

Prüfung WiSe 24/25 Stahlbau II - Musterlösung

Prüfungszeit 90 Minuten

Prof. Dr.-Ing. habil. Marcus Rutner

Institut für Metall- und Verbundbau

Hamburg, den 10. März 2025

Name: _____

Vorname: _____

Matrikelnummer: _____

Berechnungsnorm: **DIN EN 1993**

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

Bearbeitungshinweise:

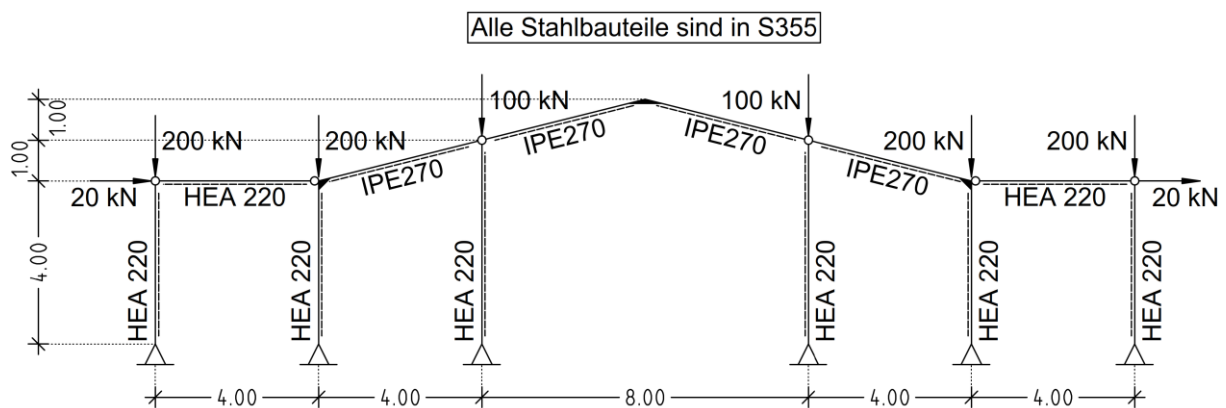
- Alle Blätter sind mit Namen und Matrikelnummer zu versehen.
- Es dürfen keine grünen Farbstifte verwendet werden.
- Lösungen sind so darzustellen, dass der Lösungsweg lückenlos nachvollziehbar ist.
- Hilfsmittel sind zugelassen, jedoch keine elektronischen Geräte außer dem Taschenrechner.
- Das Mitführen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

Aufgabe 1 (45 Punkte)

Gegeben ist das unten dargestellte System. Alle Informationen zur Geometrie, Belastung und Querschnitten sind der Skizze zu entnehmen. Die angegebenen Horizontalkräfte enthalten schon den Einfluss aus einer Anfangsschiefstellung der Stützen.

Folgende Aufgabenpunkte sind zu bearbeiten:

- Berechnen Sie die Schnittgrößen nach der Theorie II. Ordnung.
- Überprüfen Sie die Querschnittstragfähigkeit an den möglichen maßgebenden Stellen.



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.

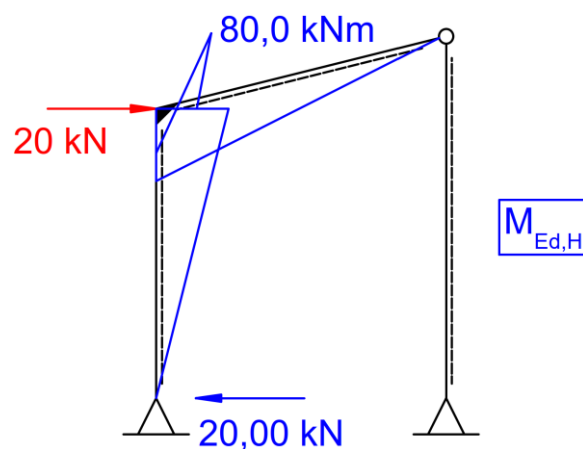
Aufgabe 1 (45 Punkte)

- a) **Hinweis:** Hierfür kann das Gesamtsystem wie folgt vereinfacht werden.

Lastfall 1: M_{Ed} unter H - Teilsystem

$$H_A = H_{Ed} = 20,0 \text{ kN}$$

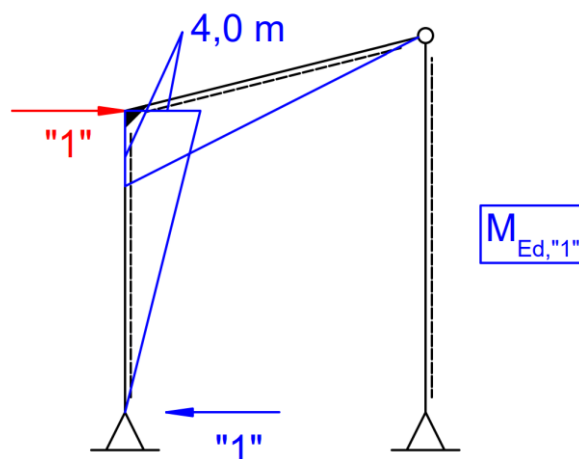
$$M_{Ed,Eckmoment}^I = 4 \text{ m} * 20,0 \text{ kN} = 80,0 \text{ kNm}$$



Lastfall 2: M_{Ed} unter „1“ - Teilsystem

$$H_A = H_{Ed} = 1,0$$

$$M_{Ed,Eckmoment}^I = 4 \text{ m} * 1,0 = 4,0 \text{ m}$$



Die Länge des Riegels errechnet sich zu:

$$l_{\text{Riegel}} = \sqrt{(4,0 \text{ m})^2 + (1,0 \text{ m})^2} = 4,123 \text{ m}$$

Horizontale Auslenkung Δf wird durch die Überlagerung der Momentverläufe aus der H-Last und der „1“ virtuellen Last ermittelt.

$$EI_{\text{Riegel, IPE270}} = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 5790 \text{ cm}^4 * 10^{-4} = 12159 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{\text{Stütze, HEA220}} = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 5410 \text{ cm}^4 * 10^{-4} = 11361 \text{ kNm}^2$$

$$\begin{aligned} f^I &= \frac{1}{EI_S} * \frac{1}{3} * 80,0 \text{ kNm} * 4,0 * 4 \text{ m} + \frac{1}{EI_R} * \frac{1}{3} * 80,0 \text{ kNm} * 4 * 4,123 \text{ m} \\ &= 0,074 \text{ m} \end{aligned}$$

Horizontale Auslenkung Δf nach Theorie I. Ordnung – am halben System:

$$\Delta H = 2 * 200,0 \text{ kN} * \frac{f^I}{4,0 \text{ m}} + 100,0 \text{ kN} * \frac{f^I}{5,0 \text{ m}} = 120 * f^I$$

$$\Delta H = 120 * f^I = 120 * 0,074 \text{ m} = 8,9 \text{ kN} \approx 9,0 \text{ kN}$$

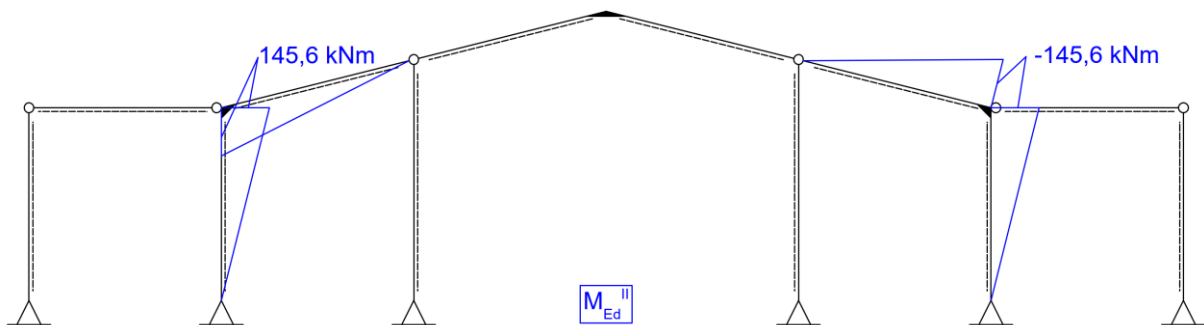
Mit dem Verhältnis von ΔH zu H kann der Vergrößerungsfaktor ermittelt werden.

$$\alpha = \frac{1}{1 - q} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta H}{H}} = \frac{1}{1 - \frac{9,0 \text{ kN}}{20,0 \text{ kN}}} = 1,82 \text{ (ca. +82\%)}$$

M_{Ed} nach Th. II.Ord

$$M_{Ed,Eckmoment}^{II} = M_{Ed,Eckmoment}^I * \alpha = 80 \text{ kNm} * 1,82 = \mathbf{145,6 \text{ kNm}}$$

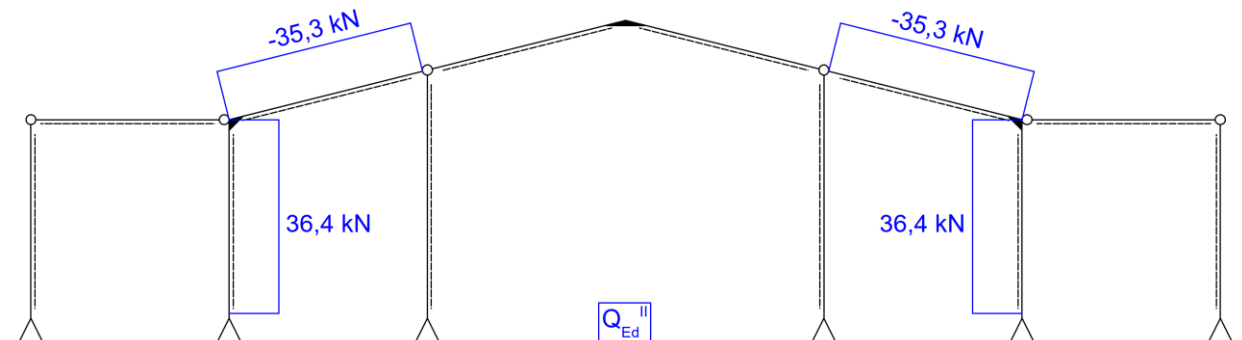
Hinweis: Die Schnittgrößen können auch durch Multiplikation des M-Verlaufs aus der H-Last nach Th. I.Ord. mit dem Vergrößerungsfaktor berechnet werden.



Q_{Ed} nach Th. II.Ord

$$Q_{Ed}^{II} = \frac{M_{Ed,Eckmoment}^{II}}{h_{Stütze}} = \frac{145,6 \text{ kNm}}{4,0 \text{ m}} = \mathbf{36,4 \text{ kN}}$$

$$Q_{Ed}^{II} = \frac{M_{Ed,Eckmoment}^{II}}{l_{Riegel}} = \frac{145,6 \text{ kNm}}{4,123 \text{ m}} = \mathbf{35,3 \text{ kN}}$$



N_{Ed} nach Th. II.Ord

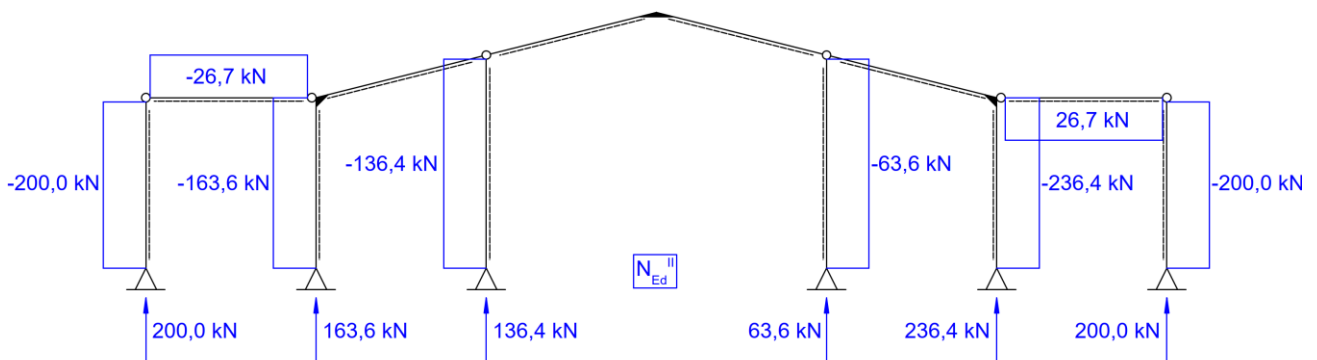
$$N_{Ed}^{II} = -20,0 \text{ kN} - 200,0 \text{ kN} \cdot \frac{0,074 \text{ m}}{4,0 \text{ m}} \cdot 1,82 = -26,7 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}^{II} = -200,0 \text{ kN} + \frac{145,6 \text{ kNm}}{4,0 \text{ m}} = -163,6 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}^{II} = -200,0 \text{ kN} - \frac{145,6 \text{ kNm}}{4,0 \text{ m}} = -236,4 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}^{II} = -100,0 \text{ kN} - \frac{145,6 \text{ kNm}}{4,0 \text{ m}} = -136,4 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}^{II} = -100,0 \text{ kN} + \frac{145,6 \text{ kNm}}{4,0 \text{ m}} = -63,6 \text{ kN}$$



- b) 1. Die maßgebende Stelle ist in der rechten Rahmenecke im Anschnitt der Stütze (HEA 220).

$$M_{Ed}^{II} = -145,6 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed}^I = 236,4 \text{ kN}$$

$$Q_{Ed}^I = 36,4 \text{ kN}$$

$$\sigma_{Ed} = \frac{N_{Ed}^{II}}{A} + \frac{M_{Ed}^{II}}{W_{y,el}} = \frac{236,4 \text{ kN}}{64,3 \text{ cm}^2} + \frac{145,6 \text{ kNm}}{515,2 \text{ cm}^3} = 32,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < f_y = 35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{Ed} = 1,5 * \frac{Q_{Ed}^{II}}{A_v} = 1,5 * \frac{36,4 \text{ kN}}{40,9 \text{ cm}^2} = 1,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 20,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Keine Interaktion notwendig!

2. Eine maßgebende Stelle ist in der rechten Rahmenecke im Anschnitt des Riegels (IPE 270).

$$M_{Ed}^{II} = -145,6 \text{ kNm}$$

$$Q_{Ed}^I = 36,4 \text{ kN}$$

$$\sigma_{Ed} = \frac{M_{Ed}^{II}}{W_{y,el}} = \frac{145,6 \text{ kNm}}{428,9 \text{ cm}^3} = 34,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < f_y = 35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{Ed} = 1,5 * \frac{Q_{Ed}^{II}}{A_v} = 1,5 * \frac{36,4 \text{ kN}}{22,8 \text{ cm}^2} = 2,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 20,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Keine Interaktion notwendig!

Aufgabe 2 (45 Punkte)

Für den unten dargestellten Anschluss sind die nachfolgenden Punkte zu bearbeiten.

- a) Führen Sie alle erforderlichen Nachweise der Schraubenverbindung.

Hinweis: Der Anschluss der unteren HEA 340 Stütze ist aufgrund der strengeren Randbedingungen maßgebend. Zudem ist ein Nachweis des Blockversagens der Schraubengruppe und ein Nachweis des Nettoquerschnitts zu führen.

Abscheren der Schrauben (M24 10.9):

$$F_{v,Ed} = \frac{1500 \text{ kN}}{12 \text{ Schrauben}} = \mathbf{125 \text{ kN je Schraube}} \leq \mathbf{217 \text{ kN}} = F_{v,Rd}$$

Lochleibung am Flansch HEA 340 ($t_f = 1,65 \text{ cm}$):

$$F_{v,Ed} = \frac{1500 \text{ kN}}{12 \text{ Scherfugen}} = \mathbf{125 \text{ kN je Scherfuge}}$$

$$F_{b,Rd} = 1,361 * 156 \text{ kN} * \frac{16,5 \text{ mm}}{10,0 \text{ mm}} = \mathbf{350,3 \text{ kN}} \geq F_{v,Ed} = \mathbf{125 \text{ kN}}$$

Blockversagen am Flansch HEA 340 ($t_f = 1,65 \text{ cm}$):

$$N_{Ed} = \frac{1500 \text{ kN}}{2 \text{ Flansche}} = \mathbf{750 \text{ kN je Flansch}}$$

$$A_{nt} = [l_h - (n_h - 1,0) * d_0] * t$$

$$A_{nt} = [17 \text{ cm} - (3 - 1,0) * 2,6 \text{ cm}] * 1,65 \text{ cm} = \mathbf{19,4 \text{ cm}^2}$$

$$A_{nv} = [l_v - (n_v - 0,5) * d_0] * t$$

$$A_{nv} = 2 * [23,5 \text{ cm} - (2 - 0,5) * 2,6 \text{ cm}] * 1,65 \text{ cm} = \mathbf{64,6 \text{ cm}^2}$$

$$V_{eff,1Rd} = \frac{f_u * A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y * A_{nv}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{49 * 19,4}{1,25} + \frac{35,5 * 64,6}{\sqrt{3} * 1,00} = \mathbf{2084,5 \text{ kN}}$$

Nachweis Nettoquerschnitt am Flansch HEA 340 ($t_f = 1,65 \text{ cm}$):

$$A_{netto} = (30 \text{ cm} - 2 * 2,6 \text{ cm}) * 1,65 \text{ cm} = \mathbf{40,9 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_{netto}} = \frac{750 \text{ kN}}{40,9 \text{ cm}^2} = \mathbf{18,4 \text{ kN/cm}^2}$$

- b) Bestimmen Sie die erforderliche Schweißnahtdicke zwischen der Kopfplatte (Blech A) und den Anschlusslaschen (Bleche B) und überprüfen Sie die konstruktiven Bedingungen hinsichtlich Schweißnahtdicke und Schweißnahtlänge.

$$a_{w,\min} = \sqrt{t_{\max}} - 0,5 = \sqrt{40 \text{ mm}} - 0,5 = \mathbf{6 \text{ mm}} \leq \text{gew. } a_w = \mathbf{6 \text{ mm}}$$

$$\text{gew. } l_w = \mathbf{60 \text{ cm}} \leq l_{w,\max} = 150 * a_w = 150 * 0,6 \text{ cm} = \mathbf{90 \text{ cm}}$$

$$F_{v,Ed||} = \frac{2 * 1500 \text{ kN}}{4 \text{ Schweißnähte}} = \mathbf{750 \text{ kN je Schweißnaht}}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{F_{v,Ed||}}{a_w * l_w} = \frac{750 \text{ kN}}{0,6 \text{ cm} * 60 \text{ cm}} = \mathbf{20,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}$$

$$\tau_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{49 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3} * 0,9 * 1,25} = \mathbf{25,1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}$$

$$\text{gew. } a_w = \mathbf{6 \text{ mm}}$$

$$\text{gew. } l_w = \mathbf{60 \text{ cm}}$$

- c) Berechnen Sie die Normalkraft N_{Ed} im HEM 500 Träger und führen Sie einen Querschnittsnachweis.

$$N_{Ed} = \frac{1500 \text{ kN}}{\sin(10^\circ)} = \mathbf{8638,2 \text{ kN}}$$

$$N_{Ed} = \frac{1500 \text{ kN}}{\tan(10^\circ)} = \mathbf{8506,9 \text{ kN}}$$

$$V_{Ed} = \mathbf{1500 \text{ kN}}$$

$$\sigma_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{8506,9 \text{ kN}}{344 \text{ cm}^2} = \mathbf{24,7 \text{ kN/cm}^2}$$

$$\tau_{Ed} = 1,5 * \frac{V_{Ed}}{A_v} = 1,5 * \frac{1500 \text{ kN}}{244,8 \text{ cm}^2} = \mathbf{9,2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}$$

$$\sigma_{v,Ed} = \sqrt{\sigma_{Ed}^2 + 3 * \tau_{Ed}^2} = \sqrt{\left(24,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}\right)^2 + 3 * \left(9,2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}\right)^2}$$

$$\sigma_{v,Ed} = \mathbf{29,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} < f_y = \mathbf{35,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}$$

- d) Führen Sie die Nachweise für die Schweißnähte zwischen Kopfplatte (Blech A) und dem HEM 500 Träger.

Hinweis: Hierfür werden die Schnittgrößen im Anschnitt an der Kopfplatte (Blech A) berechnet.

Schweißnaht am Flansch - HEM 500:

$$N_{Ed} = \frac{1500 \text{ kN}}{\tan(10^\circ)} = 8506,9 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1500 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed\perp} = \frac{8507 \text{ kN}}{2 \text{ Flansche}} = 4254 \text{ kN je Flansch}$$

$$\begin{aligned} \text{Annahme : } l_w &= b + b - t_w - 2 * r + 2 * t_f = 30 + 30 - 2,1 - 2 * 2,7 + 2 * 4 \\ &= 60 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_{t,Ed\perp}}{\sqrt{2} * a_w * l_w} = \frac{4254 \text{ kN}}{\sqrt{2} * 2 \text{ cm} * 60 \text{ cm}} = 24,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2)}$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\left(24,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}\right)^2 + 3 * \left(24,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}\right)^2} = 49,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{w,Rd} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{49 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{0,9 * 1,25} = 43,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \sigma_{w,Ed} = 49,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} !$$

$$\sigma_{\perp} = 24,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 49 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 35,2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

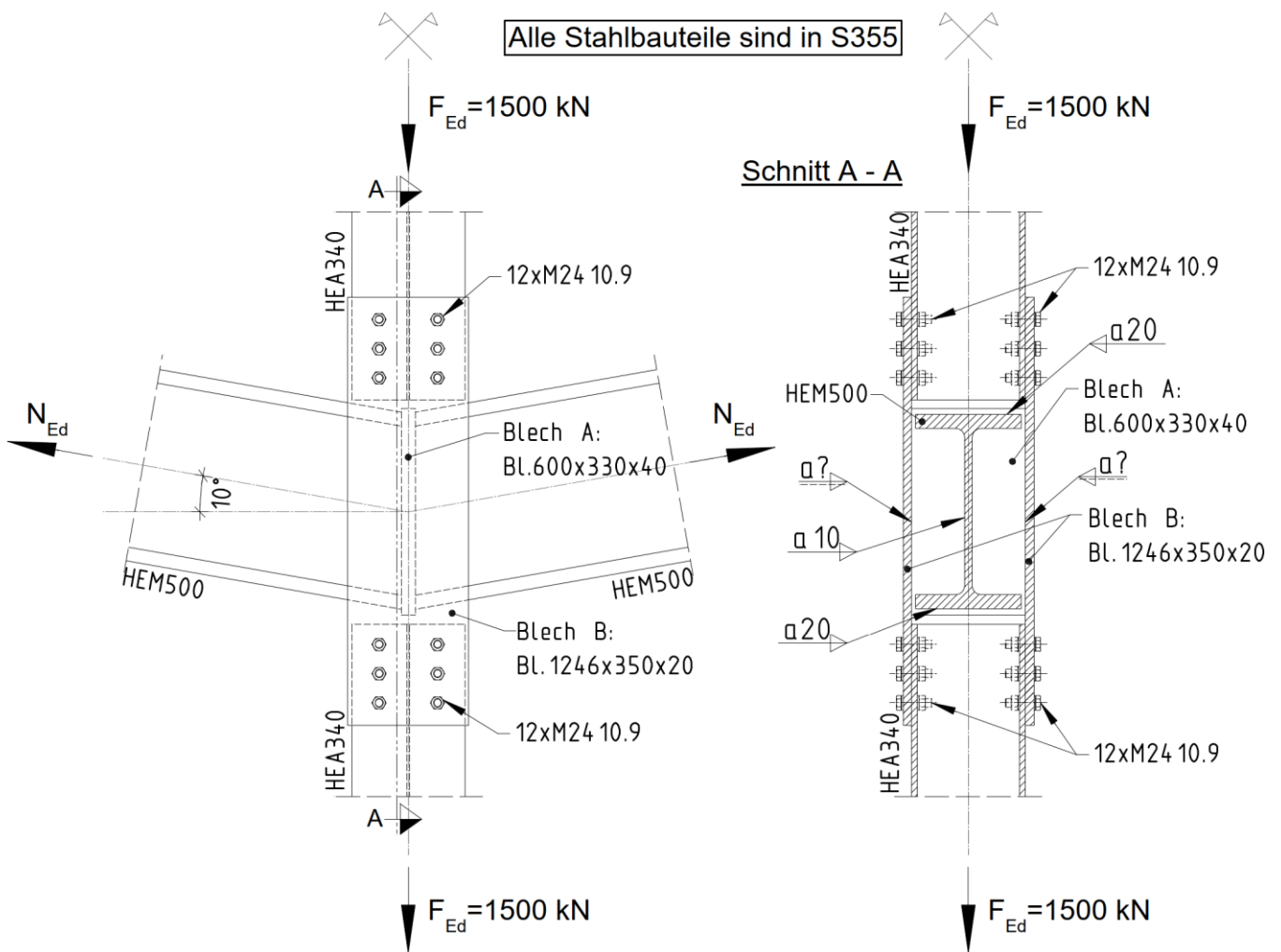
Schweißnaht am Steg - HEM 500:

$$\tau_{\parallel,Ed} = \frac{F_{v,Ed\parallel}}{a_w * l_w} = \frac{1500 \text{ kN}}{2 * 1,0 * 39 \text{ cm}} = 19,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

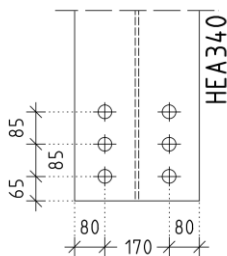
$$\tau_{\parallel,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{49 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3} * 0,9 * 1,25} = 25,1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \geq \tau_{\parallel,Ed} = 19,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Hinweise:

- Bei den gegebenen Lastwerten handelt es sich um Bemessungswerte.
- Die Scherfuge liegt im Schaft der Schrauben.
- Die Lochabstände an den oberen und unteren HEA 340 Stützen sind identisch.
- Die Lochabstände beider Anschlusslaschen (Bl.1246x350x20) sind identisch.
- Nicht gegebene Größen sind, soweit für die Berechnung erforderlich, sinnvoll zu wählen.



Lochabstände HEA340:



Lochabstände Anschlusslaschen:

