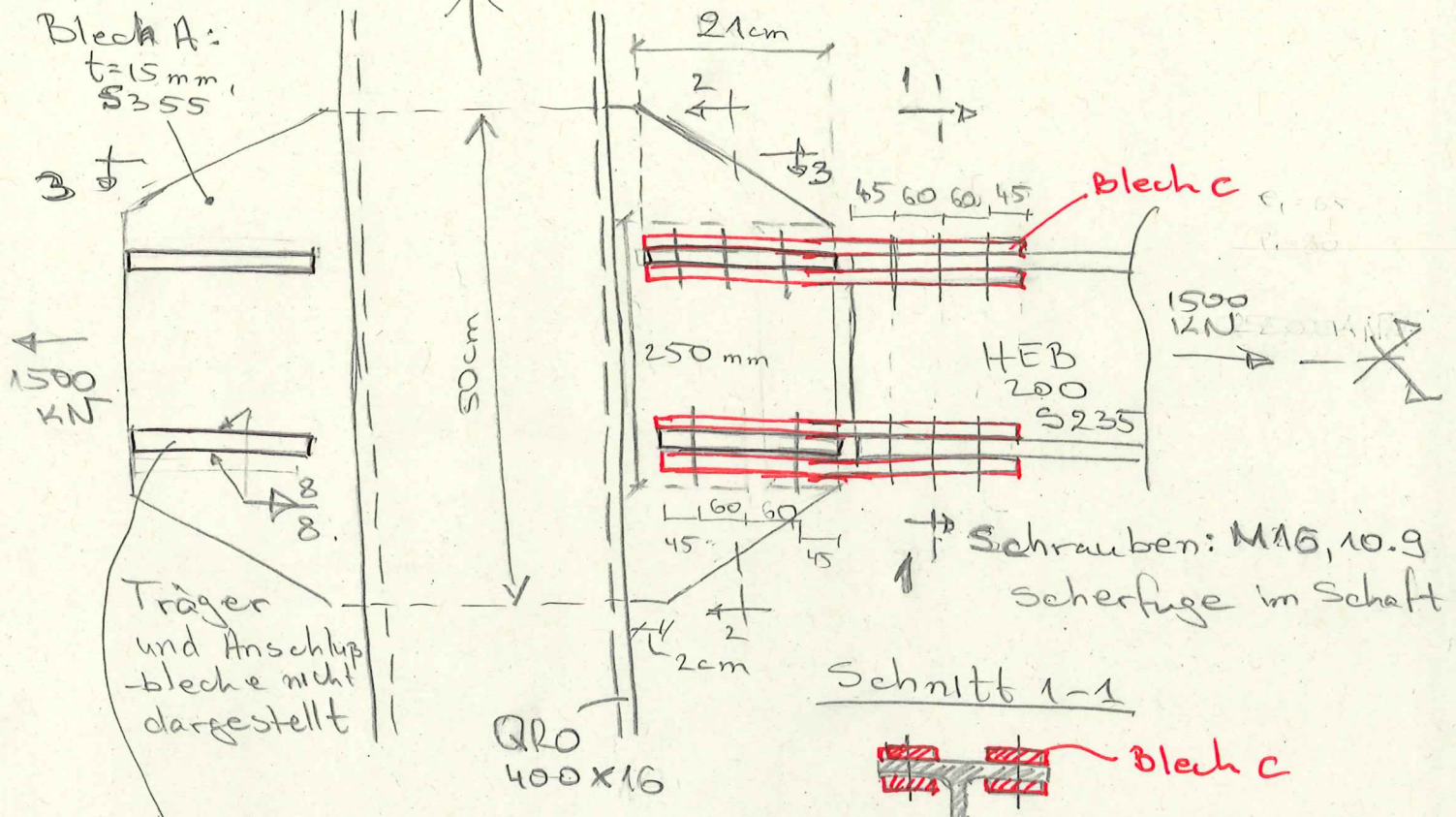
$$M_{pl,d} = \frac{804}{100} \cdot \frac{23,5}{1,1} = 171,8 \text{ kNm}$$

$$N_{pl,d} = \frac{62,6 \cdot 23,5}{1,1} = 1337,4 \text{ kN}$$

Lineare Interaction (vereinfacht und konservativ):

$$\frac{|M_{Ed}|}{M_{pl,d}} + \frac{|N_{Ed}|}{N_{pl,d}} = \frac{158}{171,8} + \frac{100}{1337,4} = 0,99 < 1 \quad \checkmark$$

