

DIPLOM-HAUPTPRÜFUNG

Dünnwandige Tragwerke und plastische Bemessung

2. September 2004 / 21. FEBRUAR 2005

Name:

| | | | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|
| Aufgabe: | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| erreichte Punktzahl: | | | | | | |

| | |
|---------------------|--|
| abgegebene Blätter: | |
|---------------------|--|

Sh

Aufgabe 1**15 min**

Die dargestellte Kragstütze mit über die Länge linear veränderlicher Querschnittshöhe und konstanten Gurtquerschnitten $A = 20\text{mm} \times 300\text{mm}$ wird durch eine zur Stützenachse exzentrische Vertikallast $V = 800\text{kN}$ und eine Horizontallast H belastet.

Bei welcher Horizontallast H ist die Beanspruchung über die Stützenlänge konstant?
Führen Sie den Tragfähigkeitsnachweis für die durch V und H belastete Stütze.

Ein Ausweichen aus der Zeichenebene sowie ein Beulen ist ausgeschlossen.
Der Querschnitt darf vereinfachend als Zweipunktquerschnitt angesetzt werden, d.h. ohne Fläche und Trägheitsmoment des Steges und ohne Eigenträgheitsmomente der Gurte.

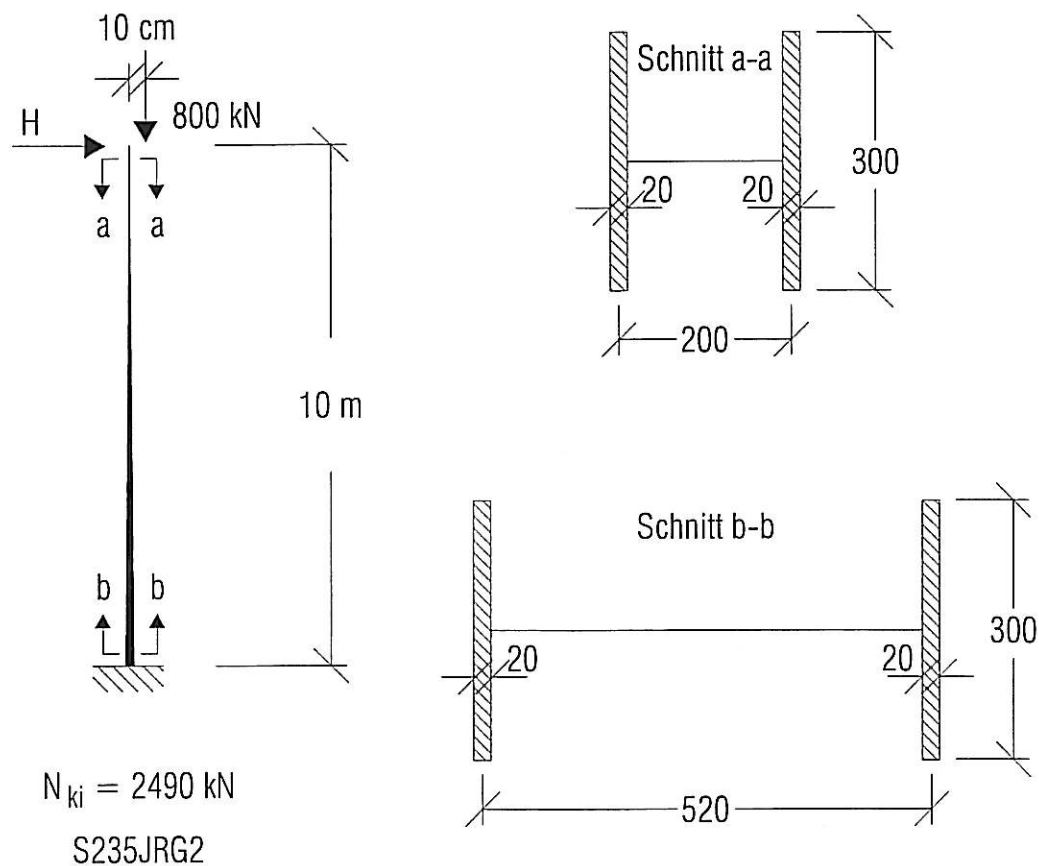


Abbildung 1.1: Kragstütze

Aufgabe 2

15 min

In Abbildung 2.1 ist das statische System einer Hallenkonstruktion dargestellt, deren Knoten steifenlos gemäß den Abbildungen 2.2 und 2.3 ausgeführt wurden.

Berechnen Sie die Traglast q_d des Riegels R1 im Lastfall „Vollast“.

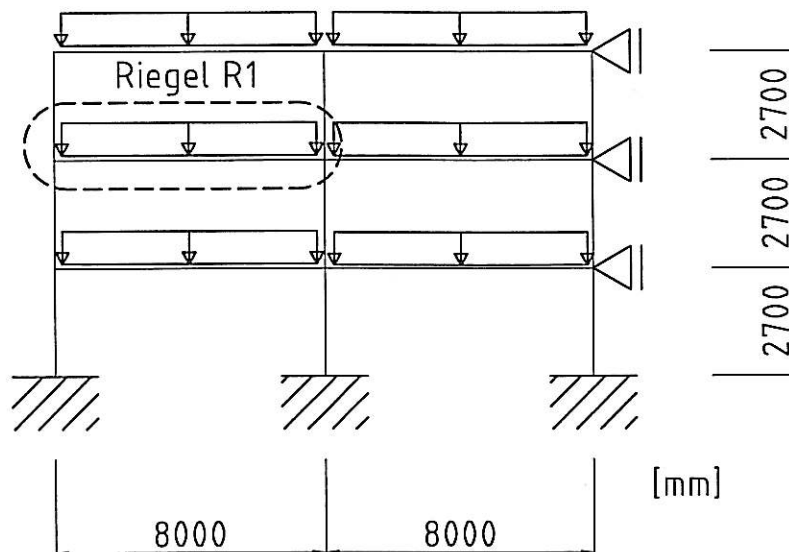


Abbildung 2.1: Statisches System

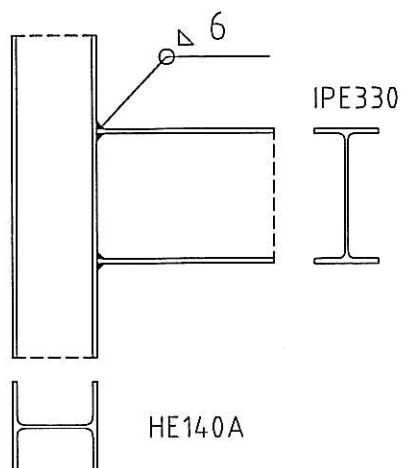


Abbildung 2.2: Randknoten

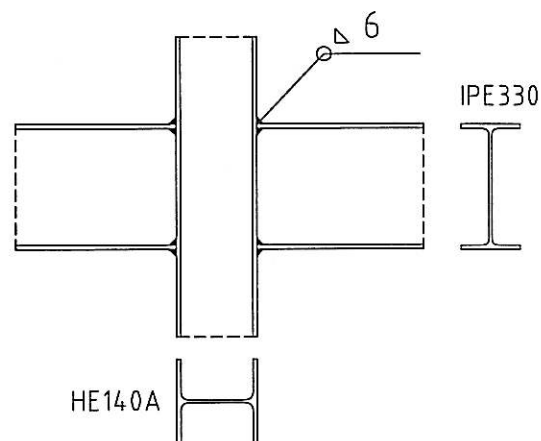


Abbildung 2.3: Innenknoten

Material: S235JRG2

Schweißnaht: a=6 mm gemäß Detailzeichnung

Riegel: IPE330 $M_{pl,d} = 173 \text{ kNm}$

Stütze : HE140A

Aus einer Berechnung nach EC 3 liegen folgende Werte vor:

Randknoten: $M_{A,R,d} = 26,6 \text{ kNm}$, $\sum \frac{1}{k_i} = 15,9$

Innenknoten: $M_{B,R,d} = 18,9 \text{ kNm}$, $\sum \frac{1}{k_i} = 3,7$

sh

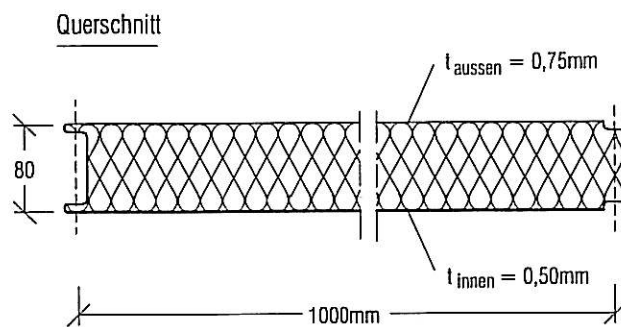
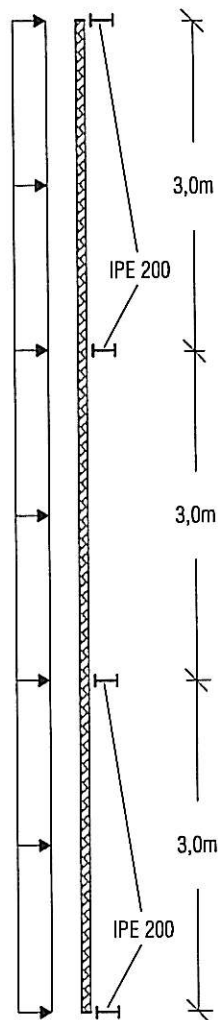
Aufgabe 3

20 min

a) Eine Wand soll mit 9m langen Sandwich-Elementen mit ebenen Stahldeckschichten aus S320GD – Blechdicken t_{ausen} und t_{innen} - eingekleidet werden.

Hierzu ist folgendes statisches System mitsamt seiner Gesamtwindbelastung w_D sowie der Querschnitt des Elementes gegeben:

$$w_D = 1,5 \text{ kN/m}^2$$



Führen Sie für das vorgegebene System alle erforderlichen Nachweise für den rechnerischen Bruchzustand im Anfangszustand $t=0$.

Angaben:

$$\sigma_k = 100 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_\tau = 0,12, \beta_D = 0,13$$

$$\eta_\tau = 1,2, \eta_D = 1,2$$

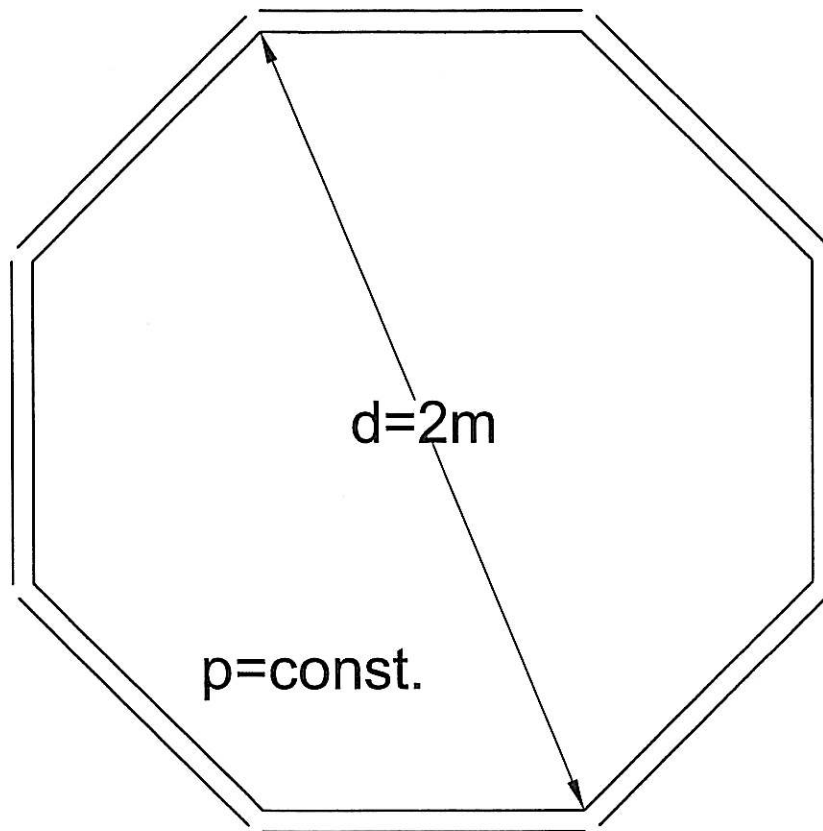
b) Was versteht man unter dem Begriff „Knittern“ eines Sandwichelementes?

c) Welche Nachweise müssen für die Verbindungsmittel bei Sandwich-Elementen geführt werden?

sh

Aufgabe 4**15 min**

Gegeben ist die unten dargestellte Stahlplatte, die ein regelmäßiges Achteck bildet. Die Platte ist an ihren Außenkanten gelenkig gelagert und wird durch eine konstante Gleichflächenlast p belastet.

Angaben:

Material: S235JRG2

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

Ermitteln Sie mit Hilfe der Fließlinientheorie eine Abschätzung für den charakteristischen Wert der Traglast $p_{T,k}$ der Platte.

sh

Aufgabe 5**30 min**

a) Das in Abbildung 5.1 dargestellte statische System einer Stütze soll als längsgeschweißter Aluminiumquerschnitt aus zwei U-Profilen 80x40x5 realisiert werden. Wählen Sie aus den unter Abbildung 5.2 dargestellten Möglichkeiten die Ihrer Ansicht nach Beste aus (Einkreisen und/oder Durchstreichen) und begründen Sie Ihre Auswahl.

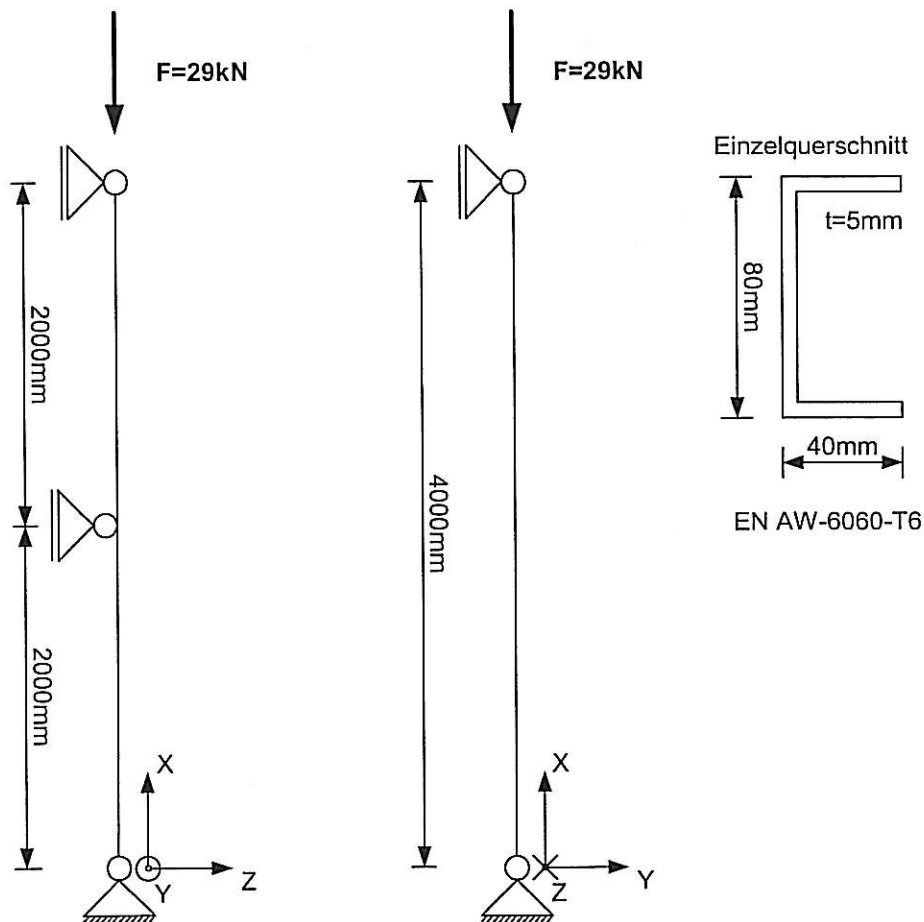


Abbildung 5.1: Statisches System und Einzelquerschnitt

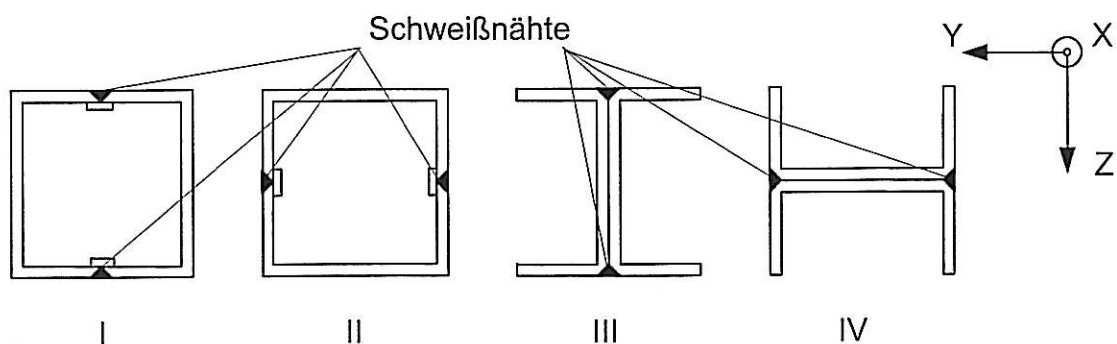


Abbildung 5.2: Mögliche Doppelquerschnitte

sh

b) Führen Sie für den unter a) gewählten Querschnitt den maßgeblichen Knicksicherheitsnachweis im Lastfall H. Es ist eine genaue Ermittlung der Querschnittswerte zugrunde zu legen.

c) Der in Abbildung 5.3 dargestellte biegebeanspruchte, sehr hohe Querschnitt aus Aluminium besteht aus drei Einzelquerschnitten, die mit zwei Längsnähten miteinander verbunden sind. Ermitteln Sie in Abhängigkeit von der Querschnittshöhe h und dem Festigkeitsverhältnis κ den Bereich für die Lage z_s der Längsnähte, bei der keine Tragfähigkeitseinbußen infolge Schweißens zu erwarten sind.

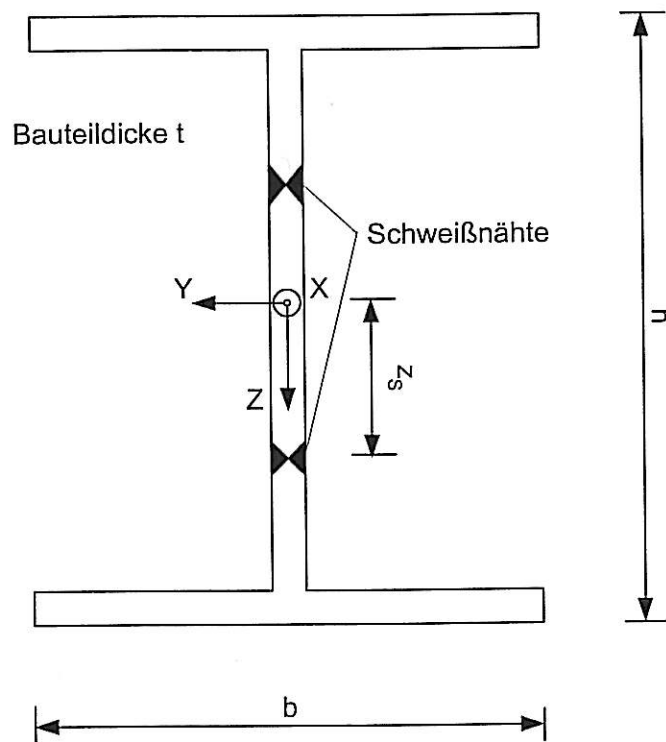


Abbildung 5.3: Biegebeanspruchter zusammengesetzter Querschnitt

Aufgabe 6**25 min**

Ermitteln Sie für das in der Anlage 6.1 dargestellte System einer längs- und querbelasteten, längsversteiften, an den Querrändern Navier-gelagerten Stahlplatte den wirksamen Querschnitt, und weisen Sie dann deren Tragfähigkeit nach.

