

**Prüfung SoSe 2023 Stahlbau II**

**Prüfungszeit 90 Minuten**

Prof. Dr.-Ing. habil. Marcus Rutner  
Institut für Metall- und Verbundbau

Hamburg, den 24. August 2023

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

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

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

Berechnungsnorm: **DIN EN 1993**

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punktzahl
1)	45	
2)	45	
Summe	90	
		Note:

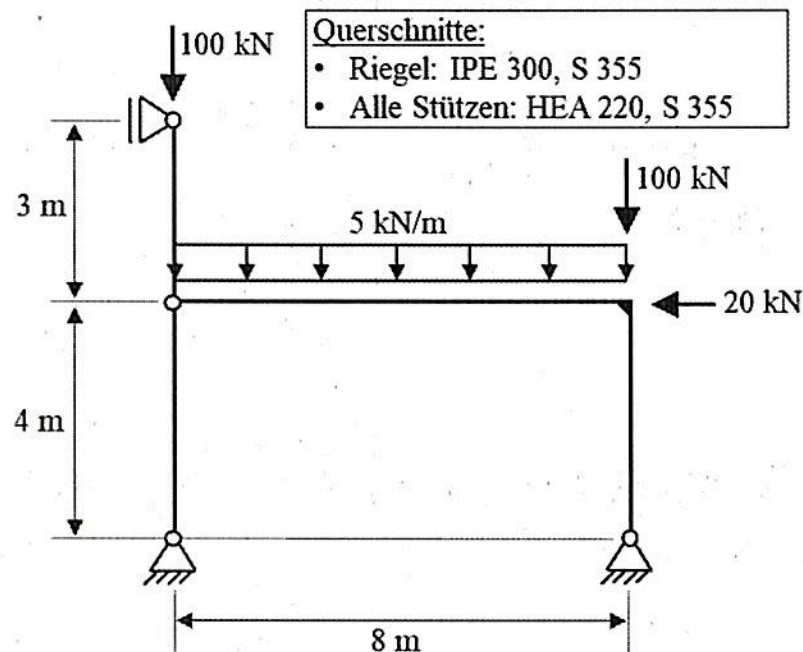
Bearbeitungshinweise:

- 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 einem Dreigelenrahmen und einer darauf aufgestellten Pendelstütze. 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:

- Berechnen Sie den Momentenverlauf nach Theorie 2. Ordnung. Gefordert ist hier eine iterative Berechnung mit zwei Iterationen.
- Überprüfen Sie die Querschnittstragfähigkeit an der maßgebenden Stelle in der rechten Rahmenstütze. Für die Normalkraft in dieser Stütze darf näherungsweise mit dem Wert nach Theorie 1. Ordnung gerechnet werden.
- Wie groß wäre die maximal aufnehmbare Horizontalkraft in Höhe des Riegels für den Fall, dass das System nur durch diese Kraft (und nicht noch durch Vertikallasten) belastet wäre?



Hinweise:

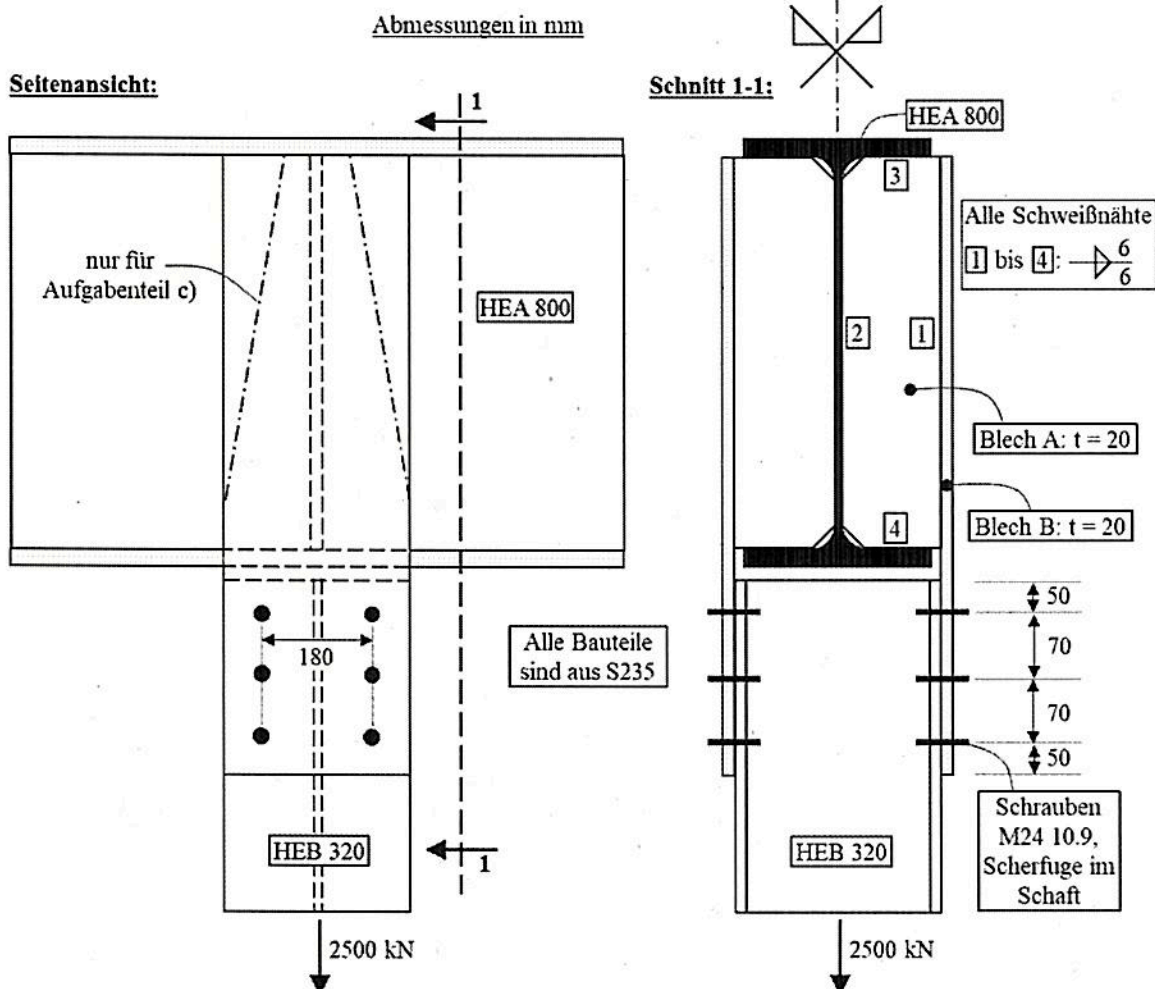
- Alle Profile sind so angeordnet, dass sie bei Belastung in der Systemebene um ihre starke Achse gebogen werden.
- Ein Versagen aus der Systemebene sowie eine Profilverdrillung sind ausgeschlossen.
- Bei den gegebenen Lastwerten handelt es sich um Bemessungswerte.
- Nicht gegebene Größen sind, soweit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

**Aufgabe 2 (45 Punkte)**

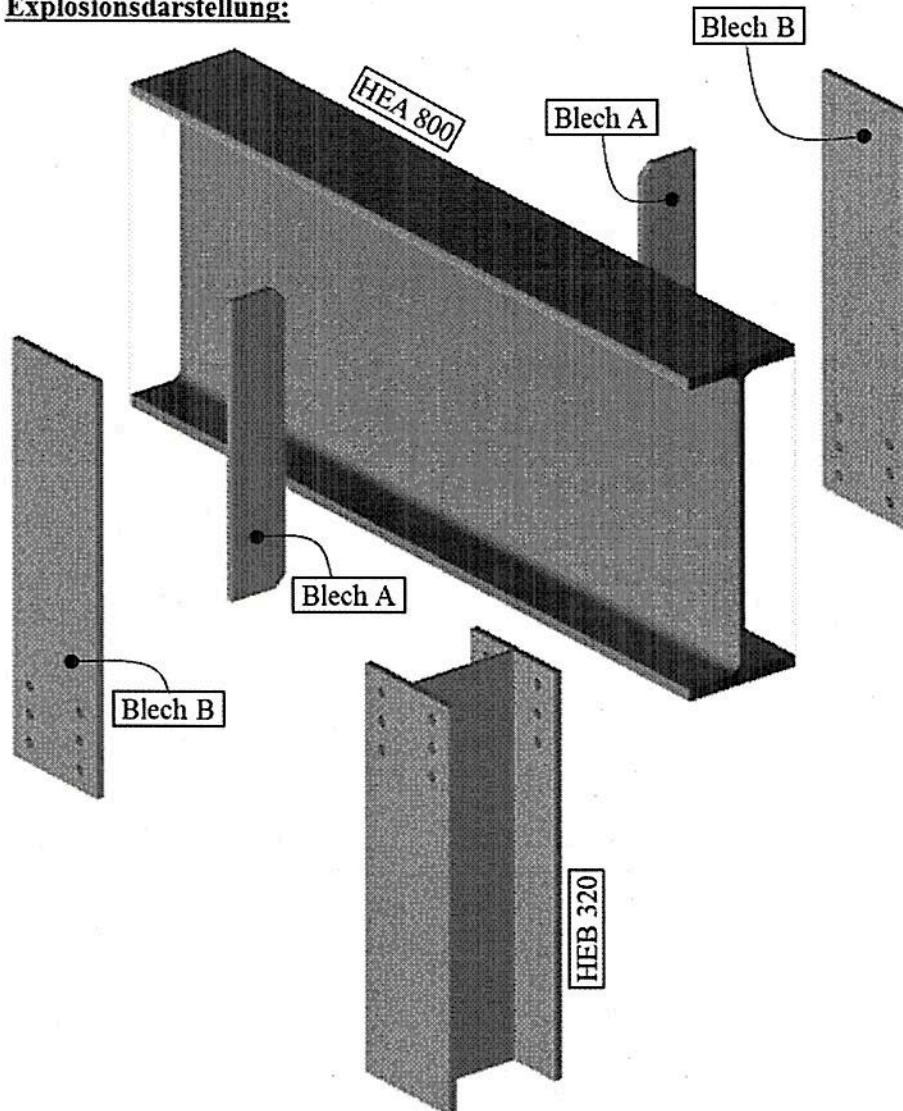
Zur Übertragung einer großen Zugkraft aus einem vertikalen Hänger in einen horizontalen Träger ist der unten dargestellte Anschluss geplant (s. auch die Explosionsdarstellung auf der nächsten Seite). Bei diesem Anschluss werden die beiden Bleche A als Vollrippen in die Profilkammern des HEB 800 Trägers eingeschweißt. Die Bleche B werden an die seitlich überstehenden Außenkanten der Bleche A angeschweißt. Dabei stehen die Bleche B nach unten über und haben im überstehenden Bereich ein Lochbild, so dass der HEB 320 Hänger, dessen Flansche ein entsprechendes Lochbild haben, zwischen diese Bleche eingeschoben und damit verschraubt werden kann. Folgende Aufgabenpunkte sind zu bearbeiten:

- Führen Sie alle erforderlichen Nachweise zum Schraubanschluss (incl. Nachweis gegen Blockversagen).
- Führen Sie die Nachweise der Schweißnähte der Bleche A und B. Zur besseren Bezugnahme sind diese Nähte im Schnitt 1-1 in Kästchen von 1 bis 4 nummeriert.
- Zusatzfrage: Würde die Anschluss Tragfähigkeit spürbar reduziert, wenn man die Bleche B nach oben hin verjüngen würde, so wie durch die strichpunktierten Linien in der Seitenansicht angedeutet? Begründen Sie Ihre Antwort.

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



Explosionsdarstellung:



Stahlbau II

Aufgabe 1:

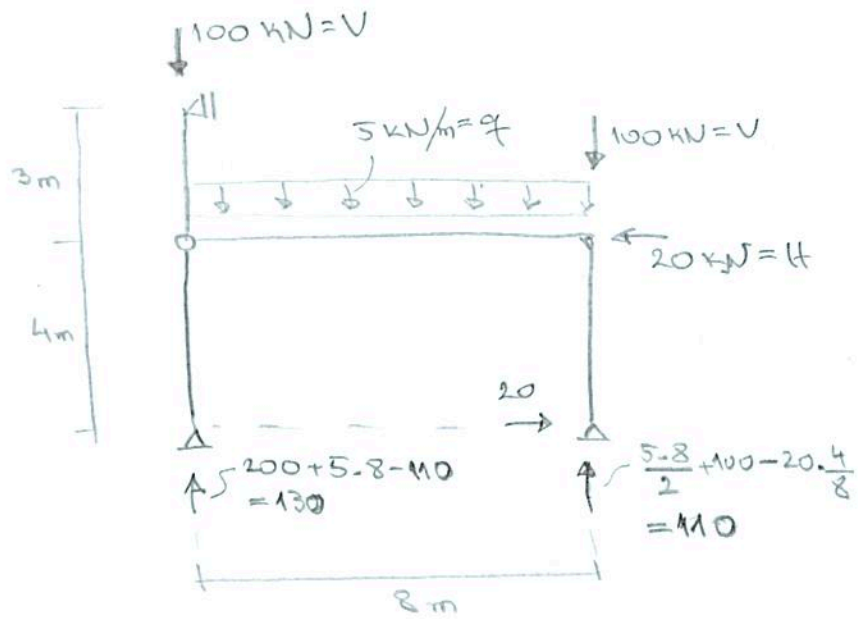
Gesucht: • Moment

nach Th. 2. O. →

(gefordert ist hier eine iterative Berechnung mit zwei Iterationen.)

• Überprüfung der Querschnittstragfähigkeit am oberen Ende der rechten Stütze.

• Wie groß wäre die maximal aufnehmbare Horizontalkraft in Riegelhöhe für den Fall, dass keine Vertikallasten vorhanden sind?



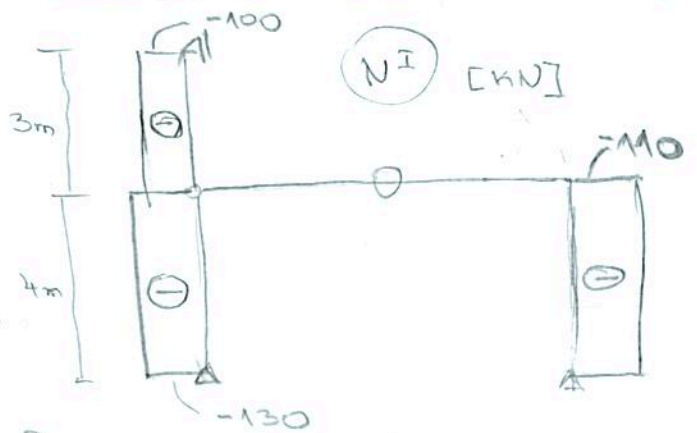
alle Stützen: #EA 220, S355

Riegel: IPE 300, S355

Gesamte horizontale Abtriebskraft in Riegelhöhe bei einer horizontalen Riegelablenkung  $f$ :

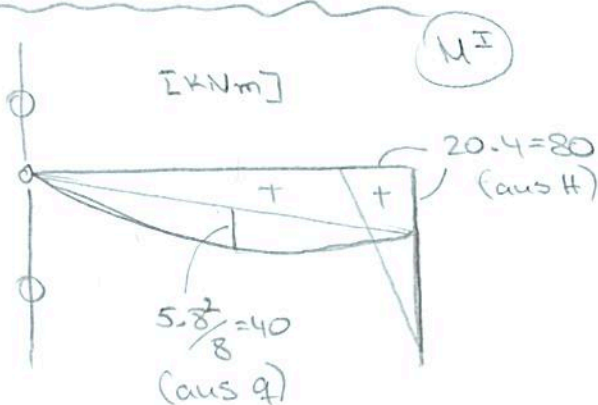
$$\Delta H = \sum_i N_i \cdot \Delta \varphi_i = \frac{f}{3m} \cdot 100 + \frac{f}{4m} \cdot 130 + \frac{f}{4m} \cdot 110 = \frac{280}{3} \cdot f$$

Normalkräfte nach Th. 1. O.:

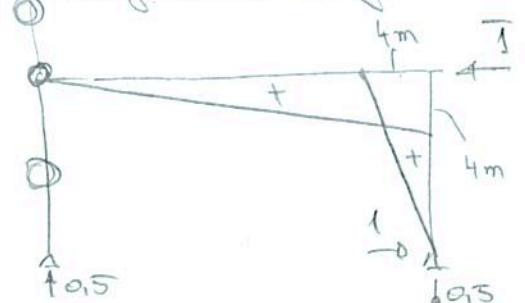


↳ mit  $f$  in [m]

Moment nach Th. 1. O.:



virtueller M-Verlauf zur Berechnung der horiz. Riegelablenkung:



Aufgabe 1:

Berechnung von  $f^I$ :

$$f^I = \frac{1}{EI_{\text{Riegel}}} \left( \frac{1}{3} \cdot 4 \cdot 80 + \frac{1}{3} \cdot 4 \cdot 40 \right) \cdot 8 \text{ m} + \frac{1}{EI_{\text{Stütze}}} \cdot \frac{1}{3} \cdot 4 \cdot 80 \cdot 4 \text{ m} = \underline{\underline{0,110 \text{ m}}}$$

mit:  $EI_{\text{Riegel}} = 21000 \cdot 360 \cdot 10^{-4} = \underline{\underline{17556 \text{ kNm}^2}}$

$EI_{\text{Stütze}} = 21000 \cdot 540 \cdot 10^{-4} = \underline{\underline{11364 \text{ kNm}^2}}$

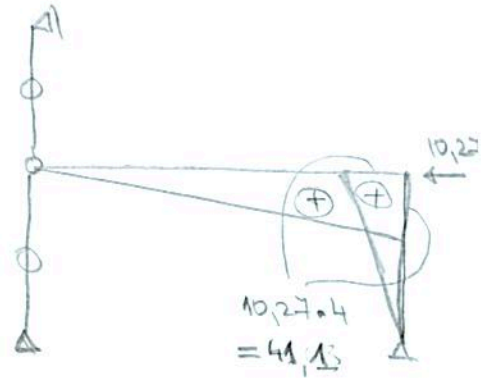
1. Iteration:

a) Abtriebskraft  $\Delta H$  infolge von  $f^I$ :

$$\Delta H = \frac{280}{3} \cdot 0,110 = \underline{\underline{10,27 \text{ kN}}}$$

s.o.

( $\Delta M$ )



$$\Delta f = \frac{1}{EI_{\text{Riegel}}} \cdot \frac{1}{3} \cdot 4 \cdot 41,1 \cdot 8 + \frac{1}{EI_{\text{Stütze}}} \cdot \frac{1}{3} \cdot 4 \cdot 41,1 \cdot 4$$

$$= \underline{\underline{0,044 \text{ m}}}$$

Achtung:  $\Delta M$  ist nicht affin zu  $M^I$  (s.o.), deshalb ist das Dischinger-Verfahren hier nicht in seiner Standardform anwendbar. (Dieses Erkenntnis ist kein Teil der Aufgabenstellung, erklär aber die explizite Forderung nach iterativer Berechnung.)

2. Iteration:

Abtriebskraft  $\Delta \Delta H$  infolge  $\Delta f$ :

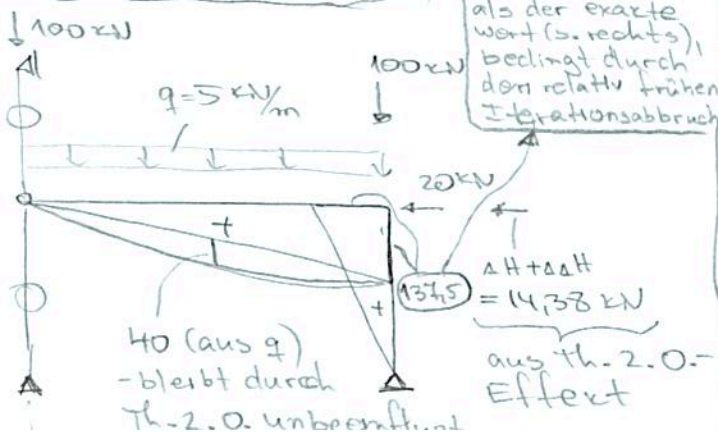
$$\Delta \Delta H = \frac{280}{3} \cdot 0,044 = \underline{\underline{4,11 \text{ kN}}}^*$$

s.o.

Die Iteration wird hier lt. Aufgabenstellung abgebrochen.

Moment nach Th. 2. O.

( $M^II$ )  $\approx$   
[kNm]



etwas kleiner als der exakte Wert (s. rechts), bedingt durch den relativ frühen Iterationsabbruch

$\Delta H + \Delta \Delta H = 14,38 \text{ kN}$   
aus Th. 2. O.-Effekt

\* Das Moment  $\Delta \Delta M$  aus  $\Delta \Delta H$  wäre affin zu  $\Delta M$ . Ein Vergrößerungsfaktor nach Dischinger wäre hier also auf  $\Delta M$  (statt wie sonst auf  $M^I$ ) anwendbar. Das Rahmen-erkmoment nach Th. 2. O. ergäbe sich dann zu:

$$M^{II} = M^I + \Delta M \cdot \frac{1}{1 - \Delta \Delta H / \Delta H}$$

$$= 80 + 41,1 \cdot \frac{1}{1 - 4,11 / 10,27} = 148,5$$

Stahlbau II

Aufgabe 1:

b) Querschnittstragfähigkeit am oberen Ende der rechten Stütze:

$M_{Ed} = M^{\text{II}} \approx 137,5 \text{ kNm (s.o.)}$

$N_{Ed} \approx N^{\text{I}} = 110 \text{ kN}$  → es wird näherungsweise mit dem Wert nach Th. 1.0. gerechnet  
(Hinweis in der Aufgabenstellung)

$V_{Ed} = V^{\text{II}} \approx \frac{137,5}{4} = 34,4 \text{ kN} \ll 0,5 V_{pl,z} \Rightarrow$  Einfluss darf beim Nachweis vernachlässigt werden.

elastischer Spannungsnachweis:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y}} + \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{137,5 \text{ kNm}}{515 \text{ cm}^3} + \frac{110 \text{ kN}}{64,3 \text{ cm}^2} = 28,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} <$$

c) Ermittlung der maximal aufnehmbaren Kraft H in Höhe des Riegels:

$H_{max} \cdot 4 \text{ m} = M_{pl}$

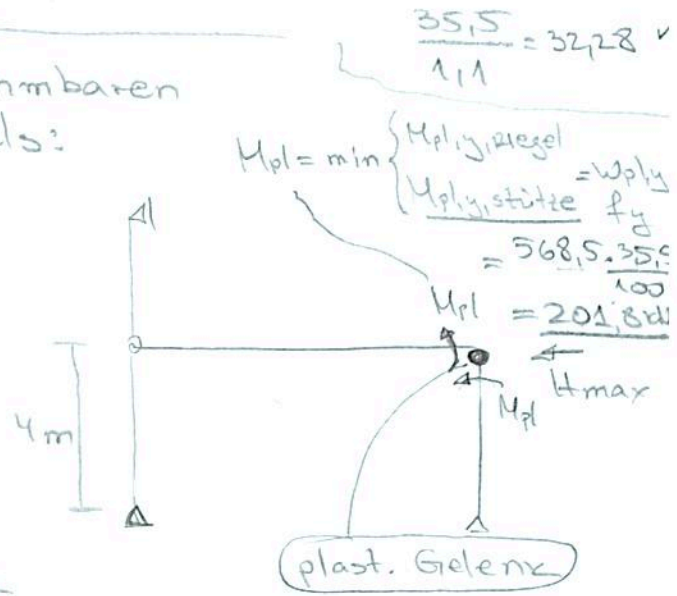
$H_{max} = \frac{201,8 \text{ kNm}}{4 \text{ m}} = \underline{\underline{50,4 \text{ kN}}}$

Unter  $H_{max}$  wäre im Stützenquerschnitt

die Querkraft  $V_z = 50,4 \text{ kN} < 0,5 V_{pl,z}$   
und die Normalkraft  $N = 50,4 \cdot \frac{4}{6} = 25,2 \text{ kN}$

$N < \min \begin{cases} 0,25 N_{pl} \\ 0,5 N_{pl,steig} \end{cases}$

⇒  $V_z$  und  $N$  bleiben so klein, dass keine Abminderung von  $M_{pl}$  erforderlich ist ⇒ Das berechnete Ergebnis für  $H_{max}$  ist gültig (sonst wäre eine iterative Berechnung notwendig).



Sowohl der Stützen- als auch der Riegelquerschnitt lassen sich mindestens in QKL 2 erstufen, sodass die Ausbildung eines plastischen Gelenks möglich ist.

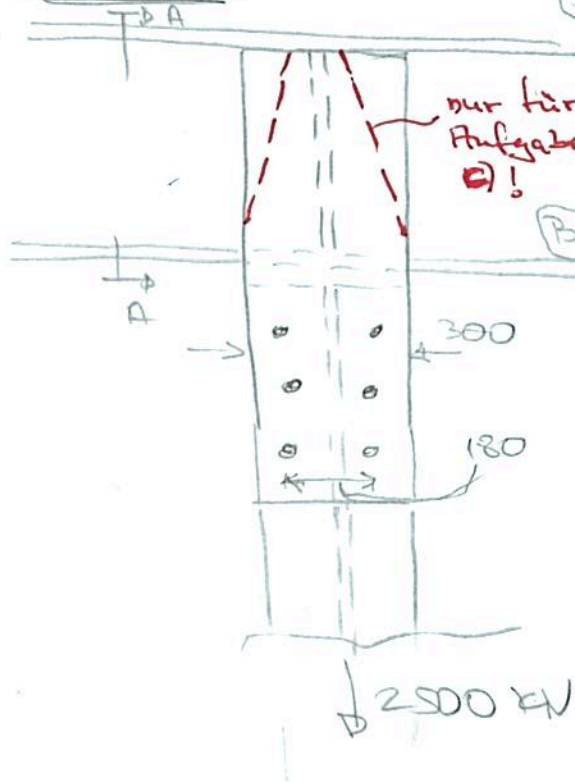
Aufgabe 2:

Alle Bauteile aus S235



Schnitt A-A:

Ansicht:



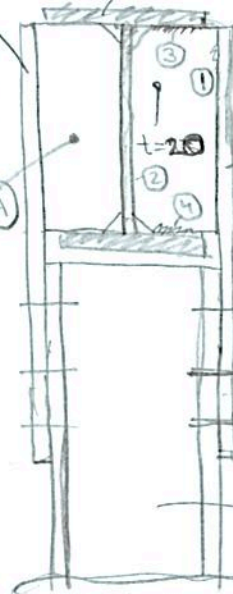
Blech B

HEA 800

Schweißnähte:

- ①: → 6
- ②: → 6
- ③④: → 6

Blech A



U24,10.9  
Schweißnaht  
50 im Schaft

mit normalem  
Lockspiel (2mm)

2500 kN

- a) Alle Nachweise zum Schraubanschluss (incl. Blockversagen)
- b) Nachweis aller Schweißnähte ① bis ④
- c) Würde die Anschlusstragfähigkeit spürbar reduziert, wenn man Blech B nach oben hin verjüngen würde, so wie durch die rote gestrichelte Linie in der Ansicht angedeutet

Lösung:

a) • Nachweis gegen Abscheren:

$$F_{v,Ed} = \frac{2500}{12} = 208,3 \text{ kN} < 217 \text{ kN} \quad \checkmark$$

• Nachweis gegen Lochreibung: (Blech B ist dünner als der HEB 320-Flansch und damit maßgebend)

$$F_{b,Rd} = \frac{M_1}{\gamma_{M2}} \cdot 2 = 222 \text{ kN} > F_{b,Ed} = 208,3 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Tabellenwert für  $e_1 = 50 \text{ mm}$

Aufgabe 2

- Nachweis des Nettoquerschnitts: (Blech B maßgebend)

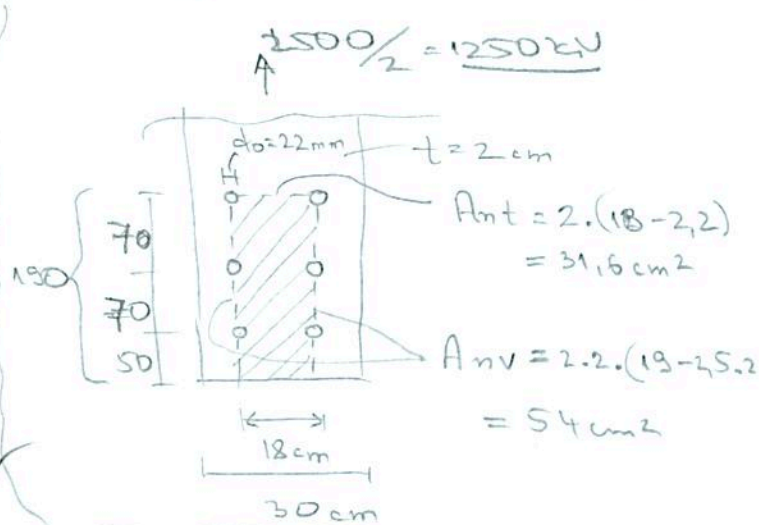
$$N_{t,rd} = \min \left\{ \begin{aligned} &30 \cdot 2 \cdot 23,5 = 1410 \text{ kN} \\ &\frac{(30 - 2 \cdot 2,2) \cdot 2 \cdot 36 \cdot 0,9}{1,25} = 1285,6 \text{ kN} > \frac{2500}{2} \end{aligned} \right.$$

- Nachweis gegen Blockversagen: (Blech B maßgebend)

Schraubengruppe unter zentrischer Belastung:

$$N_{eff,rd} = f_u \cdot \frac{A_{nt}}{1,25} + \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{A_{nv}}{1,10}$$

$$= 36 \cdot \frac{31,6}{1,25} + \frac{23,5}{\sqrt{3}} \cdot \frac{54}{1,10} = 1643 \text{ kN} > 1250 \text{ kN}$$



- b) Nachweis der Schweißnähte:

- Schweißnähte ① und ②:  $\rightarrow \begin{matrix} 6 \text{ mm} \\ 6 \text{ mm} \end{matrix}$

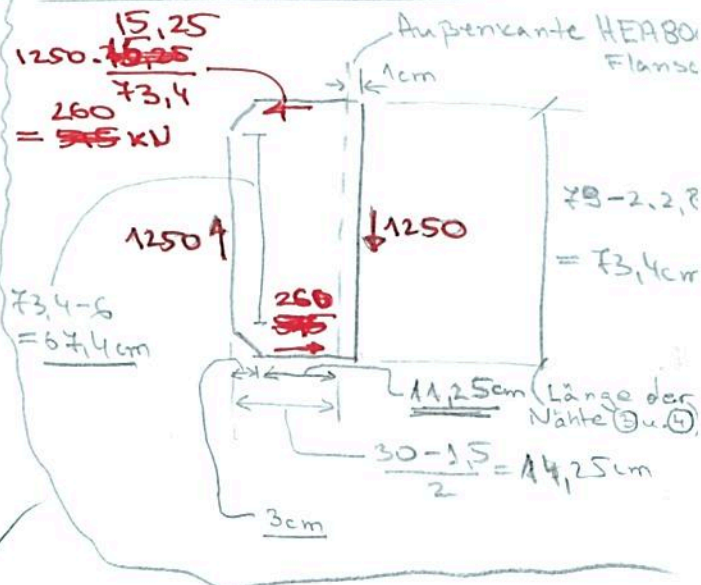
Naht ② ist maßgebend, da sie die gleiche Kraft wie Naht ① bekommt, aber kürzer ist:

$$L_{II} = \frac{1250}{2 \cdot 0,6 \cdot 0,74} = 15,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} < \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 20,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$$

- Nähte ③ und ④:  $\rightarrow \begin{matrix} 6 \text{ mm} \\ 6 \text{ mm} \end{matrix}$

$$L_{II} = \frac{260}{2 \cdot 0,6 \cdot 1,125} = 19,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} < 20,8$$

- Kräfte auf Blech A:



- c) Die Anschluss tragfähigkeit wäre nicht spürbar beeinflusst weil die Zugkraft im Blech B über die Länge von Schweißnaht ① linear nach oben auf den Wert Null abnimmt.