Aufgabe 2:



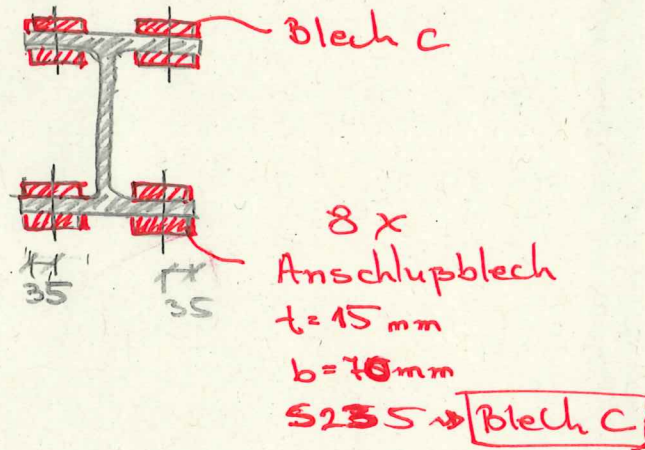
Träger und Anschlussbleche nicht dargestellt

horizontale Lastenleitungsbleche, vorn und hinten  
 $t = 15 \text{ mm}$ , S355  
 $b = 100 \text{ mm}$   
 s. auch Schnitt 2-2

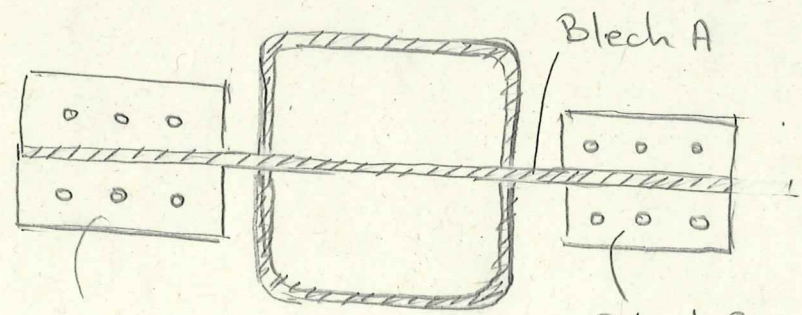
Blech B

Schrauben: M16, 10.9  
 Scherfuge im Schaft

Schnitt 1-1

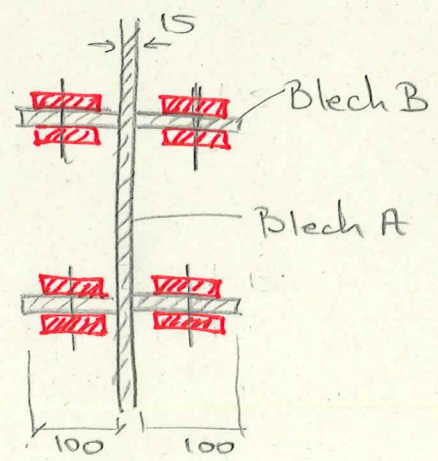


Schnitt 3-3



Träger und Anschlussbleche hier nicht dargestellt

Schnitt 2-2



# Stahlbau II

## Aufgabe 2:

a) Nachweise zum Schraubanschluss:

• Abscheren der Schrauben:

Die Kraft 1500 kN wird von insgesamt 12 Schrauben M16 10.9 (6 Schrauben pro Flansch) durch 2-schnittiges Abscheren übertragen:

$$F_{v,Ed} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1500}{12} = 62,5 \text{ kN} < F_{v,Rd} = 96,5 \text{ kN} \quad \checkmark$$

(pro Scherfuge)      2 Scherfugen      (Scherfuge im Schaft)

• Lochleibung:

Der Flansch des HEB 200 Profils ist mit  $t = 15 \text{ mm}$ , S235,  $e_1 = 45 \text{ mm}$  und  $p_1 = 60 \text{ mm}$  gegenüber Blech B (aus S355) und den Blechen C (die in der Summe eine Dicke von 30 mm pro Flansch ergeben) maßgebend:

$$F_{b,Ed} = \frac{1500}{12} = 125 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 1,5 \cdot \underbrace{96 \text{ kN}}_{\substack{\text{abgelesen} \\ \text{für } e_1 = 45 \text{ mm} \\ t = 10 \text{ mm und} \\ \text{S235}}} = 144 \text{ kN} \quad \checkmark$$

• Zugnachweis von Blech C unter Berücksichtigung der Lochschwächung:

$$A_{\text{brutto}} = 7 \cdot 1,5 = 10,5 \text{ cm}^2 \quad | \quad A_{\text{netto}} = 10,5 - \underbrace{1,8}_{d_L} \cdot 1,5 = 7,8 \text{ cm}^2$$

$d_L$  (2mm Lochspiel)

$$N_{Ed} = \frac{1500}{8} = 187,5 \text{ kN} < N_{t,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} 10,5 \cdot 23,5 = 246,75 \text{ kN} \\ 0,8 \cdot 7,8 \cdot \frac{36}{1,25} = 202,2 \text{ kN} \end{array} \right. \quad \checkmark$$

insgesamt 8 bleche C (4 pro Flansch) übertragen die Zugkraft von 1500 kN

Stahlbau II

Aufgabe 2:

- Nachweis des HEB 200 Trägers unter Berücksichtigung der Lochschwächung:

Aufnehmbare Zugkraft pro HEB 200 Flansch:

$$N_{t,rd,Flansch} = \min \begin{cases} 30 \cdot 23,5 = 705 \text{ kN} \\ 99 \cdot \frac{24,6 \cdot 36}{1,25} = 638 \text{ kN} \end{cases}$$

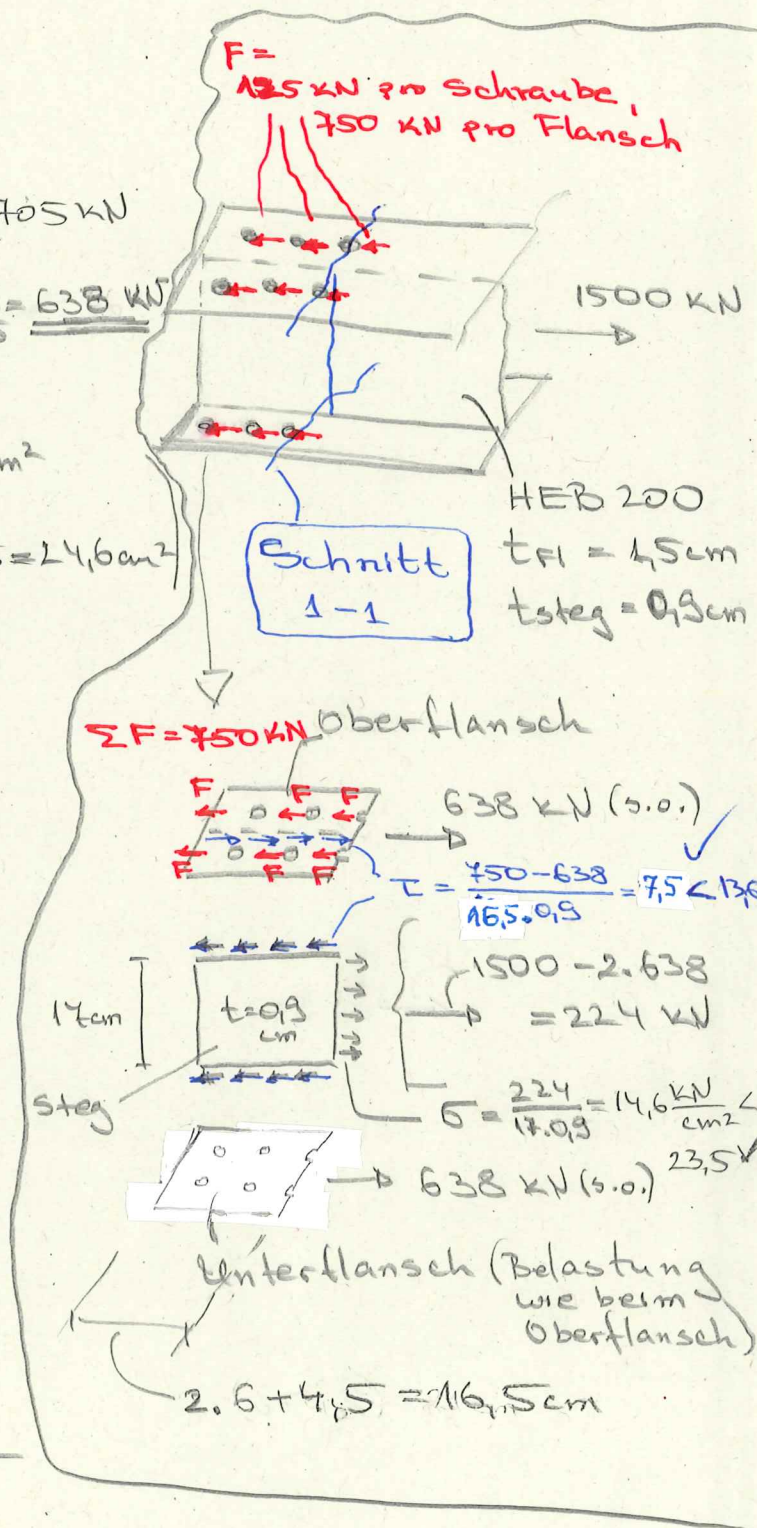
(mit  $A_{Fl, Brutto} = 20 \cdot 1,5 = 30 \text{ cm}^2$ )

$$A_{Fl, Netto} = (20 - 2 \cdot 1,8) \cdot 1,5 = 24,6 \text{ cm}^2$$

Die 2 Flansche können im der Summe  $2 \cdot 638 = 1276 \text{ kN}$  aufnehmen,

Die verbleibende Kraft von  $1500 - 1276 = 224 \text{ kN}$  kann bis zum kritischen Schnitt 1-1 (s. Skizze rechts) über Schubspannungen  $\tau$  von den Flanschen in den Steg eingeleitet werden;

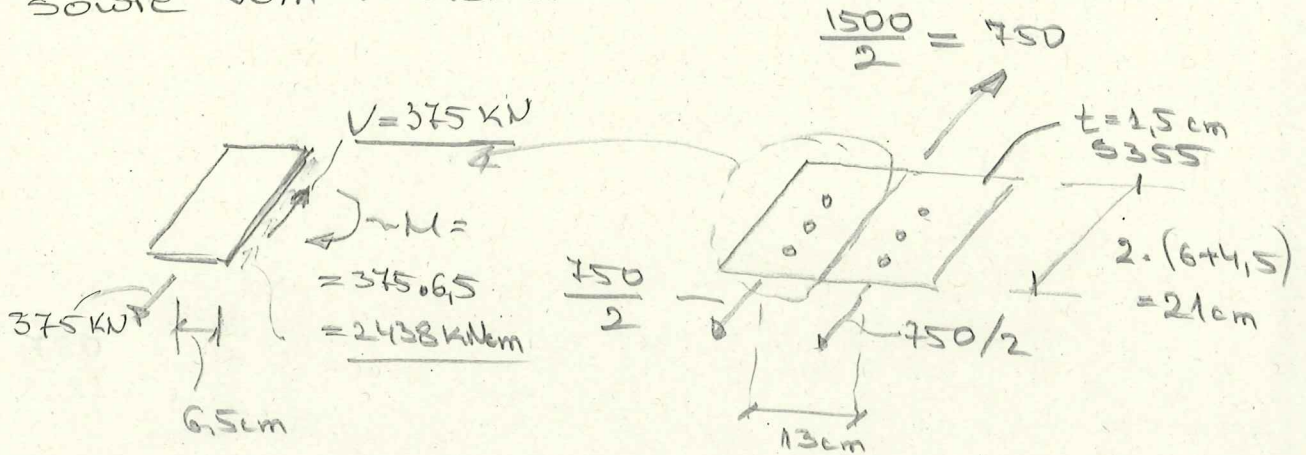
im Schnitt 1-1 wird diese Kraft dann über Normalspannungen  $\sigma$  im Steg übertragen. Die Nachweise erfolgen in der Skizze rechts.



Stahlbau II

Aufgabe 2:

b) Nachweis der Bleche B und ihrer Schweißnähte sowie vom Knotenblech A



• Spannungen im Blech infolge von V und M (s.o.)

$$\sigma_{max} = \frac{2438}{21^2 \cdot 1.5 / 6} = 22,11 \text{ kN/cm}^2 < 35,5 \quad \checkmark$$

$$\tau_{max} = 1,5 \cdot \frac{375}{21 \cdot 1,5} = 17,9 \text{ kN/cm}^2 < \frac{35,5}{\sqrt{3}} = 20,5 \quad \checkmark$$

• Spannungen in den Schweißnähten an Blech A infolge von V und M (s.o.):

vereinfachtes Nachweisverfahren:

$$\sigma = \frac{2438}{21^2 \cdot (2 \cdot 0,8) / 6} = 20,7 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{ii} = \frac{375}{21 \cdot 2 \cdot 0,8} = 11,2 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{v,w} = \sqrt{20,7^2 + 11,2^2} = 23,5 \text{ kN/cm}^2 < f_{v,w,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \beta_{eff}}$$

Die Schweißnähte zwischen Blech A und dem Stützenprofil ( $\rightarrow D_4$ ) dienen nur der Lagesicherung von Blech A und bleiben rechnerisch spannungsfrei.

$$= \frac{49}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 25,1 \quad \checkmark$$

Die Zugkraft wird über den durchgesteckten Teil durchgeführt.

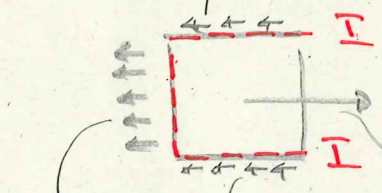
# Stahlbau II

## Aufgabe 2:

- Nachweis des Knotenblechs A:

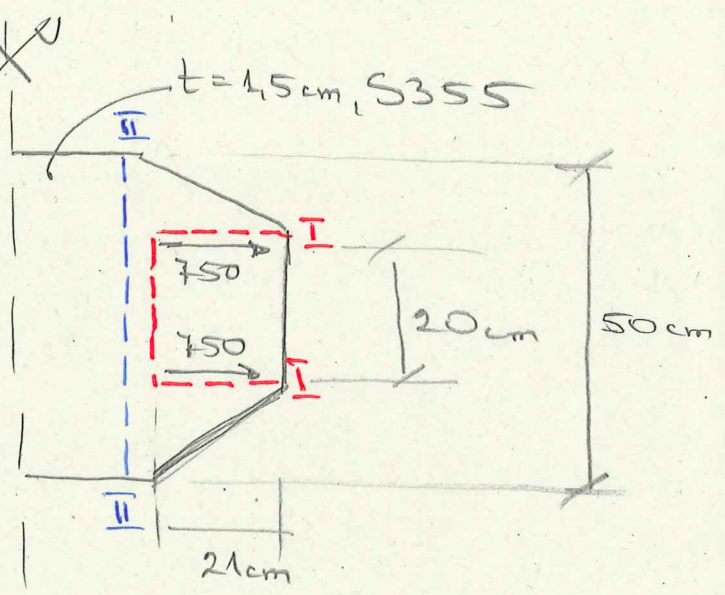
- Herausreißen entlang der roten gestrichelten Linie (Schnitt I-I) - analog zum Blockversagen bei einer SL-Verbindung

$$T = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} = 20,5 \frac{kN}{cm^2}$$



$$\sigma_y = 35,5$$

$$T = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} = 20,5 \frac{kN}{cm^2}$$



$$F_{t,rd} = 4,5 \text{ cm} \cdot (20 \cdot 35,5 + 2 \cdot 21 \cdot 20,5) = 2356 \text{ kN} > 1500 \text{ kN} \checkmark$$

- Zugversagen im Schnitt II-II

$$\sigma = \frac{1500}{1,5 \cdot 50} = 20 \text{ kN/cm}^2 < 35,5 \checkmark$$

c) Antwort auf die Zusatzfrage:

Den Anschluss kann man nicht ohne Weiteres für eine Druckkraft verwenden, weil dann beim durchgesteckten Teil vom Knotenblech A eine Knickgefahr besteht:

