

Prüfung SoSe 2020 Stahlbau I – 1. Teil
Prüfungszeit 40 Minuten

Prof. Dr.-Ing. Marcus Rutner

Institut für Metall- und Verbundbau

Hamburg, den 20. August 2020

Name: _____

Vorname: _____

Matrikelnummer: _____

Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punktzahl
1)	10	
2)	4	
3)	4	
4)	4	
5)	5	
6)	13	
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:

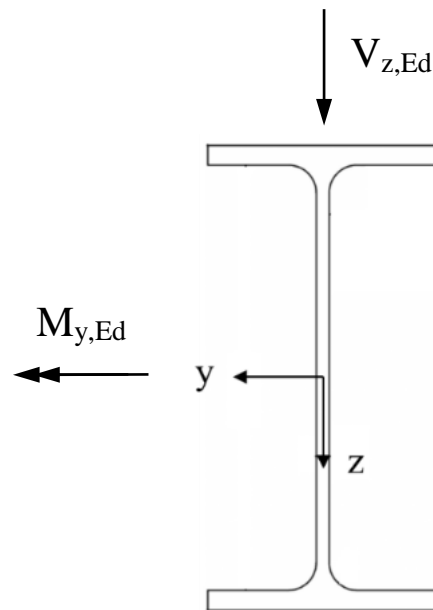
Aussage	Wahr	Falsch
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<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 Querschnittsklasse eines Profils (nach EC3) hängt von der Belastung ab.
- 2) Profile der Querschnittsklasse 1 weisen nach Erreichen des plastischen Grenzmoments $M_{pl,Rd}$ ein Rotationsvermögen auf (ohne zu beulen), sodass die Schnittgrößenverläufe im System plastisch ermittelt werden dürfen.
- 3) Bei sehr großen Spannweiten eines Biegeträgers ist die Ausbildung eines Stahl-Fachwerks wirtschaftlicher als die Wahl eines Vollwandträgers (z.B. IPE).
- 4) Bei einer geschraubten Scherverbindung muss ein Durchstanznachweis geführt werden.
- 5) Das Schweißen wirkt sich positiv auf die lokalen Werkstoffeigenschaften des Stahls aus.
- 6) Das Plastizieren des Stahls ermöglicht den Abbau von Spannungsspitzen an Kerben.
- 7) Die Knicklänge L_{cr} eines Druckstabs für das Ersatzstabverfahren nach EC3 kann geringer als die tatsächliche Stablänge sein.
- 8) Für Zugstäbe können Stabilitätsversagen ausgeschlossen werden.
- 9) Für einen Stab mit Rohrprofil kann Biegedrillknicken ausgeschlossen werden.
- 10) Bei einem Stab, der nur auf Druck beansprucht ist, ist es wirtschaftlich ein Profil zu wählen für dessen Biegesteifigkeiten gilt: $I_y = I_z$

Aufgabe 2 (4 Punkte)

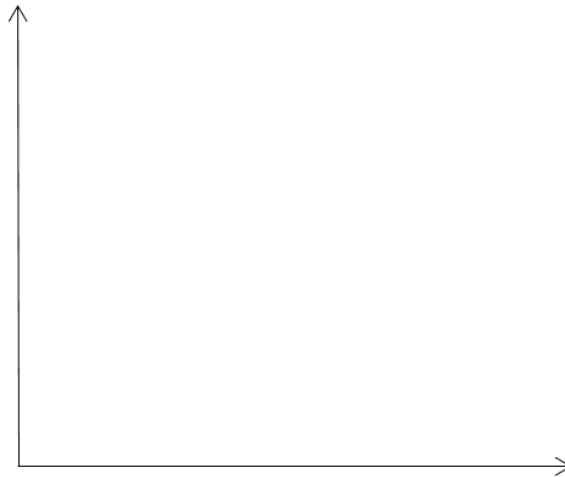
In folgender Abbildung ist ein IPE-Profil dargestellt, das durch ein Moment $M_{y,Ed}$ und eine Querkraft $V_{z,Ed}$ beansprucht ist. Das einwirkende Moment ist kleiner als das elastische Grenzmoment des Profils ($M_{y,Ed} < M_{y,eI,Rd}$).



- Zeichnen Sie den Dehnungsverlauf und den Normalspannungsverlauf über die Querschnittshöhe.
- Zeichnen Sie den Schubspannungsverlauf über die Querschnittshöhe
- Kennzeichnen Sie die maßgebende Faser, an der sie die Vergleichsspannung nach von Mises überprüfen würden. Begründen Sie Ihre Wahl.

Aufgabe 3 (4 Punkte)

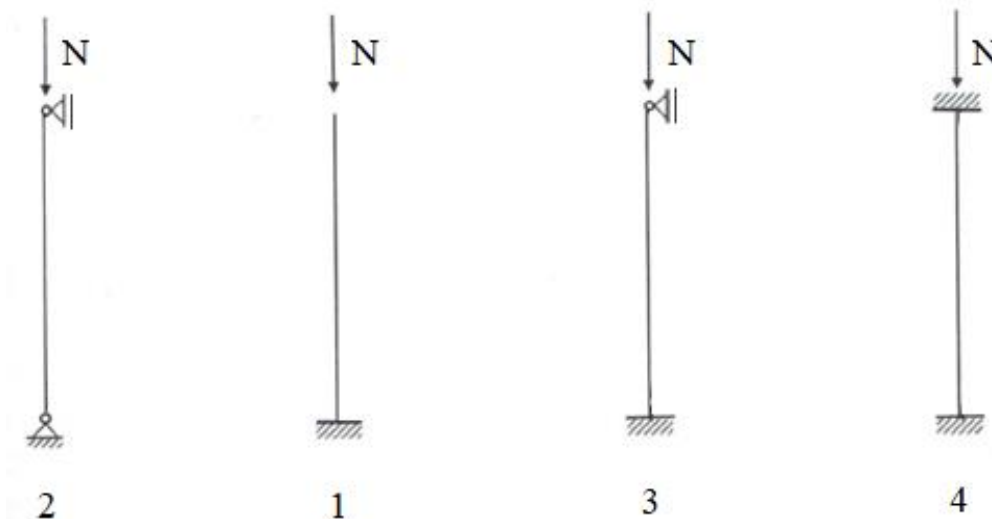
Zeichnen Sie qualitativ wie sich die Kerbschlagarbeit eines S235 in Abhängigkeit der Temperatur verhält. Beschriften Sie die Achsen. Kennzeichnen Sie die Übergangstemperatur T_U sowie die genormte Kerbschlagarbeit von 27J.



Aufgabe 4 (4 Punkte)

Zeichnen Sie in der folgenden Abbildung die Knickfiguren für die 4 Eulerfälle und geben sie die jeweilige Knicklänge L_{cr} für das Ersatzstabverfahren (Biegeknicke) an.

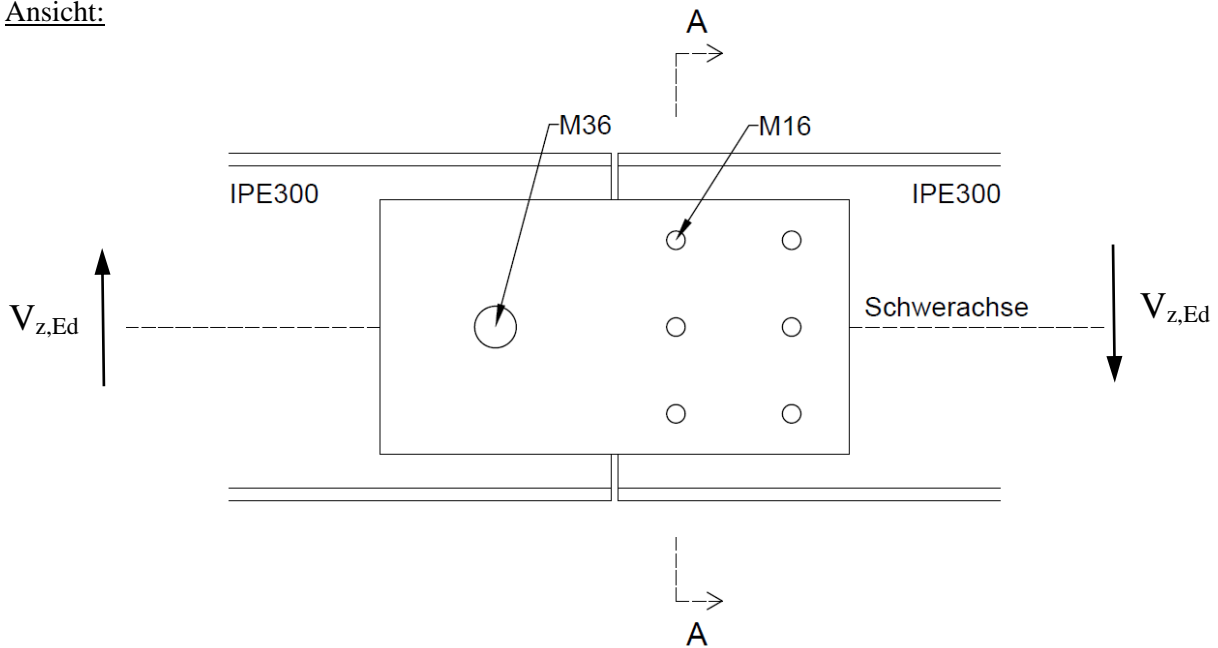
- Welche zentrale Rolle spielt der Eulerfall 2 für das Ersatzstabverfahren?
- Wie groß ist das Moment an der Stelle, an der die Knickfigur einen Wendepunkt aufweist?



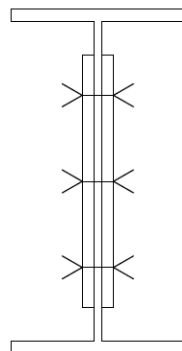
Aufgabe 5 (5 Punkte)

In der folgenden Abbildung ist ein geschraubter Laschenstoß für zwei IPE300 dargestellt.

Ansicht:



Schnitt A-A:



- Welche Schnittgrößen könnte die dargestellte Verbindung übertragen?

Es wirkt nun nur eine Querkraft $V_{z,Ed}$ (s. Ansicht).

- Welche Art von Beanspruchungen ergeben sich für die Schraubengruppe rechts (sechs M16)?
- Warum können die zwei Schrauben, die in der Schwerachse liegen, für eine elastische Bemessung der Schraubengruppe nicht maßgebend sein?
- Sie haben die maßgebende Schraubkraft innerhalb der Schraubengruppe ermittelt. Welche Nachweise führen Sie hiermit?

Aufgabe 6 (13 Punkte)

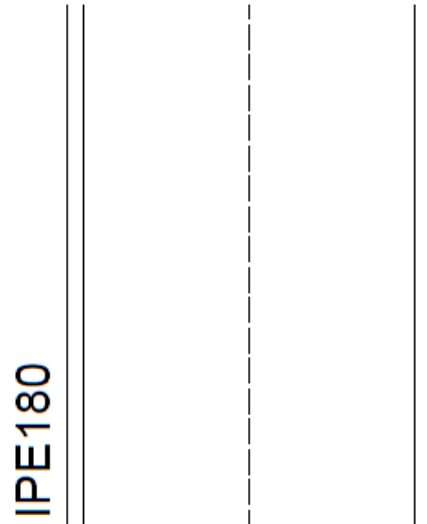
Ein Nebenträger (IPE180) soll gelenkig an einen Hauptträger (IPE300) angeschlossen werden. Die Träger verlaufen orthogonal zueinander, wobei die Oberkanten bündig angeordnet sind. Zu Übertragen ist lediglich eine Querkraft $V_{z,Ed}$.

- Konstruieren Sie einen geeigneten Anschluss. Zeichnen Sie diesen in Anlage 1. Zeichnen Sie zusätzlich den Schnitt B-B.
- Beschriften Sie für jede verwendete Schraube bzw. für jede verwendete Schraubengruppe, ob diese einer Scherbeanspruchung oder einer axialen Beanspruchung ausgesetzt sind.
- Beschriften Sie für verwendete Schweißnähte, welche Spannungen (σ_{\perp} , τ_{\perp} , τ_{\parallel}) bei Ihrem Stoß unter der gegebenen Belastung auftreten.

Hinweise:

- Es ist keine Dimensionierung der Verbindungsmittel gefordert.

Anlage 1



Schnitt B-B:

Prüfung SoSe 2020 Stahlbau I – 2. Teil
Prüfungszeit 50 Minuten

Prof. Dr.-Ing. Marcus Rutner

Institut für Metall- und Verbundbau

Hamburg, den 20. August 2020

Name: _____

Vorname: _____

Matrikelnummer: _____

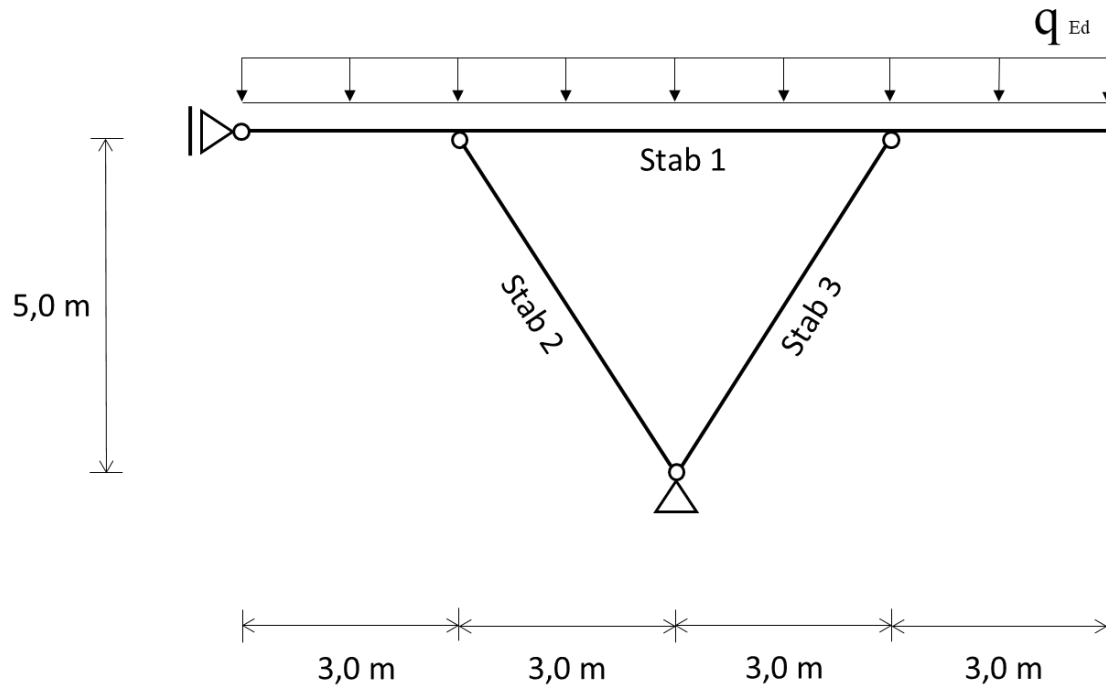
Aufgabe	Maximale Punktzahl	Erreichte Punktzahl
1)	10	
2)	25	
3)	15	
Summe	50	
		Note:

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 (10 Punkte)

Auf das unten dargestellte System wirkt die Streckenlast $q_{Ed}=10 \text{ kN/m}$.



- Ermitteln Sie die Schnittgrößen für das gesamte System und zeichnen Sie die Verläufe.

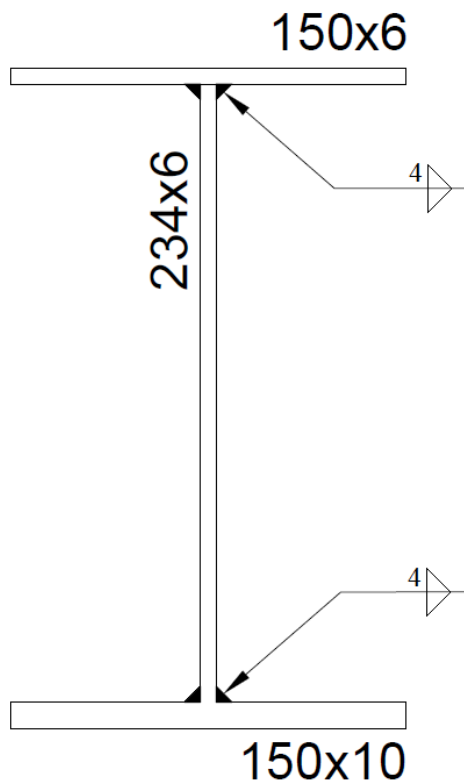
Hinweis:

- Das Eigengewicht der Stäbe soll nicht berücksichtigt werden.

Aufgabe 2 (25 Punkte)

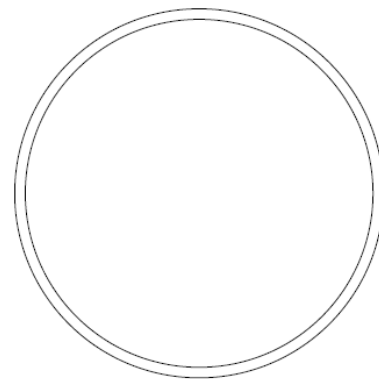
Führen Sie alle erforderlichen Nachweise für die Stäbe des Systems in Aufgabe 1. Für Stab 1 wird ein geschweißtes Profil verwendet. Stab 2 und Stab 3 sind kaltgefertigte Rohre. Die Bemaßung der Profile ist in der folgenden Abbildung in Millimetern angegeben.

Profil des Stabs 1 (S235):



Profil der Stäbe 2 und 3 (S235):

139,7x4



- Führen Sie alle erforderlichen Nachweise für die Stäbe.
- Warum ist es sinnvoll das geschweißte Profil so einzubauen wie hier dargestellt und nicht um 180° gedreht?

Hinweise:

- Für Stab 1 sind keine Stabilitätsversagen zu berücksichtigen.
- Das Rohr 139,7x4 weist eine Querschnittsfläche $A=17,1\text{cm}^2$ und ein Flächenträgheitsmoment $I=393\text{cm}^4$ auf.

Aufgabe 3 (15 Punkte)

Dargestellt ist die Ansicht und der Schnitt eines Rohr-Stoßes, der eine Zugkraft N_{Ed} sowie ein Torsionsmoment $M_{x,Ed}$ übertragen soll.

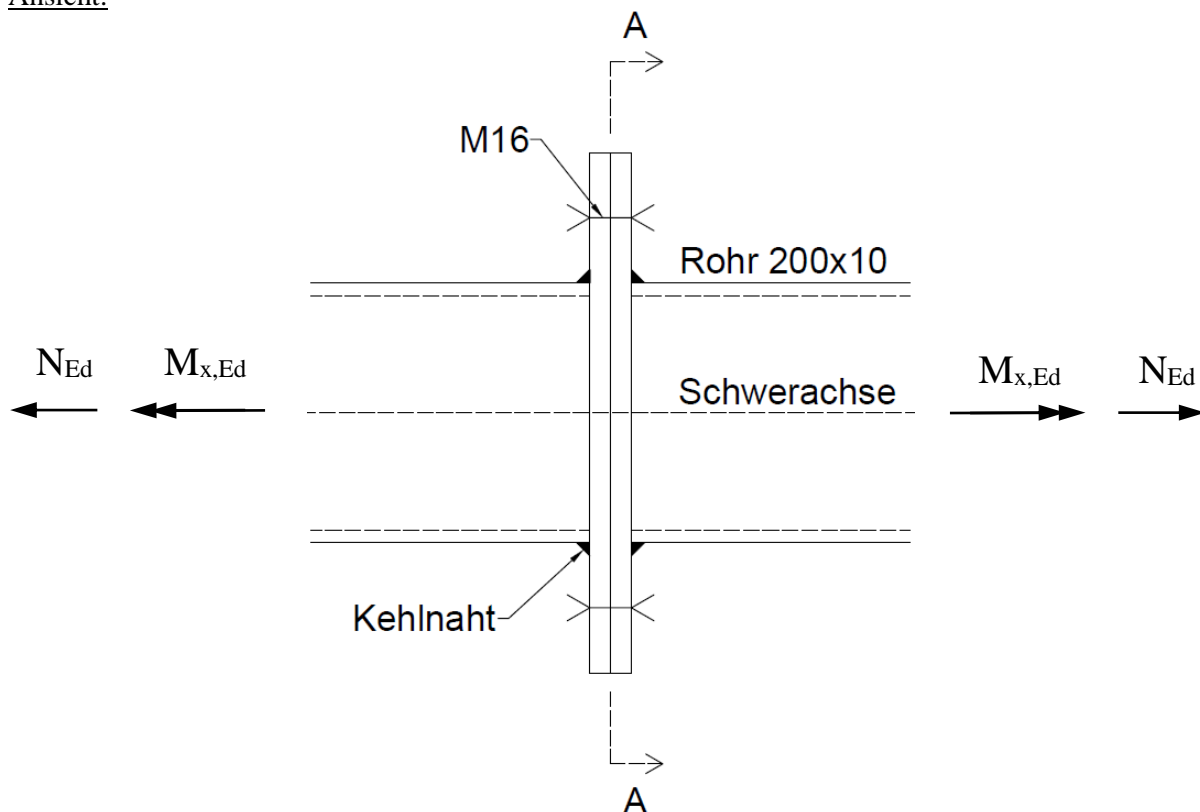
Die kreisförmigen Stirnplatten (Durchmesser = 400mm; Dicke = 16mm) sind jeweils an das entsprechende Rohr (Außendurchmesser 200mm; Wandstärke = 10mm) mit einer umlaufenden Kehlnaht geschweißt. Die Stirnplatten sind mit sechs M16 verschraubt. Jede der Schrauben weist einen radialen Abstand von 150mm zur Schwerachse der Rohre auf. Die Stirnplatten selbst können als biegestarr angenommen werden. Rohre und Stirnplatten sind aus S235.

- Benennen Sie welche Spannungen in den umlaufenden Kehlnähten a) infolge der Zugkraft N_{Ed} und b) infolge des Torsionsmoments $M_{x,Ed}$ auftreten. Es ist keine Berechnung erforderlich.
- Bemessen Sie die geschraubte Verbindung. Führen Sie hierfür alle erforderlichen Nachweise.

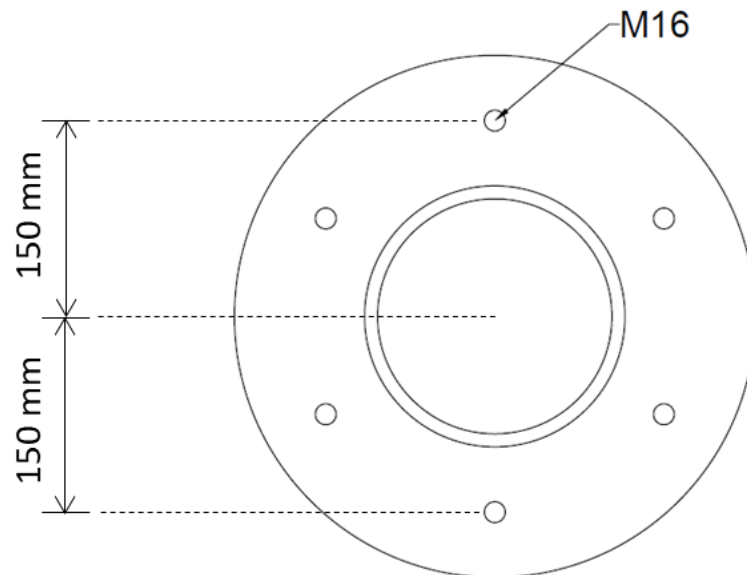
$$M_{x,Ed} = 5 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 60 \text{ kN}$$

Ansicht:



Schnitt A-A:



Äußerer Rohrdurchmesser = 200 mm

Stirnplattendurchmesser = 400 mm

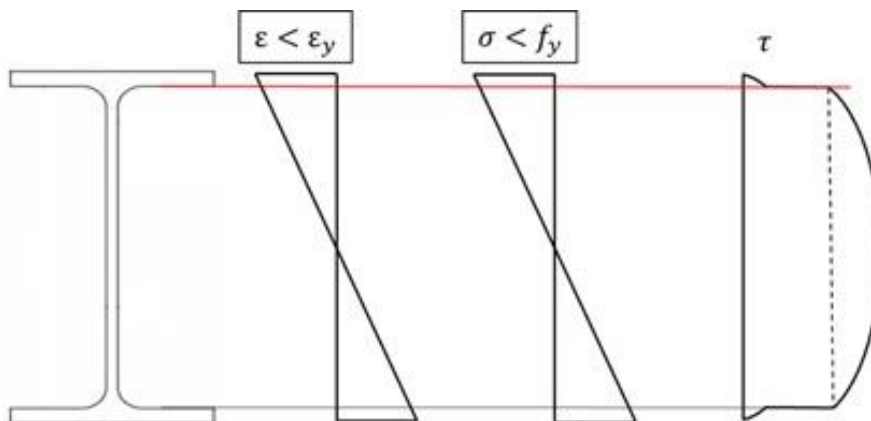
MUSTERLÖSUNG – 1. Teil

Aufgabe 1

Tabelle 1:

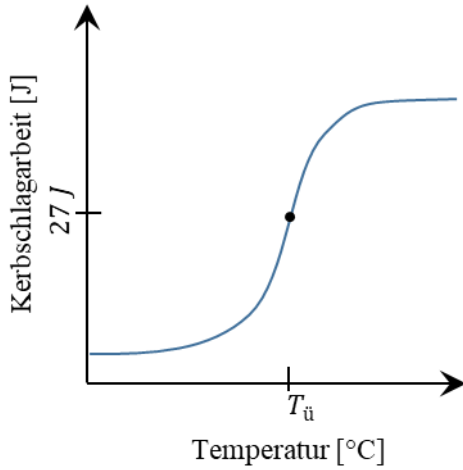
Aussage	Wahr	Falsch
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input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

Aufgabe 2

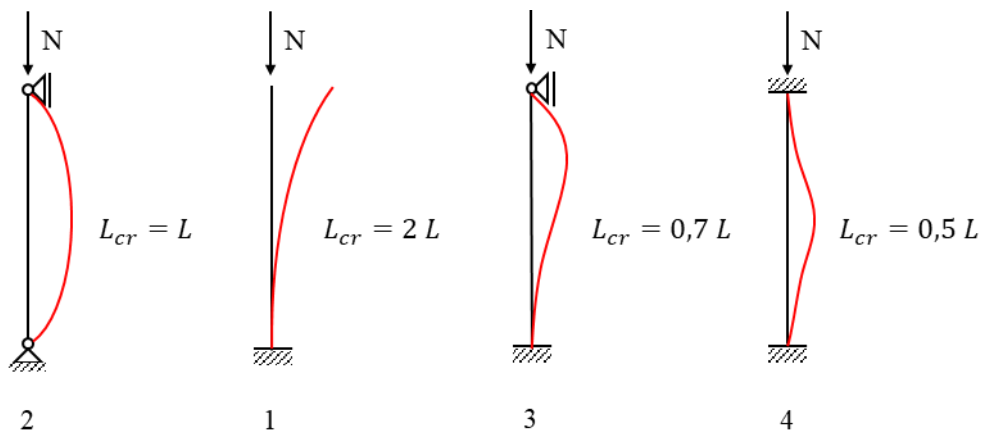


Maßgebende Faser für Vergleichsspannung nach von Mises (rot), aufgrund hoher Normalspannung und hoher Schubspannung.

Aufgabe 3



Aufgabe 4



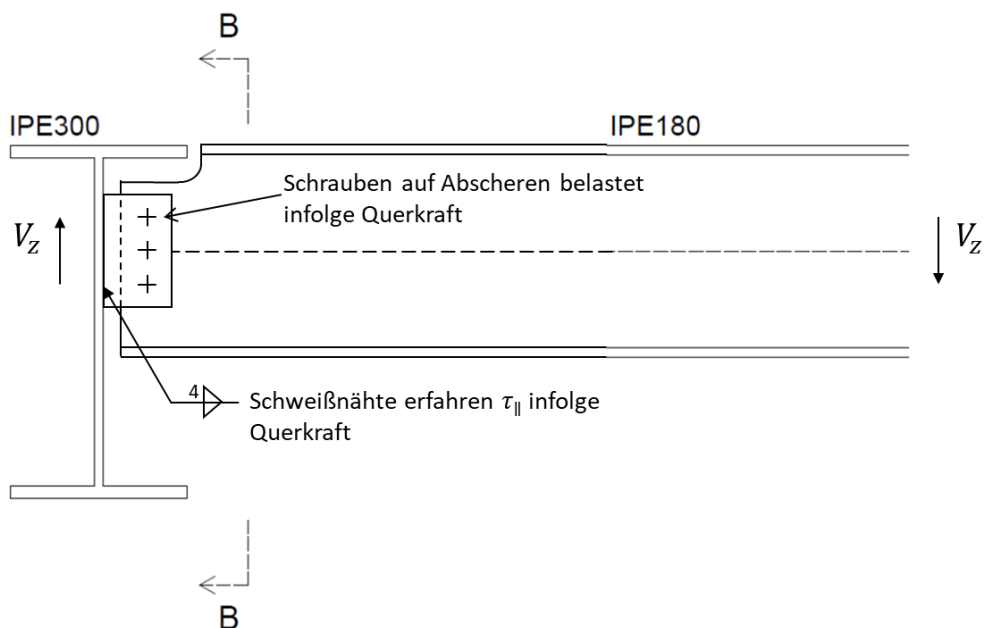
Bem. zur Zeichnung: Verdrehungen an den Einspannstellen = 0.

- Beim Ersatzstabverfahren wird mit Hilfe der Knicklänge L_{cr} jeglicher Druckstab auf den Eulerfall 2 übertragen.
- $-EI \cdot w'' = M \Rightarrow M = 0$ am Wendepunkt der Biegelinie.

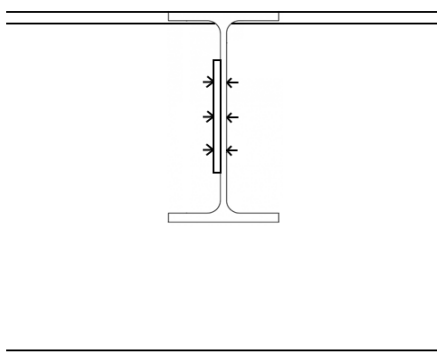
Aufgabe 5

- Die dargestellte Verbindung könnte eine Querkraft und eine Normalkraft übertragen, jedoch kein Moment.
- Die Schraubengruppe wird durch eine Querkraft und ein Versatzmoment beansprucht.
- Die zwei Schrauben in der Schwerachse haben einen geringeren Hebelarm zum Schwerpunkt der Schraubengruppe und erhalten daher eine geringere Scherkraft infolge des Versatzmoments als weiter entfernte Schrauben.
- Es sind Nachweise auf Abscheren und Lochleibung zu führen.

Aufgabe 6

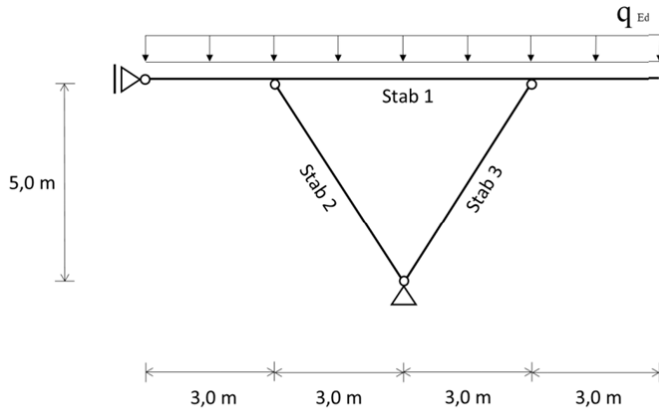


Schnitt B-B:



MUSTERLÖSUNG – 2. Teil

Aufgabe 1

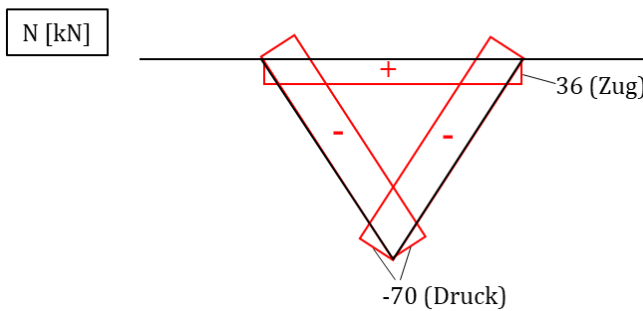
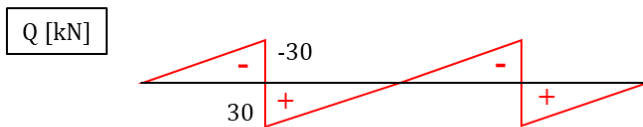
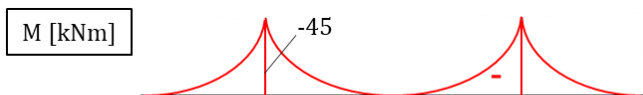
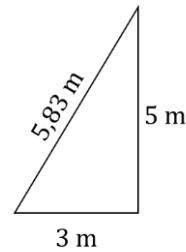


$$10 \frac{kN}{m} \cdot 3 m \cdot \frac{3 m}{2} = -45 kNm$$

$$10 \frac{kN}{m} \cdot \frac{(6m)^2}{8} = 45 kNm$$

$$\frac{10 \frac{kN}{m} \cdot 12m}{2} = 60 kN$$

$$L_{Stab\ 2,3} = \sqrt{(3 m)^2 + (5 m)^2} = 5,83 m$$



$$N_{Stab\ 2,3} = 60 kN \cdot \frac{5,83 m}{5 m} = 70 kN$$

$$N_{Stab\ 1} = 70 kN \cdot \frac{3 m}{5,83 m} = 36 kN$$

Aufgabe 2

- Ermittlung der Querschnittsklasse:

$$A = 15 \text{ cm} \cdot 0,6 \text{ cm} + 23,4 \text{ cm} \cdot 0,6 \text{ cm} + 15 \text{ cm} \cdot 1,0 \text{ cm} = 38,04 \text{ cm}^2$$

$$\text{Flansch: } \frac{c}{t} = \frac{150 \text{ mm} - 6 \text{ mm} - 8 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 6,8 \leq 9 \cdot \varepsilon \Rightarrow \text{QK 1}$$

$$\text{Steg: } \frac{c}{t} = \frac{234 \text{ mm} - 8 \text{ mm}}{6 \text{ mm}} = 37,7 \leq 72 \cdot \varepsilon \Rightarrow \text{QK 1}$$

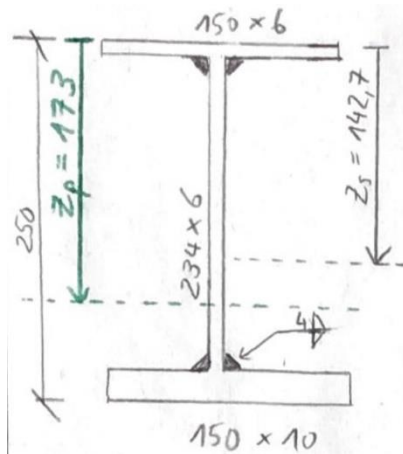
⇒ Gesamter Querschnitt ist QK 1. $M_{pl,Rd}$ darf als Widerstand angesetzt werden.

- Ermittlung der plastischen Nulllinie (Flächenhalbierende, weil einheitliche Streckgrenze):

$$150 \text{ mm} \cdot 6 \text{ mm} + (z - 6 \text{ mm}) \cdot 6 \text{ mm} = 150 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm} + (240 \text{ mm} - z) \cdot 6 \text{ mm}$$

$$\Leftrightarrow 900 \text{ mm}^2 + 6 \text{ mm} \cdot z - 36 \text{ mm}^2 = 1500 \text{ mm}^2 + 1440 \text{ mm}^2 - 6 \text{ mm} \cdot z$$

$$\Leftrightarrow z = \frac{2076 \text{ mm}^2}{12 \text{ mm}} = 173 \text{ mm}$$



- Ermittlung des plastischen Grenzmoments $M_{pl,Rd}$:

$$M_{pl,Rd} = f_y \cdot (A_i \cdot z_{p,i}) = 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot (15 \text{ cm} \cdot 0,6 \text{ cm} \cdot (17,3 \text{ cm} - 0,3 \text{ cm})$$

$$+ 16,7 \text{ cm} \cdot 0,6 \text{ cm} \cdot \frac{16,7 \text{ cm}}{2} + 6,7 \text{ cm} \cdot 0,6 \text{ cm} \cdot \frac{6,7 \text{ cm}}{2}$$

$$+ 15 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} \cdot (0,5 \text{ cm} + 6,7 \text{ cm})$$

$$= 8416 \text{ kNcm} \cong 84 \text{ kNm}$$

- Nachweise Stab 1:

$$N_{pl,Rd} = f_y \cdot \frac{A}{\gamma_{m_0}} = 23,5 \frac{kN}{cm^2} \cdot 38 cm^2 = 893 kN$$

$$\text{Nachweis: } \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{36 kN}{893 kN} = 0,04 \left\{ \begin{array}{l} \leq 1,0 \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt} \\ \leq 0,25 \Rightarrow \text{keine Interaktion zu berücksichtigen} \end{array} \right.$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3}} = \frac{0,6 cm \cdot 23,4 cm \cdot 23,5 \frac{kN}{cm^2}}{\sqrt{3}} = 190,5 kN$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{23,4}{0,6} = 39 \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1,0}{1,2} = 60 \rightarrow \text{Schubbeulen ausgeschlossen}$$

$$\text{Nachweis: } \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{30 kN}{190,5 kN} = 0,16 \left\{ \begin{array}{l} \leq 1,0 \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt} \\ \leq 0,5 \Rightarrow \text{keine Interaktion zu berücksichtigen} \end{array} \right.$$

$$\text{Nachweis: } \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{-45 kNm}{-84 kNm} = 0,53 \leq 1,0 \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

- Nachweis Stützen:

$$L_{cr} = L = 5,83 m$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(L_{cr})^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \frac{kN}{cm^2} \cdot 393 cm^4}{(583 cm)^2} = 240 kN$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{17,1 cm^2 \cdot 23,5 \frac{kN}{cm^2}}{239 kN}} = 1,3$$

Aus [Tafel 8.25](#) (Knicken um z – z – Achse für kaltgeformtes Profil): *KSL c*)

Aus [Tafel 8.26](#) ablesen:

$$\Rightarrow \chi = 0,39$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,39 \cdot \frac{17,1 cm^2 \cdot 23,5 \frac{kN}{cm^2}}{1,1} = 142 kN$$

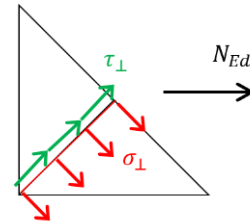
$$\text{Nachweis Biegeknicken: } \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{70 kN}{142 kN} = 0,5 \leq 1,0 \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

- Es ist sinnvoll den geschweißten Träger mit dem dicken Flansch unten einzubauen, weil nur negative Momente wirken (Stichwort Beulen).

Aufgabe 3

Die Normalkraft N_{Ed} ruft in den Kehlnähten die Spannung σ_{\perp} und τ_{\perp} in gleichen Anteilen hervor.

Das Torsionsmoment ruft die Spannung τ_{\parallel} (tangentielle Beanspruchung) in der Kehlnaht hervor.



- Axiale Beanspruchung der Schraube infolge N_{Ed} :

Nachweis Zugversagen:

$$F_{t,Ed} = \frac{60 \text{ kN}}{6} = 10 \text{ kN} \rightarrow \text{wähle SFK 4.6 für M16}$$

Aus [Tafel 8.51a](#):

$$F_{t,Rd} = 31,7 \text{ kN} \geq N_{Ed} \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

Nachweis Druckstanzen:

$$\text{Aus [Tafel 8.51b](#): } B_{p,Rd/10\text{mm}} = 136,2 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 1,6 \text{ cm} \cdot 136,2 \text{ kN} = 218 \text{ kN} \geq N_{Ed} \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$

- Scherbeanspruchung der Schraube infolge $M_{t,Ed}$:

Nachweis Abscheren:

$$F_{v,Ed} = \frac{5 \text{ kNm}}{0,15 \text{ m} \cdot 6 \text{ Schrauben}} = 5,6 \text{ kN}$$

$$\text{Aus [Tafel 8.50c](#): } F_{v,Rd} = 38,6 \text{ kN} \geq 5,6 \text{ kN} = F_{v,Ed}$$

Nachweis der Lochleibung:

$$e_1 = e_2 = 50 \text{ mm (sichere Seite)}$$

Bem.: Lochabstände p können hier nicht maßgebend sein.

Nach [Tafel 8.52a](#):

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{50 \text{ mm}}{3 \cdot 16 \text{ mm}} = 1,04 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{36 \text{ kN/cm}^2}{40 \text{ kN/cm}^2} \\ 1,0 \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow \alpha_b = 1,0$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = \frac{2,8 \cdot 50 \text{ mm}}{16 \text{ mm}} - 1,7 = 7,05 \right.$$

$$\Rightarrow k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 1,6 \text{ cm} \cdot 1,6 \text{ cm}}{1,25} = 184 \text{ kN} \geq F_{v,Ed}$$

- Kombination axialer Beanspruchung und Scherbeanspruchung der Schraube:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{5,6 \text{ kN}}{38,6 \text{ kN}} + \frac{10 \text{ kN}}{1,4 \cdot 31,7 \text{ kN}} = 0,37 \leq 1,0 \Rightarrow \text{Nachweis erfüllt.}$$