

DIPLOM-HAUPTPRÜFUNG

**Dünnwandige Tragwerke und
plastische Bemessung**

05. September 2003

Name:

Aufgabe:	1	2	3	4	5	6
Erreichte Punktzahl:						

Abgegebene Blätter:	
---------------------	--

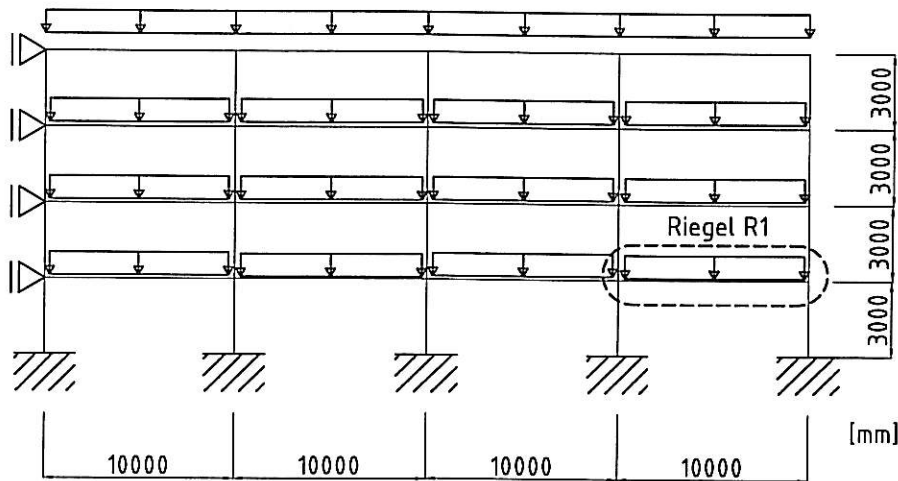
sh

Aufgabe 1

35 min

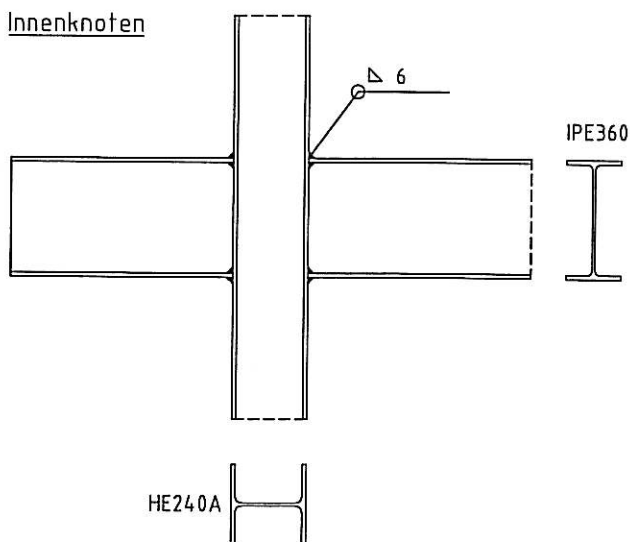
Die Knoten der unten dargestellten unverschieblichen Rahmenkonstruktion sind steifenlos ausgeführt. Alle Innenknoten (vgl. Detail) und alle Randknoten (vgl. Detail) sind gleich.

Bestimmen Sie für den Lastfall „Vollast“ den Bemessungswert der Traglast q_d für den Riegel R1 des Randfeldes.

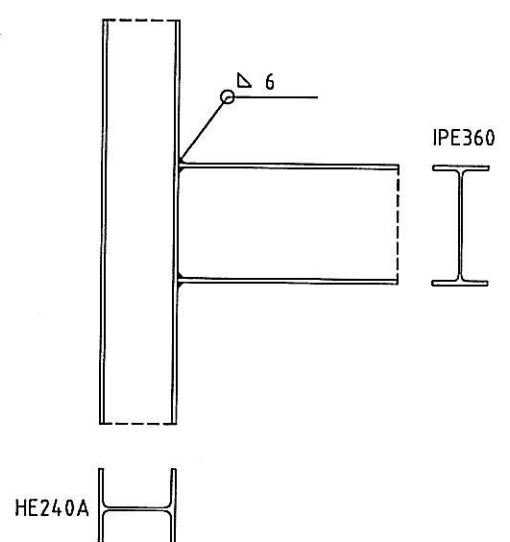


Statisches System

Innenknoten



Randknoten



Detailzeichnung Innenknoten

Material: S235JRG2

Schweißnaht: $a=6$ mm gemäß Detailzeichnung

Riegel: IPE360

Stütze: HE240A

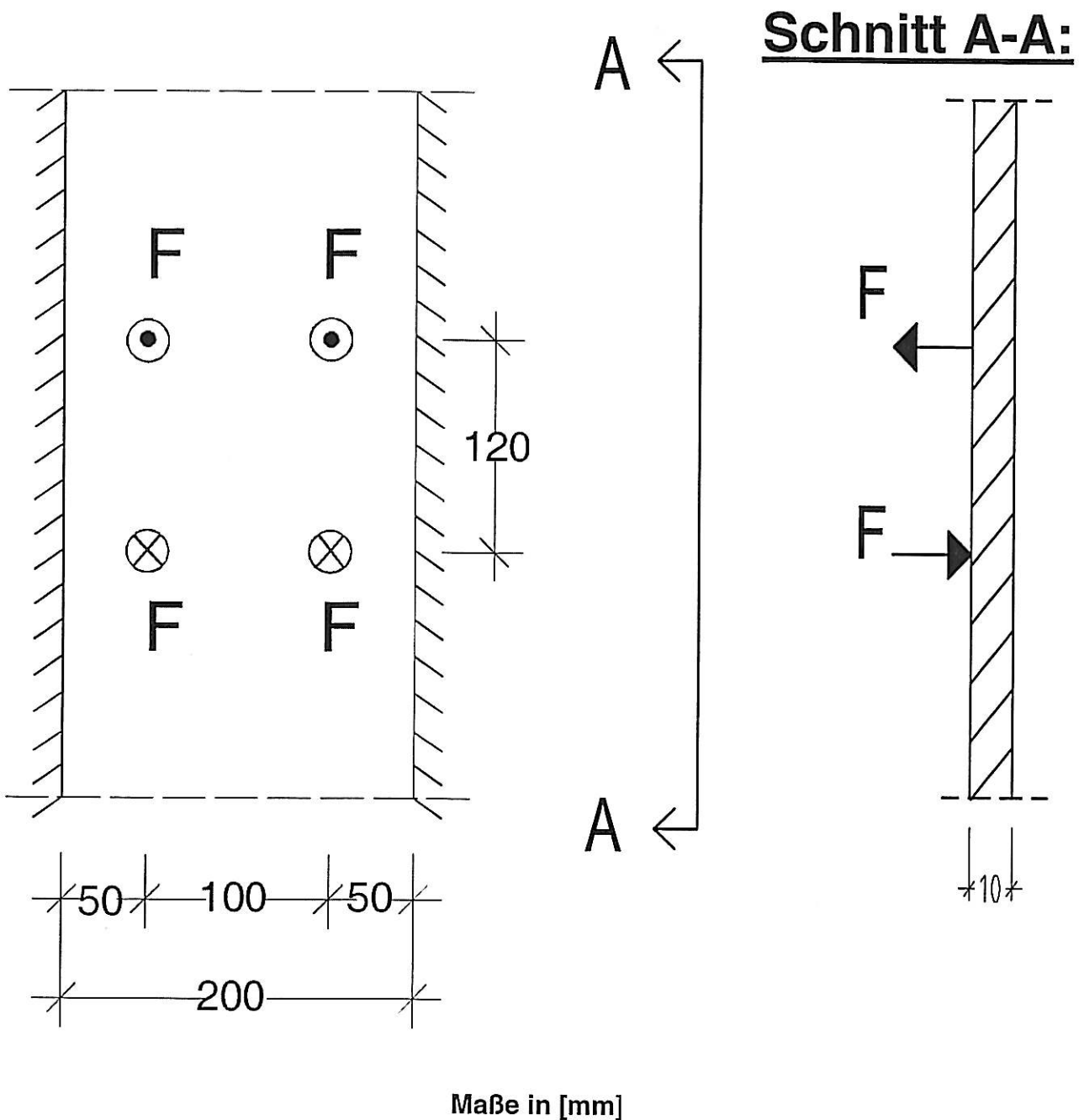
 $M_{pl,d} = 220$ kNcm $M_{pl,d} = 165$ kNcm

Hinweis: Nach EC3 kann $k_{wc}=1$ angenommen werden.

sh

Aufgabe 2**30 min**

Ein unendlich langer Plattenstreifen aus Stahl, der an seinen Längsrändern fest eingespannt ist, wird wie in der Abbildung unten dargestellt durch vier Punktlasten beansprucht. Ermitteln Sie den charakteristischen Wert der Traglast $F_{Tr,k}$ nach der Fließlinientheorie.



Angaben:

Material: S235JRG2

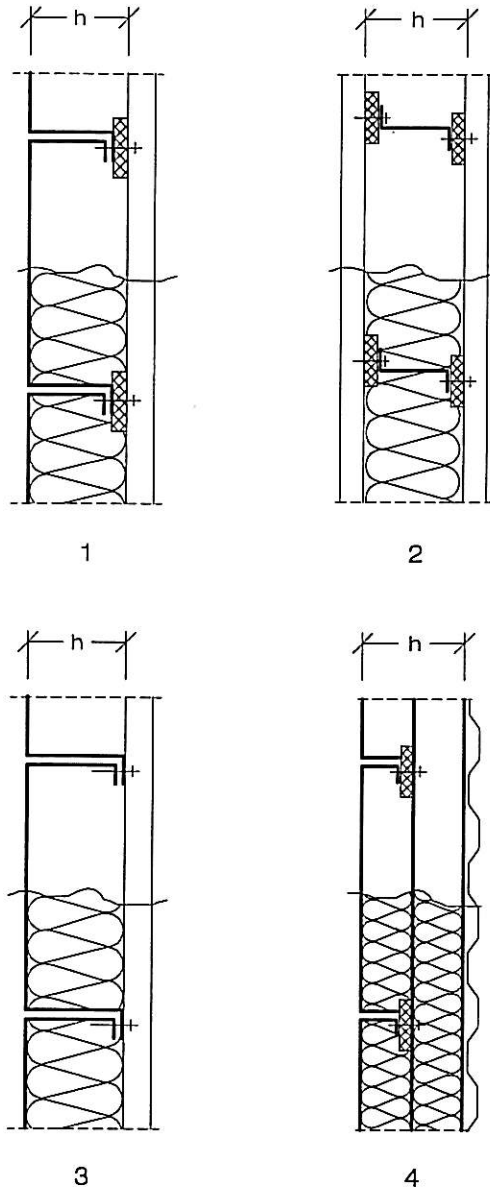
Plattendicke: $t = 10 \text{ mm}$

Sh

Aufgabe 3

5 min

In den unten dargestellten Prinzipskizzen sind 4 Wandaufbauten dargestellt. Die Abmessungen der einzelnen Bauteile sind jeweils gleich. Die Dicke h der Wärmedämmung ist bei allen Konstruktionen gleich. Die Gesamthöhe h beider gekreuzt angeordneter Distanzprofile bei Konstruktion 4 ist genauso hoch wie die Höhe h der Distanzprofile der anderen Konstruktionen.



Ordnen Sie die Konstruktionen nach ihrem mittleren Wärmedurchgangskoeffizient und begründen Sie kurz ihre Entscheidung.

Beschreiben Sie für die Konstruktion 3 den Wärmestromverlauf.

sh

Aufgabe 4

30 min

Der in Abbildung 4.1 dargestellte Biegeträger aus EN AW-6060-T6 wird im Lastfall H in den Drittelpunkten mit $F=5\text{kN}$ belastet. Führen Sie alle erforderlichen Nachweise für Biegeträger und Anschluss. Stabilitätsversagen kann ausgeschlossen werden.

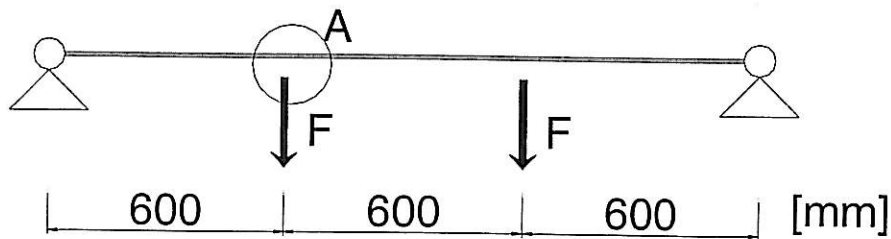
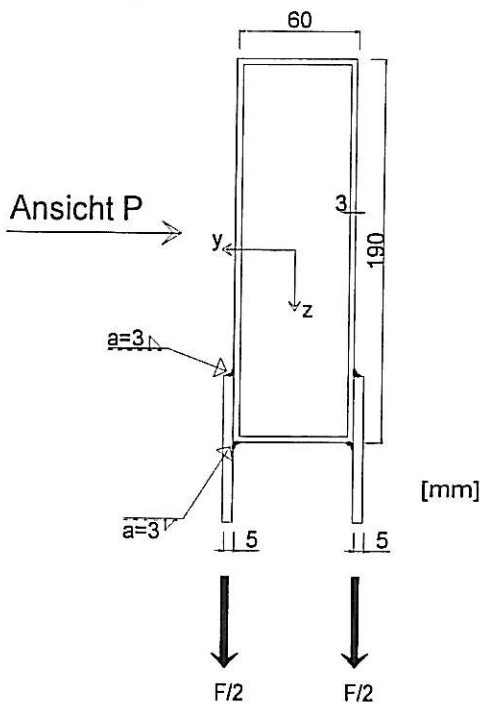
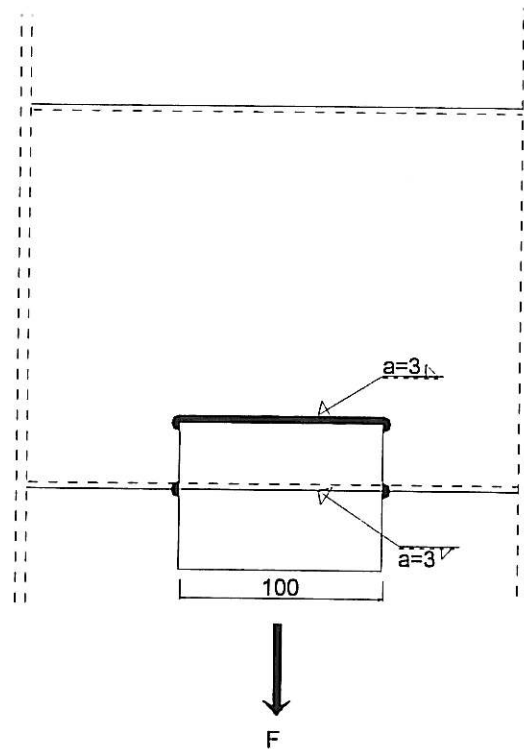


Abbildung 4.1

Detail A:



Schnitt



Ansicht P

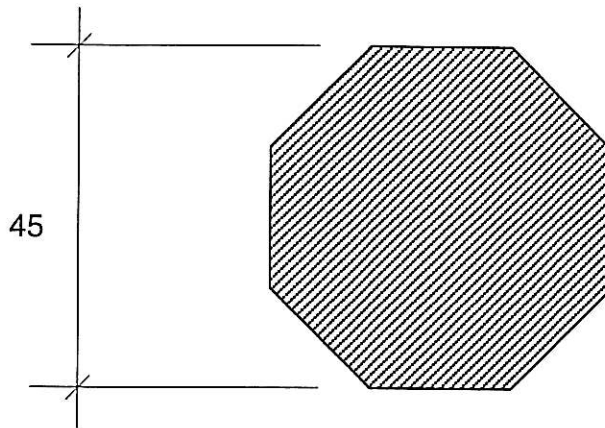
sh

Aufgabe 5

15 min

Das in Abbildung 5.1 dargestellte Profil (regelmäßiges Achteck) aus S355JO wird mit einer zentrischen Zugkraft $Z_k = 272\text{kN}$ belastet. Ermitteln Sie die Restmomententragfähigkeit *red* $M_{pl,k}$.

Abbildung 5.1



Alle Maße in mm.

zh

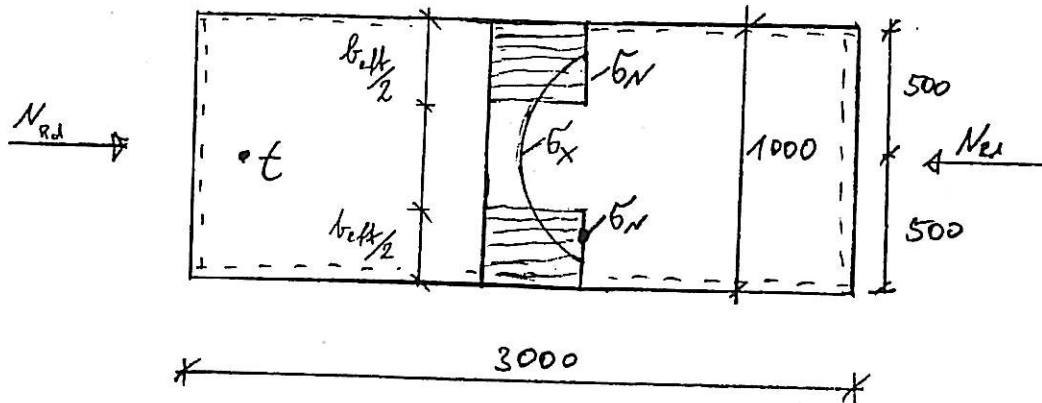
Aufgabe 6

5 min

Die unten dargestellte allseits gelenkig gelagerte Blechtafel (Flansch eines Hohlkastenprofils) wird durch eine mittig angreifende Normalkraft beansprucht.

Ermitteln Sie die mittragende Breite b_{eff} .

Ermitteln Sie die Grenznormalkraft N_{Rd} (Bemessungswert), die die Blechtafel aufnehmen kann.



Maße in mm

Blechdicke: $t = 10\text{mm}$

Werkstoff: S355J2G3

σ_x : tatsächlicher Längsspannungsverlauf

σ_N : Nennspannungsverlauf bezogen auf die mittragende Breite b_{eff} .

sh

Aufgabe 1
RIEGEL: IPE 360

$$t_{fb} = 1,27 \text{ cm}$$

$$h_b = 36 \text{ cm}$$

$$r_{fb} = 1,8 \text{ cm}$$

$$Z = 36 - 1,27 = 34,73 \text{ cm}$$

$$I_R = 16270 \text{ cm}^4$$

$$M_{pl,d} = 220 \text{ kNm}$$

STÜTZE: HE 240A

$$t_{fc} = 1,2 \text{ cm}$$

$$h_c = 23 \text{ cm}$$

$$r_{fc} = 2,1 \text{ cm} = s$$

$$t_{wc} = 0,75 \text{ cm}$$

$$d_c = 23 - 2 \cdot 1,2 - 2 \cdot 2,1 = 16,4 \text{ cm}$$

$$A_{vc} = (23 - 1,2) \cdot 0,75 = 16,35 \text{ cm}^2$$

(A) RANDKNOTEN „A“ : $\beta = 1$

$$GK① \quad k_1 = \frac{0,38 \cdot 16,35}{34,73} = 0,179$$

$$M_{1,Rd} = \frac{0,9 \cdot 23,5 \cdot 16,35}{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot 1} \cdot 34,73 = \underline{\underline{6303 \text{ kNm}}} \quad \text{maßgebend}$$

$$GK② \quad b_{eff,c,wc} = 1,27 + 2\sqrt{2} \cdot 0,6 + 5(1,2 + 2,1) = 19,5 \text{ cm}$$

$$k_{wc} = 1$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot (19,5 \cdot 0,75 / 16,35)^2}} = 0,70$$

$$\lambda_P = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{19,5 - 16,4}{210000} \cdot \frac{23,5}{0,75^2}} = 0,74 > 0,673$$

$$\rho = (0,74 - 0,22) / 0,74^2 = 0,95$$

$$k_2 = \frac{0,7 \cdot 19,5 \cdot 0,75}{16,4} = 0,624$$

$$M_{2,Rd} = \frac{1,0 \cdot 0,70 \cdot 0,95 \cdot 19,5 \cdot 0,75 \cdot 23,5}{1,1} \cdot 34,73 = 7216 \text{ kNm}$$

$$GK③ \quad k_3 = 0,624$$

$$M_{3,Rd} = \frac{7216}{0,95} = 7595 \text{ kNm}$$

$$GK④ \quad k_4 = \infty$$

$$b_{eff,b,wc} = 0,75 + 2 \cdot 2,1 + 7 \cdot 0,95 \cdot 1,2 = 12,93 \text{ cm} < b_{fb} = 17 \text{ cm}$$

$$k = \frac{1,2}{1,27} = 0,95$$

$$2,07 \cdot 17$$

$$M_{4,Rd} = \frac{12,93 \cdot 1,27 \cdot 23,5}{1,1} = 34,73 = 12\,183 \text{ kNm}$$

□ GESAMTBETRACHTUNG:

$$\underline{M_{A,Rd} = M_{1,Rd} = 63,03 \text{ kNm}}$$

$$S_{A,ini} = \frac{21000 \cdot 34,73^2}{\frac{1}{0,179} + \frac{2}{0,624}} = 2,88 \cdot 10^6 \text{ kNm/rad}$$

$$S_A = \frac{2,88 \cdot 10^6}{(1,5)^{2,7}} = 0,96 \cdot 10^6 \text{ kNm/rad}$$

⇒ Am Randknoten ist genügend Rotationskapazität vorhanden

(5) MITTELKNOTEN "B" $\beta = 0$

GK① $K_1 = \infty$
 $M_{1,Rd} = \infty$

GK② $K_2 = 0,624$
 $M_{2,Rd} = \frac{7216}{0,70} = 10308 \text{ kNm} (\omega = 1,0)$

GK③ $K_3 = 0,624$
 $M_{3,Rd} = \frac{7595}{0,70} = 10850 \text{ kNm}$

GK④ $K_4 = \infty$
 $M_{4,Rd} = 12\,183 \text{ kNm}$

□ GESAMTBETRACHTUNG

$$\underline{M_{B,Rd} = M_{2,Rd} = 10308 \text{ kNm}}$$

$$S_{B,ini} = \frac{21000 \cdot 34,73^2}{0 + \frac{2}{0,624} + 0} = 7,90 \cdot 10^6 \text{ kNm/rad}$$

Rotationskapazität: $\phi = 0,015$

$$S_B = \frac{7,9 \cdot 10^6}{(1,5)^{2,7}} = 2,64 \cdot 10^6 \text{ kNm/rad}$$

$$\frac{M_{B,Rd}}{S_B} = \frac{10308}{2,64 \cdot 10^6} = 3,89 \cdot 10^{-3} < 0,015$$

⇒ am Innenknoten ist genügend Rotationskapazität vorhanden

$$C_R = \frac{3 \cdot 21000 \cdot 16270}{1000} = 1025010 \text{ KNcm}$$

$$MF = 1025010 \cdot 0,015 + \frac{1}{2} \cdot 10310 = 205,3 \text{ KNm} < 220 \text{ KNm}$$

= Auswirkung auf Moment M_A :

$$C_E = S_A = 0,96 \cdot 10^6$$

$$C_E' = 0$$

$$C_{sup} = \frac{6 \cdot 21000 \cdot 16270}{300} = 6833400$$

$$S_{int} = \frac{4 \cdot 21000 \cdot 16270}{300} = 4555600$$

$$C'_{ir} = 0$$

$$C_A = \frac{0,96 \cdot 10^6 (6 + 6,83 \cdot 10^6 + 4,56 \cdot 10^6)}{0,96 \cdot 10^6 + 6,83 \cdot 10^6 + 4,56 \cdot 10^6} = 0,88 \cdot 10^6 \text{ KNcm/m}$$

$$M_A = 205300 \cdot \frac{0,88 \cdot 10^6}{\frac{1}{2} \cdot 0,88 \cdot 10^6 + 1,025 \cdot 10^6} = 123 \text{ KNm}$$

< 220
> 63,03

$$q_u = \frac{8}{100^2} \cdot \left[\frac{63,03 + 103,1}{2} + 205,3 \right]$$

$$q_u = 23,0 \text{ KN/m}$$

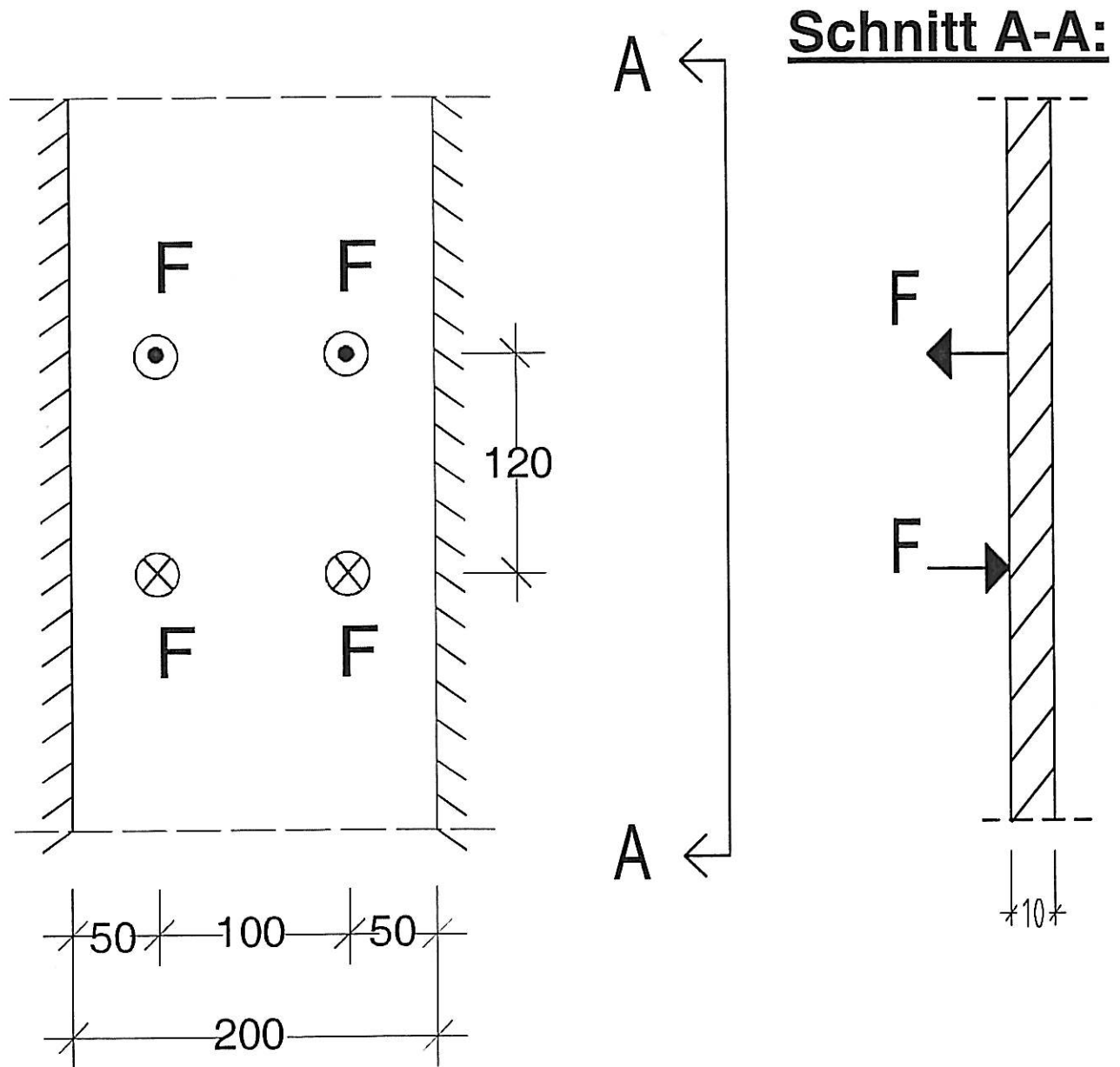
Musterlösung

Aufgabe 2

30 min

Ein unendlich langer Plattenstreifen aus Stahl, der an seinen Längsrändern fest eingespannt ist, wird wie in der Abbildung unten dargestellt durch vier Punktlasten beansprucht.

Ermitteln Sie den charakteristischen Wert der Traglast $F_{Tr,k}$ nach der Fließlinientheorie.



Maße in [mm]

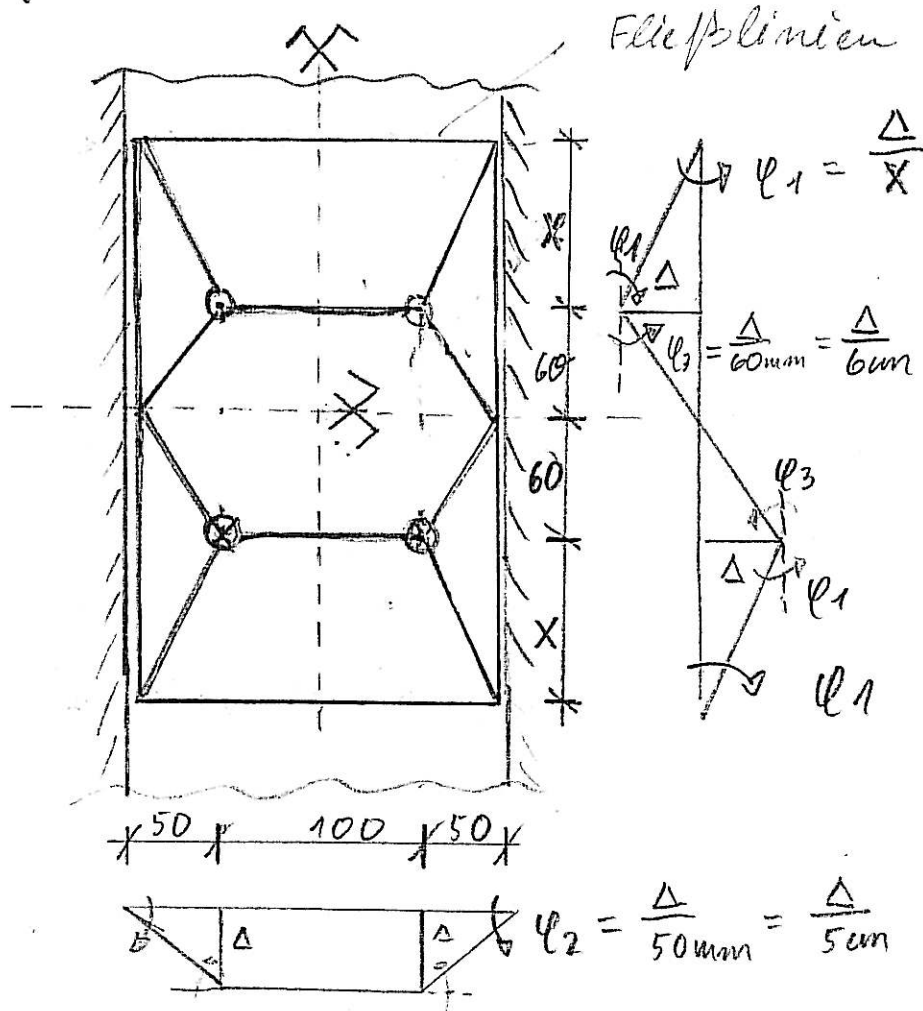
Angaben:

Material: S235JRG2

Plattendicke: $t = 10$ mm

Lösung:

Dünnwandige Tragwerke + Plast. Bemessung



$$A_i = m_{pl} \Delta \cdot \left[\frac{1}{x} \cdot (10 + 5 + 5) + \frac{1}{6} \cdot (5 + 5) + \frac{1}{5} \cdot (2 \cdot (6 + x)) \right]$$

$$= m_{pl} \cdot \Delta \cdot \left[\frac{20}{x} + \frac{5}{3} + \frac{12}{5} + \frac{2x}{5} \right] = m_{pl} \cdot \Delta \cdot \frac{300 + 61x + 6x^2}{15x}$$

$$A_a = F \cdot \Delta$$

$$A_a = A_i \Rightarrow F = m_{pl} \cdot \left[\frac{300 + 61x + 6x^2}{15x} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial F}{\partial x} = m_{pl} \cdot \frac{(61 + 12x) \cdot 15x - 15 \cdot (300 + 61x + 6x^2)}{225x^2} \stackrel{!}{=} 0$$

$$\Rightarrow 90x^2 - 4500 \stackrel{!}{=} 0 \Rightarrow x = \sqrt{50} = 7,07 \text{ cm} \quad (2)$$

$$\frac{1}{4} \cdot f_{yk} = \frac{1}{4} \cdot 24 = 6 \text{ kN}$$

$$(2) \text{ in } (1) \quad F_{T2, q} = m_{pl} \cdot 9,72 = 58,32 \text{ kN}$$

Aufgabe 3 Musterlösung

Falsch!

geringster U_W

4

punktförmige Wärmebrücke

2

Wärmebrücke 2 Trennschichten

1

Wärmebrücke 1 Trennschicht

größter U_W

3

Wärmebrücke Metall

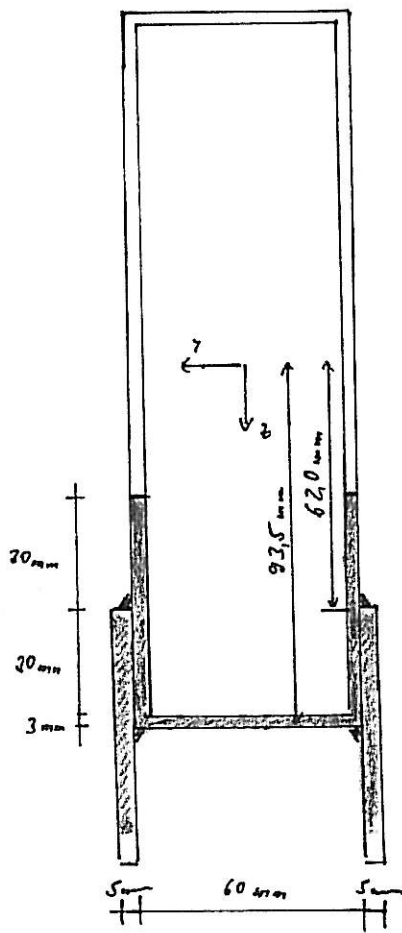
Wärmestrom

① innen - Wärmedämmung - außen

② innen - Steg - außen

Aufgabe 4

Bieger



$$A = 1464 \text{ mm}^2$$

$$A_{WFL} = 540 \text{ mm}^2$$

$$A_k = 1155 \text{ mm}^2$$

$$I = 6262232 \text{ mm}^4$$

$$\eta = \frac{60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{140 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,43$$

$$\Delta z_k = \frac{0 \cdot A - (1-\eta) \cdot \varepsilon A_{i,WFL} \cdot z_{i,WFL}}{A - (1-\eta) \cdot \varepsilon A_{i,WFL}}$$

$$= \frac{-0,57 \cdot (2 \cdot 180 \text{ mm} \cdot 62 \text{ mm} + 180 \text{ mm} \cdot 93,5 \text{ mm})}{1155 \text{ mm}^2}$$

$$= 19,4 \text{ mm}$$

$$I_k = I + A \cdot \Delta z_k^2 - (1-\eta) \cdot \varepsilon A_{WFL} \cdot z_{WFL,k}^2 - (1-\eta) \cdot I_{WFL}$$

$$= 6262232 \text{ mm}^4 + 1464 \cdot 19,4^2 - 0,52 \cdot (\dots)$$

$$2 \cdot 60 \text{ mm} \cdot 3 \text{ mm} \cdot (62 + 19,4)^2 + 60 \text{ mm} \cdot 3 \text{ mm} \cdot (93,5 + 19,4)^2$$

$$- 0,52 \cdot 2 \cdot \frac{60^3 \cdot 3}{12} - 0,52 \cdot \frac{60 \cdot 3^3}{12}$$

$$= 4084152 \text{ mm}^4$$

$$W_k = \frac{I_k}{(95 \text{ mm} + 19,4 \text{ mm})} = 37332,3 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{540 \cdot 600 \text{ mm}}{37332,3 \text{ mm}^3} = 80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \sigma_{ml,H}$$

Schub

$$S_y = 180 \text{ mm} \cdot 93,5 \text{ mm} + 2 \cdot 3 \text{ mm} \cdot 92 \text{ mm} \cdot 46 \text{ mm} = 42222 \text{ mm}^3$$

$$\tau = \frac{V \cdot S_y}{I \cdot z} = \frac{5000 \cdot 42222}{6262232 \cdot 2 \cdot 3} = 5,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \tau_{ml,WFL} = 24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Zug

$$A = A_{WFL} = 5 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm} = 500 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{2500 \text{ N}}{500 \text{ mm}^2} = 5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \sigma_{ml,WFL} = 44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Zug (Schweißnaht)

$$A_w = 2 \cdot 3 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm} = 600 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{2500 \text{ N}}{600 \text{ mm}^2} = 4,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq \sigma_{ml,w} = 26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Vergleichsspannung

$$\sigma_x = \frac{5000 \text{ N} \cdot 600 \text{ mm}}{6262232 \text{ mm}^4} \cdot 95 \text{ mm} = 45,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

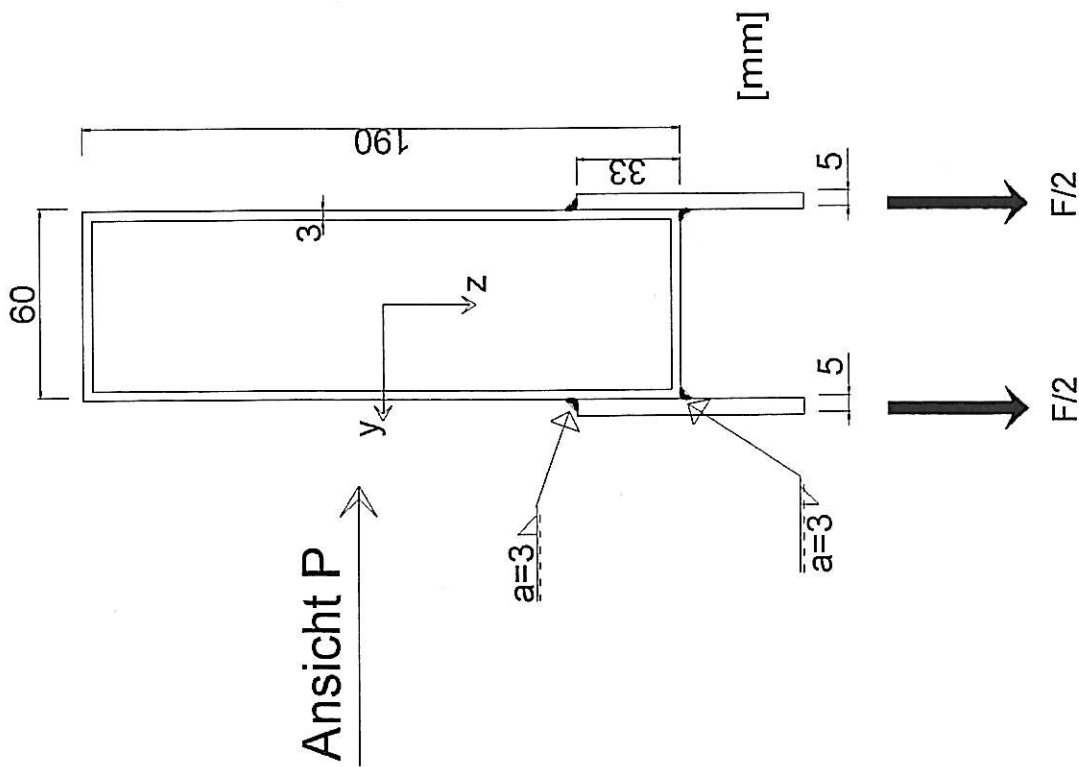
$$\sigma_y = \frac{2500 \text{ N}}{3 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}} = 8,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{45,5^2 + 8,3^2} = 45,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

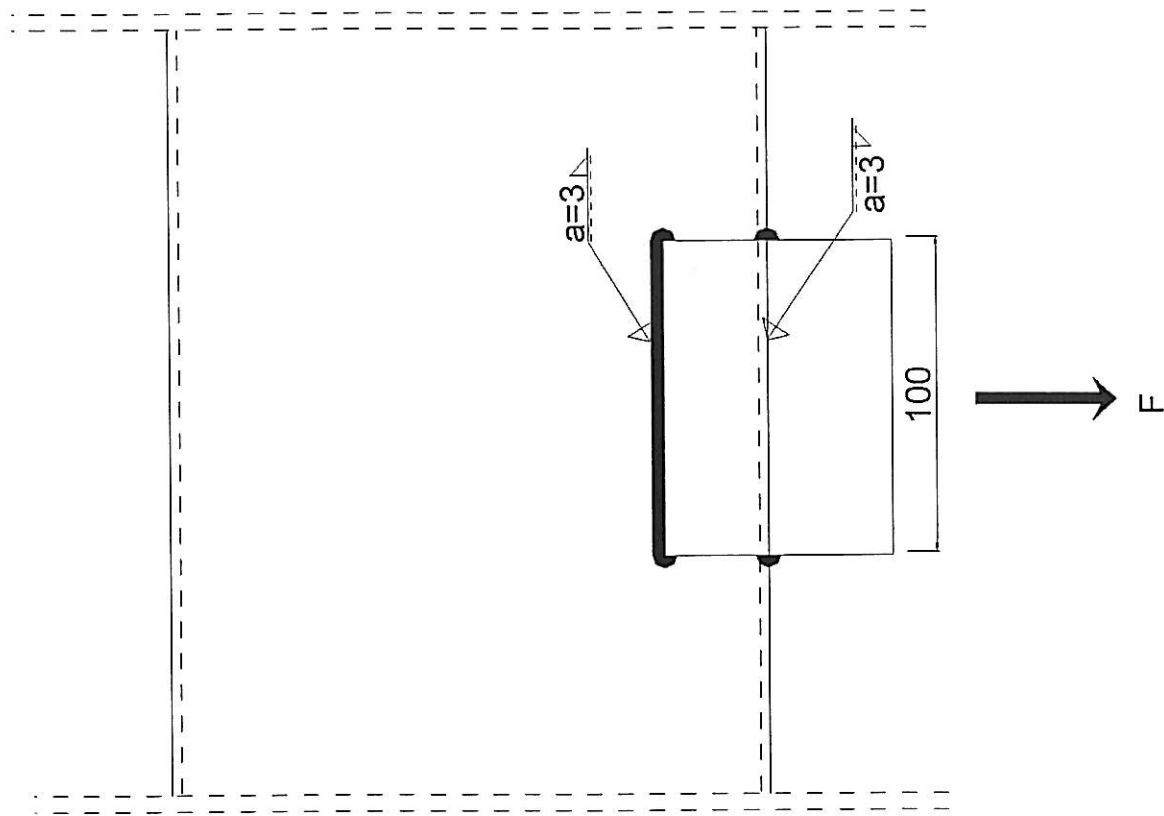
$$< 48 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \sigma_{ml}$$

zu Aufgabe 4

Detail A:

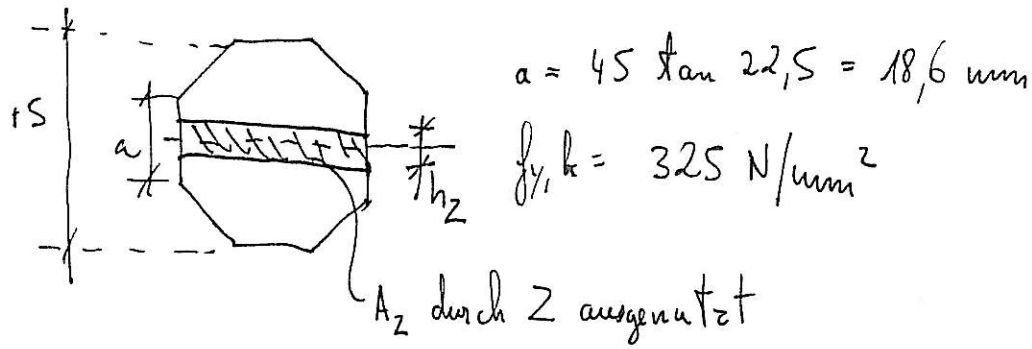


Schnitt



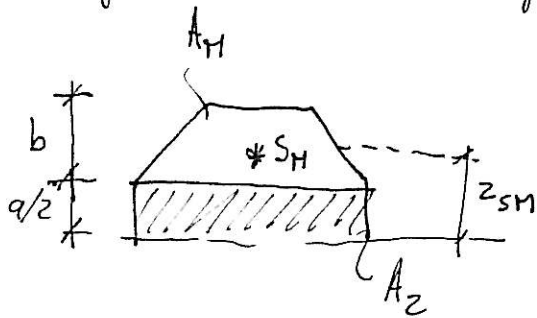
Ansicht P

Auflösung Aufgabe 5 - Dünnwandige Tragwerke + Pl. Bem.



$$Z = 272000 \text{ N} \Rightarrow A_2 = 272000 / 325 = 836,9 \text{ mm}^2$$

Annahme $h_2 \leq a \Rightarrow h_2 = A_2 / 45 = 836,9 / 45 = 18,6 \text{ mm} = a$. Ann. bestätigt
Restfläche zur Momentenaufnahme A_M :



$$b = \frac{45}{2} - \frac{18,6}{2} = 13,2 \text{ mm}$$

$$z_{SM} = \frac{18,6}{2} + \frac{13,2}{3} \cdot \frac{45 + 2 \cdot 18,6}{45 + 18,6} = 15,0 \text{ mm}$$

$$A_M = 13,2 \cdot \frac{1}{2} (45 + 18,6) = 419,8 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl} = 2 \cdot 15,0 \cdot 419,8 = 12593 \text{ mm}^3 \Rightarrow M_{pl,k} = 325 \cdot 12593 = 4092725 \text{ Nmm}$$

$$\underline{\underline{\text{red } M_{pl,k} \approx 4,1 \text{ kNm}}}$$

$$t = 10 \text{ mm}$$

$$\sigma_e = 189800 \cdot \left(\frac{10}{1000} \right)^2 = 18,98 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{x,p} = 18,98 \cdot \frac{8,4}{2,1} = 75,92$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{360}{75,92}} = 2,144 \quad c = 1,25 - 0,12 = 1,13$$

$$\eta = 1,13 \left[\frac{1}{2,144} - \frac{0,22}{2,144^2} \right] = 0,464$$

$$h_{eff} = 0,464 \cdot 1000 = 464 \text{ mm}$$

$$N_{Rd} = \frac{36,0}{1,1} \cdot 46,4 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} = 15286 \text{ N}$$