Querschnittswerte des vollwirksamen Querschnitts:

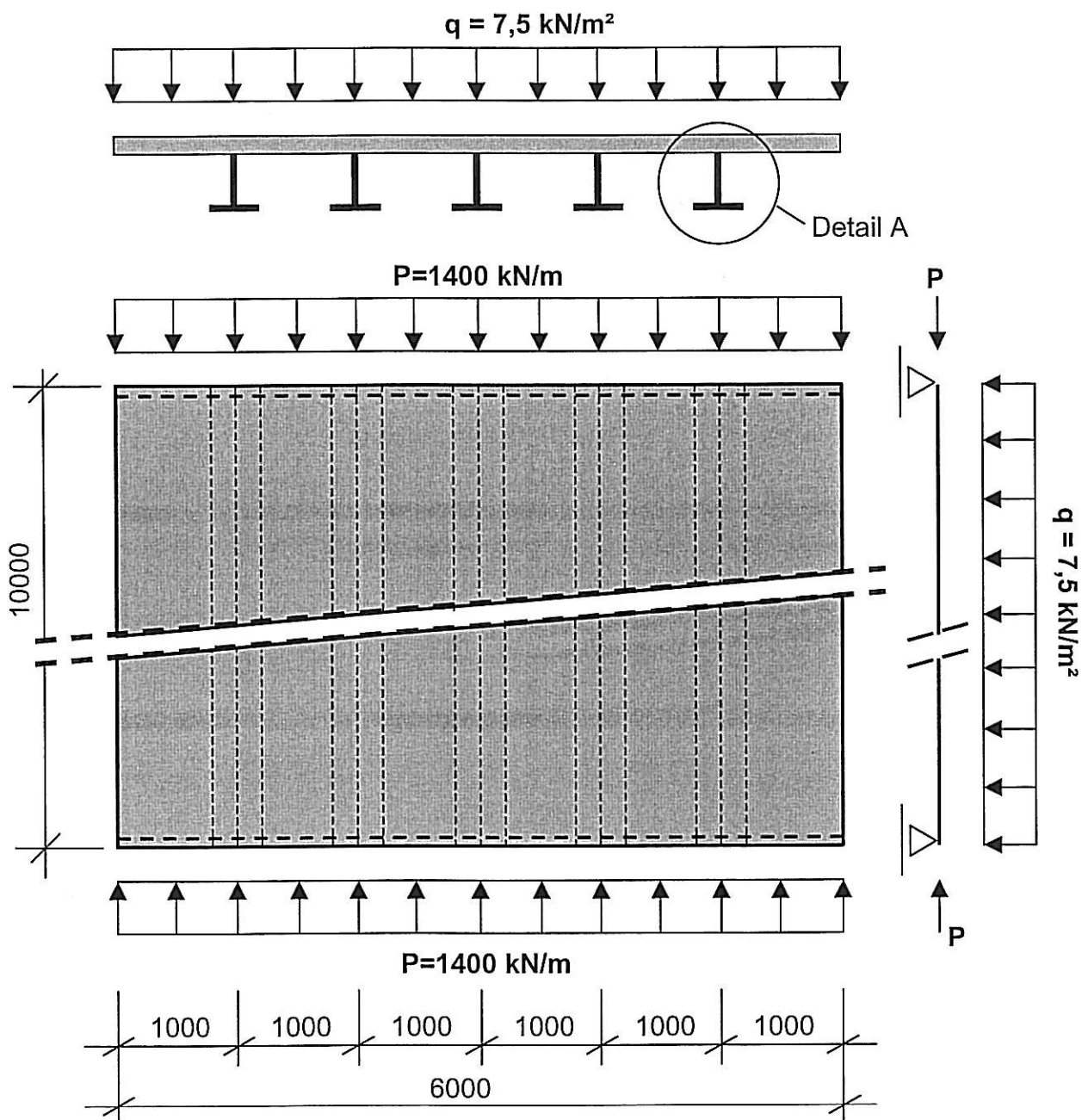
| | | | |
|-------------------------------------------------|---------|----------|-----------------|
| Querschnittsfläche der ausgesteiften Platte: | $A =$ | 1250 | cm ² |
| Ordinate der Schwerelinie von Plattenoberkante: | $z_s =$ | 9,02 | cm |
| Trägheitsmoment: | $I_y =$ | 282 703 | cm ⁴ |
| Material | | S235JRG2 | |

Beanspruchungen:

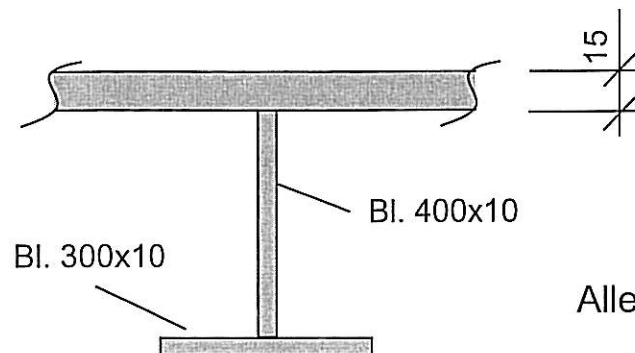
| | | | |
|------------------------------------------------------|-------|------|-------------------|
| Druckbeanspruchung in Plattenebene entlang Querrand: | $P =$ | 1400 | kN/m |
| Flächenlast: | $q =$ | 7,50 | kN/m ² |

Hinweise: Eine Iteration ist nicht erforderlich.

Lösungen nach DIN 18800 Teil 3 werden nicht bewertet.



Detail A



Alle Maße in mm.

sh

Aufgabe 1

$$W = (20 + 32x/1000)60$$

$$M = 10 \cdot 800 + Hx$$

$$\sigma = \text{const.} \rightarrow Hx = (32x)(10 \cdot 800)/(20 \cdot 10^3)$$

$$H = 12,8 \text{ kN}$$

Biegeanteil nach Theorie I. Ordnung

$$\begin{aligned}\sigma_B^I &= (10 \cdot 800 + 12,8x)/(20 + 32x/1000)60 \\ &= (12,8 \cdot x \cdot 1000)(32x \cdot 60) = 6,64 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

Dischingerfaktor: $1/(1 - 800/2490) = 1,47$

$$\begin{aligned}\sigma &= 800/120 + 1,47 \times 6,64 = 16,5 \text{ kN/cm}^2 < \frac{24,0}{1,1} \\ &= 21,8\end{aligned}$$

Tragfähigkeitsnachweis erbracht

Randknoten A

$$S_{A,ini} = \frac{21000 \cdot 31.85^2}{15.9} = 1.34 \cdot 10^6 \text{ KNm/rad}$$

$$\text{mit } z = 33 - 1.15 = 31.85 \text{ cm}$$

$$S_A = \frac{1.34 \cdot 10^6}{1.5^{2.7}} = 4.5 \cdot 10^5 \text{ KNm/rad}$$

Innenknoten B:

$$S_{B,ini} = \frac{21000 \cdot 31.85^2}{3.7} = 5.8 \cdot 10^6 \text{ KNm/rad}$$

$$S_B = \frac{5.8 \cdot 10^6}{2.99} = 1.93 \cdot 10^6 \text{ KNm/rad}$$

Begrenzung des Feldmoments:

$$\phi_{B,ld} = 0.015 \text{ rad}$$

$$\frac{M_{B,R,d}}{S_B} = \frac{18.9 \cdot 100}{1.93} = 900.1 < 0.015 \rightarrow \text{keine Begrenzung durch } \phi_{B,ld}$$

$$C_R = \frac{3 \cdot 21000 \cdot 11720}{800} = 0.93 \cdot 10^6 \text{ KNm/100}$$

$$M_F = 0.93 \cdot 10^6 \cdot 0.015 + \frac{1}{2} \cdot 1890 = 148.9 \text{ KNm} < M_{p,d}$$

Steifigkeiten (1. Geschoss)

$$C_E = S_A = 4.48 \cdot 10^5 \text{ KNm/rad}$$

$$C_E' = 0$$

$$C_{sup} = \frac{6 \cdot 21000 \cdot 1030}{270} = 0.48 \cdot 10^6 \text{ KNm/rad}$$

$$C_{inf} = \frac{3 \cdot 21000 \cdot 1030}{270} = 0.24 \cdot 10^6 \text{ KNm/rad}$$

$$C_{ir}' = 0$$

$$C_A = \frac{0.45(0 + 0.48 + 0.24) \cdot 10^6}{(0.45 + 0.48 + 0.24) \cdot 10^6} = 0.277 \cdot 10^6 \text{ KNm/rad}$$

$$M_A = 148 \cdot \frac{0,277}{\frac{1}{2} \cdot 0,277 + 0,326} = 38,5 \text{ kNm} < 173 \text{ kNm} = M_{\text{pld}} \\ > 26,2 \text{ kNm} = M_{A,\text{pld}}$$

Die Annahme $M_A = M_{A,\text{pld}}$ war richtig

$$q_d = \frac{8}{800^2} \left[\frac{26,2 + 18,9}{2} + 148 \right]$$

$$\underline{q_d = 21,40 \text{ kN/m}}$$

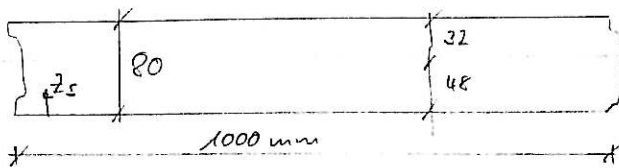
$$w = 1,5 \text{ kW/m}^2$$

$$M = \frac{q l^2}{8} = \frac{1,5 \text{ kW/m}^2 \cdot (3 \text{ m})^2}{8} = 1,69 \frac{\text{kNm}}{\text{m}} \quad (1)$$

$$\max Q = \frac{q l}{2} = \frac{1,5 \text{ kW/m}^2 \cdot 3,0 \text{ m}}{2} = 2,25 \frac{\text{kW}}{\text{m}} \quad (1)$$

$$\max A = q l = 1,5 \text{ kW/m}^2 \cdot 3,0 \text{ m} = 4,50 \frac{\text{kW}}{\text{m}} \quad (1)$$

Querschnittswerte:



$$t_o = 0,75 \text{ mm} \rightarrow A_o = 7,5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$t_u = 0,50 \text{ mm} \rightarrow A_u = 5,0 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$z_s = \frac{7,5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \cdot 8 \text{ cm}}{12,5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}} = 4,8 \text{ cm} \quad (1)$$

$$\frac{\text{Verb. Trägheitsmoment}}{I_v} = 7,5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \cdot (2,2 \text{ cm})^2 + 5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \cdot (4,8 \text{ cm})^2 = 192 \frac{\text{cm}^4}{\text{m}} \quad (\text{Steiner})$$

$$\frac{\text{Verb. Widerstandsmoment}}{W_o} = \frac{I_v}{z_s} = \frac{192 \frac{\text{cm}^4}{\text{m}}}{3,2 \text{ cm}} = 60 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}} \quad (1/2) \quad W_u = \frac{I_v}{z_u} = \frac{192}{4,8} = 40 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}} \quad (1/2)$$

$$A_s = 8 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm} = 800 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad (1)$$

Spannungen:

$$\max \sigma_L^o = \frac{M}{W_o} = \frac{1,69 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}}{60 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}} = 2,82 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (1)$$

$$\max \sigma_L^u = \frac{M}{W_u} = \frac{1,69 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}}{40 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}} = 4,23 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (2)$$

$$\max \tau_L = \frac{Q}{A_s} = \frac{2,25 \frac{\text{kW}}{\text{m}}}{800 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}} = 0,003 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (1)$$

Nachweise:

1) Kriechen: $1,85 \cdot \sigma_L^0 = 2,82 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 1,85 = 5,22 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$
 $= 52,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_k = 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (2)$

2) Fließen: $1,85 \cdot \sigma_L^u = 1,85 \cdot 42,3 = 78,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 320 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (2)$

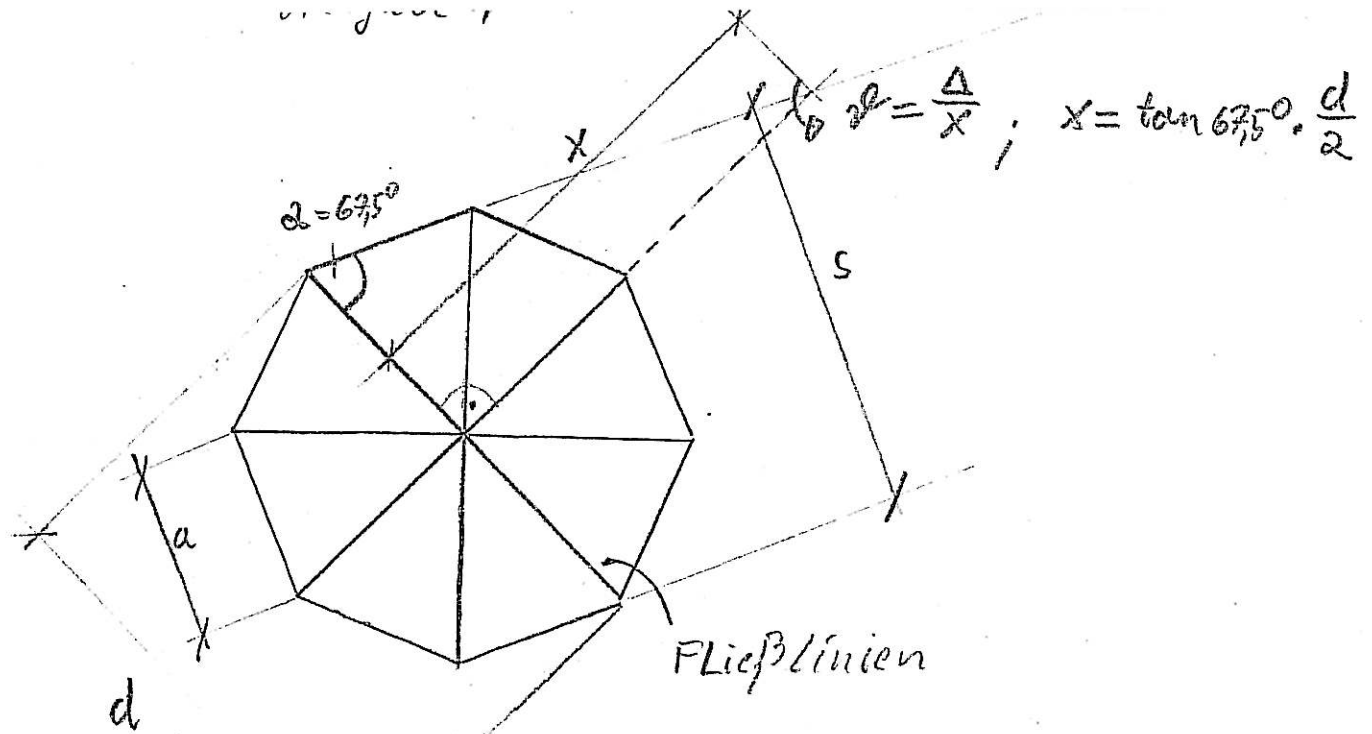
3) Schub: $1,85 \cdot \tau_L = 1,85 \cdot 0,03 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 0,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \frac{f_{ct}}{\eta \tau} = \frac{0,12}{1,2} = 0,1 \quad (2)$

4) Auflagerpressung: $A_n^{\text{zul}} = 100 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot \frac{0,13 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,2} = 10833 \text{ N}$

$$1,85 \cdot 4,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 8,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} < 10,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (2)$$

Aufgabenteil b) kurzweiliges Beulen der druckbeanspruchten Stahldeckschicht (1)

c) Schraubenkopfankering, Ausziehen (1)



$$s = d \cdot \sin 67,5^\circ$$

$$a = d \cdot \sin 22,5^\circ$$

$$A = 2 \cdot a \cdot s = 2 \cdot d^2 \cdot \sin 67,5^\circ \cdot \cos 67,5^\circ$$

$$A_i = m_{PL} \cdot \frac{d}{2} \cdot 2 \cdot \varphi \cdot 8 = 8 \cdot m_{PL} \cdot d \cdot \varphi$$

$$\varphi = \frac{\Delta}{d \cdot \tan 67,5^\circ} \cdot 2$$

$$\Rightarrow A_i = \frac{16 \cdot m_{PL}}{\tan 67,5^\circ} \cdot \Delta$$

$$A_a = \frac{1}{3} \cdot A \cdot \Delta$$

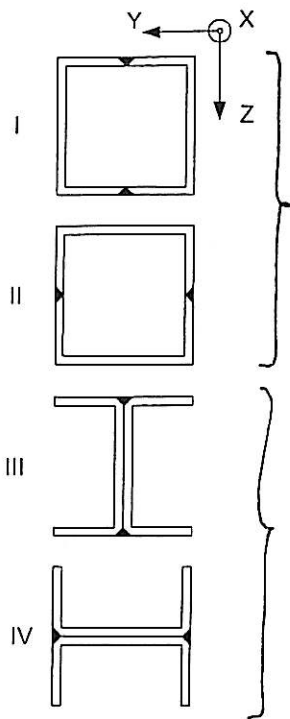
$$A_a = A_i \Rightarrow P = \frac{48 \cdot m_{PL}}{\tan 67,5^\circ} \cdot \frac{1}{A} = 19,88 \cdot \frac{m_{PL}}{A}$$

$$m_{PL, \varnothing} = \frac{t^2}{4} \cdot f_{y, \varnothing} = \frac{1^2}{4} \cdot 24 = 6 \text{ N/mm}^2$$

$$A = 2 \cdot (2 \text{ m})^2 \cdot \sin 67,5^\circ \cdot \cos 67,5^\circ = 2,828 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow p_k = 19,88 \cdot \frac{6}{2,828} = \underline{\underline{42,18 \text{ N/mm}^2}}$$

a)

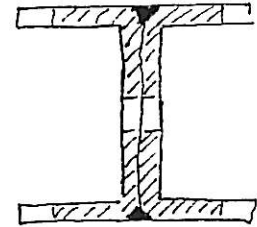
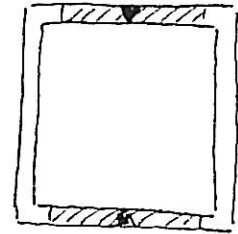


⊕ Hohlprofil i.d.R. günstiger beim Knickstabilitätsnachweis

⊕ geringere WEZ ($\sim 2 \times 60 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$)

⊖ große WEZ ($\sim 4 \times 60 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$)

⊖ Spalt (Korrosion)



Bei Ausführung, I fñhrt das gröÙte Trägheitsmoment & mit der gröÙten ~~Abstand~~ Knicklänge zusammen. Gewählt wird daher I.

$$b) \quad \kappa = \frac{60}{110} = 0,929$$

$$A = 1500 \text{ mm}^2 ; A_{WEZ} = 600 \text{ mm}^2 ; A_K = 1157 \text{ mm}^2$$

$$I = 1,412,500 \text{ mm}^4$$

Knicken in y-Richtung ($\perp z$ -Achse)

$$I_{WEZ} = 180,000 \text{ mm}^4$$

$$I_{K,z} = 1,309,900 \text{ mm}^4$$

$$\left. \begin{array}{l} i_{K,z} = 33,6 \text{ mm} \\ s_{K,z} = 4000 \text{ mm} \end{array} \right\} \lambda_z = 119,0$$

$$u_z = 9,8 \text{ mm}$$

$$N_{E,z} = 52521 \text{ N}$$

$$W_d = 32747,5 \text{ N}$$

$$\bar{N} = 162120 \text{ N}$$

$$N_d = 43500 \text{ N}$$

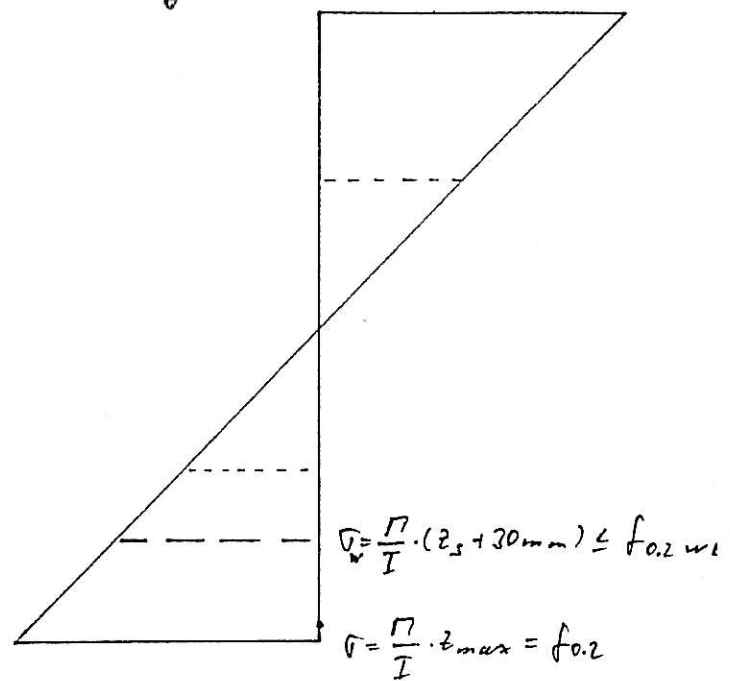
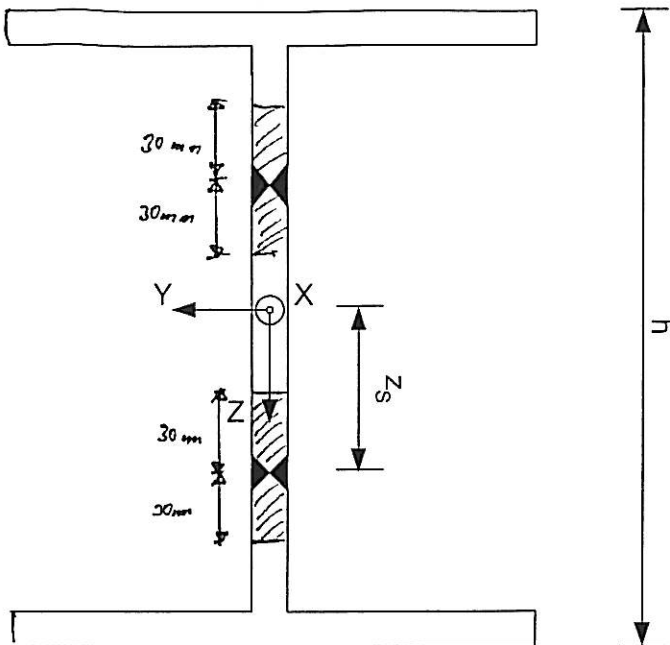
$$M_d = 427562 \text{ Nmm}$$

$$M_K = 5043115 \text{ Nmm}$$

$$\frac{43500}{0,85 \cdot 162120} + \frac{427562}{\left(1 - \frac{43500}{52521}\right) \cdot 0,85 \cdot 5043115}$$

$$= 0,316 + 0,58 = 0,90 < 1$$

- 2 -



$$\frac{P}{I} \cdot z_{max} = f_{0.2} \Leftrightarrow \frac{P}{I} = \frac{f_{0.2}}{z_{max}}$$

$$\frac{M}{I} \cdot (z_s + 30 \text{ mm}) \leq f_{0.2} W E z \quad \Rightarrow \quad \frac{f_{0.2}}{z_{\max}} \cdot (z_s + 30 \text{ mm}) \leq f_{0.2} W E z$$

$$Z_s + 30 \text{ mm} \leq \frac{f_{0.2WZ2}}{f_{0.2}} \cdot Z_{max}$$

$$z_s \leq \frac{f_{0.2 \text{ woz}}}{f_{0.2}} \cdot z_{\max} - 30 \text{ mm}$$

$$m^{-1} \quad K = \frac{f_{0.2 \text{ WEL}}}{f_{0.2}} \quad v. z_{\text{max}} = \frac{h}{z}$$

$$z_s \in \kappa \cdot \frac{h}{2} - 30 \text{ mm}$$

Aufgabe 6:

$$N = 6 \cdot 1400 = 8400 \text{ kN}$$

$$q = 6 \cdot 7,5 = 45 \text{ kN/m} \rightarrow M_I = 45 \cdot \frac{10^2}{8} = 562,5 \text{ kNm}$$

$$\text{Vorkrümmung: } K_{splc} \rightarrow w_b = 0,05 \text{ m} \rightarrow q' = 8400 \cdot 0,05 \cdot \frac{10^2}{8} = 33,6 \text{ kN/m}$$

$$\text{Disclüppel: } N_{ki} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2827703}{1000^2} = 58.594 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{ki}}} = 1,17$$

$$\Rightarrow q'' = 1,17 \cdot (45 + 33,6) = 92 \text{ kN/m}$$

II. O.

$$M_{II} = 92 \cdot \frac{10^2}{8} = 1.150 \text{ kNm}$$

$$G_b = 115000 \cdot \frac{9,02}{282703} + \frac{8400}{1250} = 10,39 \text{ kN/cm}^2$$

$$G_z = 115000 \cdot \frac{42,5 - 9,02}{282703} - \frac{8400}{1250} = 6,90 \text{ kN/cm}^2$$

Wzks. QS:

$$\bullet \text{ Plattenrand: } \psi = 1; k = 0,43; G_e = 18900 \cdot \left(\frac{115}{1000}\right)^2 = 4,27 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{pe} = \sqrt{10,4 \cdot \frac{1,1}{4 \cdot 4,27}} = 2,5 \Rightarrow b' = \frac{0,7 \cdot 100}{2,5} = 28 \text{ cm}$$

$$\bullet \text{ zwischen Stäben: } \psi = 1; k = 4; G_e = 4,27 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{pe} = \sqrt{10,4 \cdot \frac{1,1}{4 \cdot 4,27}} = 0,82 \Rightarrow b' = \frac{0,7 \cdot 100}{0,82} = 85,4 \text{ cm}$$

Abweise:

$$\Delta w = 11,14 - 9,02 = 2,12 \text{ m}$$

$$\Delta q = 8400 \cdot (0,05 + 0,212) \cdot \frac{8}{102} = 47,85 \frac{\text{kJ}}{\text{m}}$$

$$q'' = 1,17 \cdot (45 + 47,85) = 108,6 \frac{\text{kJ}}{\text{m}}$$

$$w_{II} = 108,6 \cdot \frac{102}{8} = 1357,5 \text{ kJm}$$

$$w_{B, \text{max}} = 135750 \cdot \frac{11,14}{250488} + \frac{8400}{863,95} = 15,76 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2}$$

$$w_{2, \text{max}} = 135750 \cdot \frac{42,5 - 9,02}{250488} - \frac{8400}{863,95} = 7,27 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2}$$

0. Stf.:

$$w_{\text{Stf, unten}} = 6,9 \cdot \frac{15,95}{16,95} = 6,5 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2}$$

$$w_{\text{Stf, oben}} = 10,4 \cdot \frac{42,5 - 1,5 - 16,95}{42,5 - 16,95} = 9,8 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2}$$

$$\psi = -0,7 ! k = 7,81 + 6,29 \cdot 0,7 + 9,78 (0,7)^2 = 17$$

$$G_2 = 18900 \cdot \left(\frac{10}{400} \right)^2 = 11,86 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2}$$

$$\Rightarrow \underline{Y_{p,8}} = \left[\frac{9,8 \cdot 1,1}{17 \cdot 11,86} \right] = 0,23 \Rightarrow b' = 40 \cdot (1 - 0,22) \cdot \frac{0,23}{0,23} = 7,56 \text{ m}$$

| | | | |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Platte | $I_{\text{flache}} = \left[2 \cdot \left(28 + \frac{85,4}{2} \right) + 3 \cdot 85,4 \right] \cdot 1,5 = 596,40 \text{ cm}^2$ | $I_{\text{Rand}} = 11,14 \text{ cm}$ | $I_{\text{ps}} = 27488 \text{ cm}^4$ |
| Steg Druck | $5 \cdot 7,56 \cdot 1 = 37,8 \text{ cm}^2$ | $1,5 + \frac{2}{7,56} = 5,28 \text{ cm}$ | $5 \cdot \frac{7,56^3}{12} = 180,03 \text{ cm}^4$ |
| Steg Zug | $5 \cdot 15,95 \cdot 1 = 79,75 \text{ cm}^2$ | $42,5 - 16,95 + \frac{15,95}{2} = 33,53 \text{ cm}$ | $5 \cdot \frac{15,95^3}{12} = 1691 \text{ cm}^4$ |
| Zugflansch | $5 \cdot 30 \cdot 1 = 150 \text{ cm}^2$ | 42 cm | $5 \cdot \frac{30^3}{12} = 1215 \text{ cm}^4$ |

Aufgabe 6:

(13)

$$N = 6 \cdot 1400 = 8400 \text{ kN}$$

$$q = 6 \cdot 7,5 = 45 \text{ kN/m} \rightarrow M^I = 45 \cdot \frac{10^2}{8} = 562,5 \text{ kNm}$$

Vorkrümmung: KSpLc $\rightarrow w_b = 0,05 \text{ m} \rightarrow q' = 8400 \cdot 0,05 \cdot \frac{8}{10^2}$
 $= 33,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Dischinger: $N_{ki} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2.827.703}{1000^2} = 58.594 \text{ kN}$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{ki}}} = 1,17$$

$$\Rightarrow q'' = 1,17 \cdot (45 + 33,6) = 92 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Th. II. O. $M^II = 92 \cdot \frac{10^2}{8} = 1.150 \text{ kNm}$

$$\sigma_0 = 115000 \cdot \frac{9,02}{282.703} + \frac{8400}{1250} = 10,39 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_2 = 115000 \cdot \frac{425 - 9,02}{282.703} - \frac{8400}{1250} = 6,90 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Wizks. QS:

• Plattenrand: $\psi = 1$; $k = 0,43$; $E_e = 18900 \cdot \left(\frac{115}{1000}\right)^2 = 4,127 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

$$\bar{J}_{p,6} = \sqrt{\frac{10,4 \cdot 1,1}{0,43 \cdot 4,127}} = 2,15 \Rightarrow b' = \frac{0,7 \cdot 100}{2,15} = 28 \text{ cm}$$

• zwischen Steifen: $\psi = 1$; $k = 4$; $E_e = 4,127 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

$$\bar{J}_{p,6} = \sqrt{\frac{10,4 \cdot 1,1}{4 \cdot 4,127}} = 0,82 \Rightarrow b' = \frac{0,7 \cdot 100}{0,82} = 85,4 \text{ cm}$$

Urdimension:

(2/3)

$$\Delta w = 11,14 - 9,02 = 2,12 \text{ cm}$$

$$\Delta q = 8400 \cdot (0,05 + 0,212) \cdot \frac{8}{10^2} = 47,85 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$$

$$q'' = 1,17 \cdot (45 + 47,85) = 108,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}}$$

$$M^{\text{II}} = 108,6 \cdot \frac{10^2}{8} = 1.357,5 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{b, \text{max}} = 135750 \cdot \frac{11,14}{250488} + \frac{8400}{863,95} = 15,76 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{z, \text{max}} = 135750 \cdot \frac{42,5 - 9,02}{250488} - \frac{8400}{863,95} = 7,27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

o Step:

$$\sigma_{\text{step, unten}} = 6,9 \cdot \frac{15,95}{16,95} = 6,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{step, oben}} = 10,4 \cdot \frac{42,5 - 1,5 - 16,95}{42,5 - 16,95} = 9,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\varphi = -0,7 ; k = 7,81 + 6,29 \cdot 0,7 + 9,78 (0,7)^2 = 17$$

$$\sigma_e = 18900 \cdot \left(\frac{10}{400}\right)^2 = 11,86 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Rightarrow \bar{\lambda}_{p, \varepsilon} = \sqrt{\frac{9,8 \cdot 1,1}{17 \cdot 11,86}} = 0,23 \Rightarrow b' = \frac{40 \cdot \left(1 - \frac{0,22}{0,23}\right)}{0,23} = 7,56$$

| | Platte | Steg Druck | Steg Zug | Zugflansch |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Fläche $A = 864 \text{ cm}^2$ | $\left[2 \cdot \left(28 + \frac{85,4}{2} \right) + 3 \cdot 85,4 \right] \cdot 1,5$ $= 596,40 \text{ cm}^2$ | $5 \cdot 7,56 \cdot 1$ $= 37,8 \text{ cm}^2$ | $5 \cdot 15,95 \cdot 1$ $= 79,75 \text{ cm}^2$ | $5 \cdot 30 \cdot 1$ $= 150 \text{ cm}^2$ |
| z vom oberen Rand $z_s = 11,14 \text{ cm}$ | 0,75 cm | $1,5 + \frac{7,56}{2}$ $= 5,28 \text{ cm}$ | $42,5 - 16,95 + \frac{15,95}{2}$ $= 33,53 \text{ cm}$ | 42 cm |
| I $I_{ps} = 257488 \text{ cm}^4$ | $\left[2 \cdot \left(28 + \frac{85,4}{2} \right) + 3 \cdot 85,4 \right] \cdot \frac{1,5^3}{12}$ $= 111,83 \text{ cm}^4$ | $5 \cdot \frac{7,56^3}{12}$ $= 180,03 \text{ cm}^4$ | $5 \cdot \frac{15,95^3}{12}$ $= 1691 \text{ cm}^4$ | $5 \cdot \frac{30^3}{12}$ $= 12,5 \text{ cm}^4$ |