

DIPLOM-HAUPTPRÜFUNG

**Dünnwandige Tragwerke und
plastische Bemessung**

06. März 2006

Name:

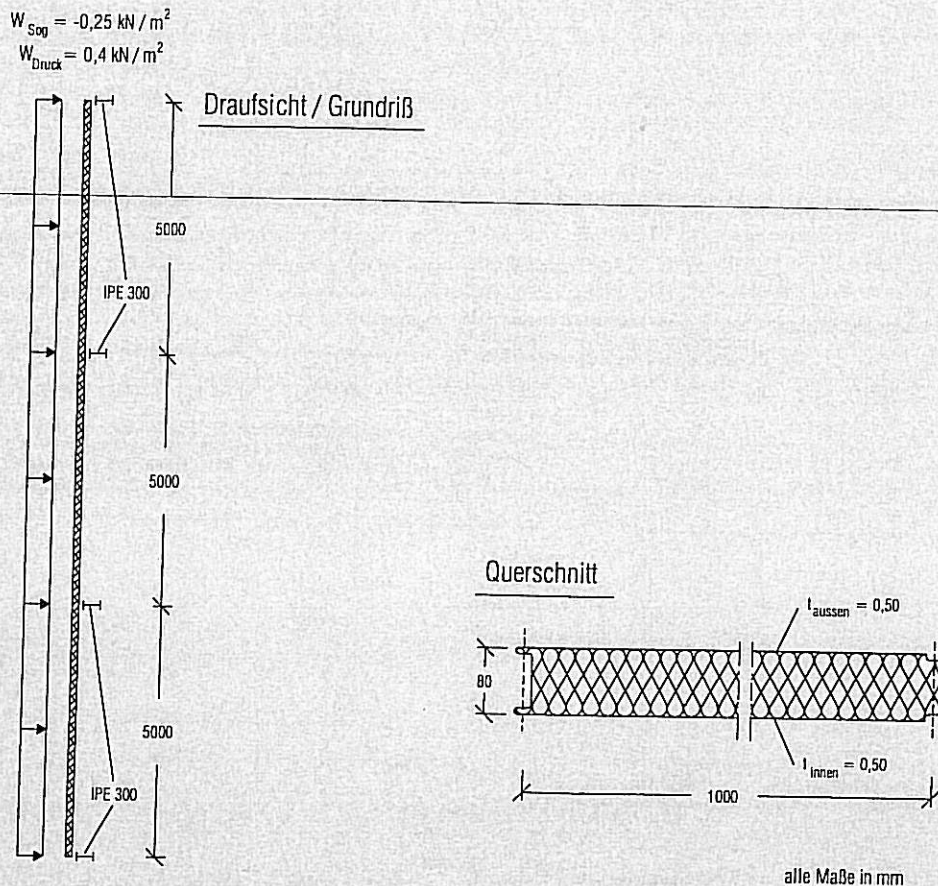
Prüfungszeit: 120 min

Aufgabe:	1	2	3	4
erreichte Punktzahl:				

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

Aufgabe 1**25 min**

Eine Wand einer Lagerhalle wird mit 15m langen Sandwich-Elementen mit ebenen Stahl-deckschichten aus S320GD eingekleidet. Die Konstruktion mit der Windbelastung und der Querschnitt der Sandwichelemente sind in der nachfolgenden Skizze dargestellt:



Führen Sie für dieses System

- alle erforderlichen Nachweise für den rechnerischen Bruchzustand im Anfangszustand $t=0$ bei Beanspruchung aus Winddruck
- alle erforderlichen Nachweise der Gebrauchsfähigkeit im Anfangszustand $t=0$ bei Beanspruchung aus Winddruck und bei der angegebenen Temperaturdifferenz im Winter (vgl. Anlage 1.1)
- Bemessen Sie die Verbindungselemente (vgl. Anlage 1.1 und 1.2) für die Beanspruchung aus Windsog.

Angaben:

$\sigma_k = 115 \text{ N/mm}^2$ (Gebrauchszustand)

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

Die angegebenen Werte für σ_k enthalten die zu berücksichtigenden Abminderungsfaktoren.

$\beta_t = 0,12 \text{ N/mm}^2$, $\beta_D = 0,13 \text{ N/mm}^2$

$\eta_t = 1,2$, $\eta_D = 1,2$

$G_s = 2,7 \text{ N/mm}^2$ (Schubmodul des Schaumes)

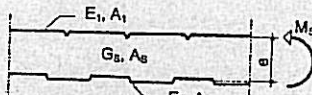
Temperaturdifferenz im Winter: 40K

Anlage 1.1

Abb. 8.1.70 Momentenanteile, Auflagerkräfte und Verformungen bei Sandwichelementen mit "quasi-ebenen" Deckschichten

Beidseitig ebene bzw. quasi-ebene (gesickte, linierte etc.) Deckschichten

System und Belastung	k	$M_s^{(1)}$	$R_e^{(2)}$	$R_u^{(2)}$	$w_{max}^{(2)}$
	$\frac{9,6 \cdot B_s}{l^2 \cdot G_s \cdot A_s}$	$\frac{q \cdot l^2}{8}$	$\frac{q \cdot l}{2}$	—	$\frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot B_s} \cdot (1+k)$
	—	0	0	—	$\frac{l^2 \cdot \Delta T}{8 \cdot e}$
	$\frac{3 \cdot B_s}{l^2 \cdot G_s \cdot A_s}$	$\frac{q \cdot l^2}{8} \cdot \frac{1}{1+k}$	$\frac{q \cdot l}{2} \cdot \left(1 - \frac{1}{4+4k}\right)$	$q \cdot l \cdot \left(1 + \frac{1}{4+4k}\right)$	$\approx \frac{q \cdot l^4}{48 \cdot B_s} \cdot \frac{1}{1+k} \cdot (0,26 + 2,6k + 2k^2)$
		$\frac{3 \cdot B_s \cdot \Delta T}{2 \cdot e} \cdot \frac{1}{1+k}$	$\frac{3 \cdot B_s \cdot \Delta T}{2 \cdot e \cdot l} \cdot \frac{1}{1+k}$	$\frac{3 \cdot B_s \cdot \Delta T}{4 \cdot e \cdot l} \cdot \frac{1}{1+k}$	$\approx \frac{\Delta T \cdot l^2}{32 \cdot e} \cdot \frac{1+4k}{1+k}$
		$\frac{q \cdot l^2}{10 + 4k}$	$\frac{q \cdot l}{2} \cdot \left(1 - \frac{1}{5+2k}\right)$	$q \cdot l \cdot \left(1 + \frac{1}{10+4k}\right)$	$\approx \frac{q \cdot l^4}{24 \cdot B_s} \cdot \frac{1}{5+2k} \cdot (0,83 + 5,6k + 2k^2)$
		$\frac{6 \cdot B_s \cdot \Delta T}{e} \cdot \frac{1}{5+2k}$	$\frac{6 \cdot B_s \cdot \Delta T}{e \cdot l} \cdot \frac{1}{5+2k}$	$\frac{6 \cdot B_s \cdot \Delta T}{e \cdot l} \cdot \frac{1}{5+2k}$	$\approx \frac{\Delta T \cdot l^2}{4 \cdot e} \cdot \frac{1,06+k}{5+2k}$



E_1, A_1, E_2, A_2 = E-Modul und Fläche der oberen (1) und unteren (2) Deckschicht
 G_s, A_s = Schubmodul und Fläche der Kernschicht
 e = Schwerlinienabstand der Deckschichten

$$B_s = \frac{E_1 \cdot A_1 \cdot E_2 \cdot A_2 \cdot e^2}{E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2} \quad \Delta T = (\alpha_2 \cdot T_2 - \alpha_1 \cdot T_1) \quad \sigma_1 = -\frac{M_s}{A_1 \cdot e} \quad \sigma_2 = \frac{M_s}{A_2 \cdot e}$$

- α_i ; T_i = Temperatur-Ausdehnungskoeffizient und Temperatur der Deckschichten
 M_s = bei Einfeldplatten in Feldmitte; bei Zweifeldplatten über der Mittelstütze
 R_e = Endauflagerreaktionen; R_u = bei Mehrfeldplatten Mittelaflagerkräfte
 w_{max} = maximale Durchbiegung

Anlage 1.2

Schrauben

EJOT® JZ7 - 6,3 x L

Blatt: 1.26
Anlage zum Ergänzungsbescheid
vom 5. März 2003
Zulassungs-Nr.: Z-14.4-107

Verbindungs-
element

EJOT® Schraube JZ7-6,3 x L
mit Scheibe 2 Ø 16 mm

Werkstoffe

Schraube
nichtrostender Stahl CRONIMAKS®
(ähnlich Werkstoff-Nr. 1.4301)

Scheibe
nichtrostender Stahl, Werkstoff-Nr. 1.4301
mit auf vulkanisierter EPDM-Dichtung

Hersteller

EJOT Baubefestigungen GmbH
In der Stockwiese 35
D-57334 Bad Laasphe
Tel.: (02752) 908-0; Fax: (02752) 908-31

Vertrieb

EJOT Baubefestigungen GmbH

1 reif II S215Jxx oder S355Jxx (für $s \leq 3$ mm auch S280GD+xx, S320GD+xx oder S350GD+xx)

Blechdicke (mm)	1,50	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	$\geq 6,0$
Bohrloch Ø	5,0			5,3			5,5 5,7 bei $\geq 7,0$

Ver-
schraubung

anschlagorientiert verschrauben

Bauart I, Bleichdicke s_1 bzw. s_2 [mm] (unver- zinkter Standard S355Jxx oder S350GD+xx)	0,50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
0,50	0,50	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
0,63	1,00	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
0,75	1,00	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
0,88	1,00	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
1,00	1,00	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,55	1,00	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
0,63	1,00	1,45	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
0,75	1,00	1,45	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95
0,88	1,00	1,45	1,95	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
1,00	1,00	1,45	1,95	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15

Sandwichdicke d oder D in [mm]	30	20	10	8,5	7	3	3	3
40	26,5	13,5	11	9	4,5	4,5	4,5	4,5
50	33,5	16,5	13,5	11	5,5	5,5	5,5	5,5
60	40	20	16,5	13	7	7	7	7
70	40	23,5	19	15	9,5	9,5	9,5	9,5
80	40	26,5	22	17,5	12,5	12,5	12,5	12,5
100	40	33,5	27,5	21,5	18	18	18	18
120	40	40	33	26	23,5	23,5	23,5	23,5
140	40	40	35,5	30,5	29	29	29	29

Bei Zwischenwerten der Bauteildicken I und II ist jeweils die zulässige Quer- und Zugkraft der geringeren Bauteildicke zu wählen. Bei der Kopfauslenkung ist der jeweils geringere Wert für z_{ul} zu wählen.

Deutscher Institut
für Bauteile

Belastungs-
art

Querkraft
zu F_0
[kN]

Zugkraft
zu F_z
[kN]

Kopfaus-
lenkung
zu z_{ul} [mm]

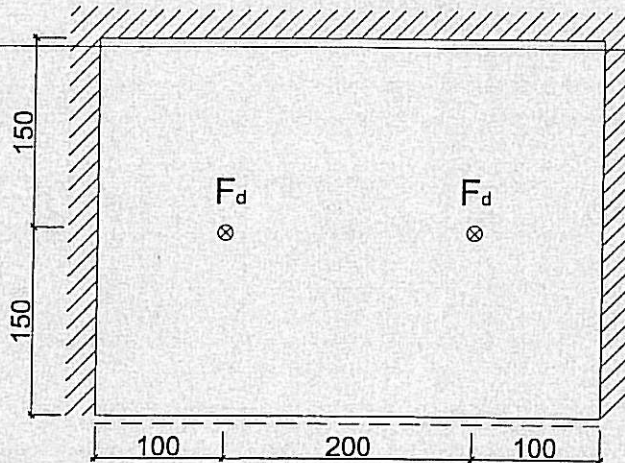
Zulässige Werte gelten auch für
Sandwichelemente mit Mineralwolle

Aufgabe 2

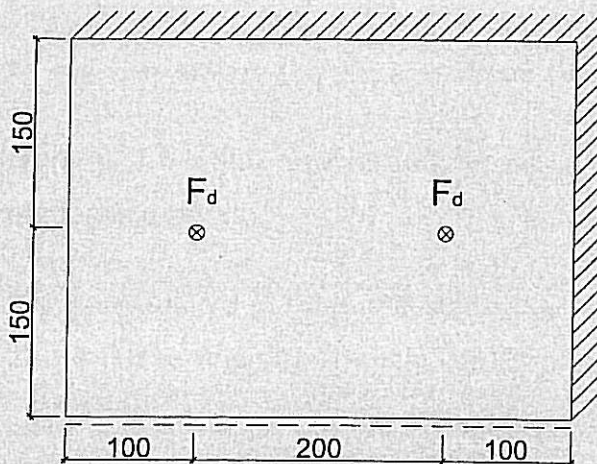
30 min

Bestimmen Sie die Mindestdicke der dargestellten Platten, damit diese nach der Fließlinientheorie voll ausgenutzt sind.

a)



b)



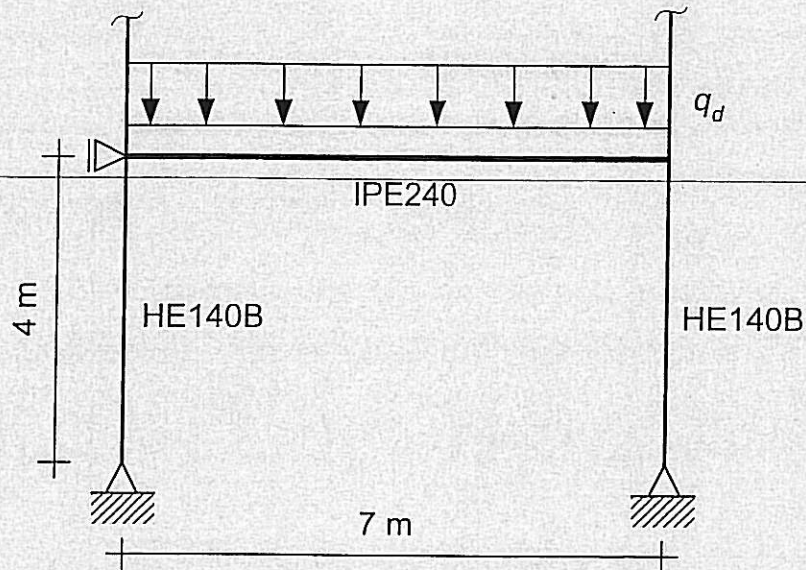
Alle Maße sind in mm angegeben

Werkstoff: S235JR

$F_d = 257 \text{ kN}$

Aufgabe 3**35 min**

Gegeben ist der nachfolgend dargestellte Rahmen aus S235JR, dessen geschweißte Eckknoten steifenlos ausgeführt sind.



- Ermitteln Sie die Anfangssteifigkeit S_{ini} der Moment-Verdrehungs-Beziehung der Eckknoten und stellen Sie diese in einem Diagramm mit Zahlenwerten dar.
- Bestimmen Sie die Grenztragfähigkeit q_d des Riegels und geben Sie die Momentenlinie an.
- Welche konstruktive Maßnahme schlagen Sie aufgrund des Bemessungsergebnisses zu Verbesserung der Traglast vor (Begründung)?

Hinweise:

$$k_{wc} = 1$$

Schweißnahtdicken: $a = 0,5t$

Aufgabe 1 Musterlösung

①

Querschnittsrechte

$$A_{\text{Heim}} = 100 \frac{\text{cm}}{\text{m}} \cdot 8 \text{ cm} = 800 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} = A_s$$

$$A_{\text{Deckschicht}} = 0,05 \text{ cm} \cdot 100 \frac{\text{cm}}{\text{m}} = 5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$W = A_{\text{Deckschicht}} \cdot h = 5 \text{ cm}^2 \cdot 8 \text{ cm} = 40 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}$$

$$A_{\text{IPE 3300}} = b_{\text{IPE 3300}} \cdot l = 15 \text{ cm} \cdot 100 \frac{\text{cm}}{\text{m}} = 1500 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

 a) Nachweise im rechnerischen Bruchzustand $t = 0$
 \Rightarrow Fließgebrüche nicht zu prüfen

 \Rightarrow System aus Einfeldträgern

$$M = q \frac{l^2}{8} = 0,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{5^2 \text{ m}^2}{8} = 1,25 \text{ kNm/m}$$

$$Q = q \cdot \frac{l}{2} = 0,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{5 \text{ m}}{2} = 1,0 \text{ kN/m}$$

$$A = q \cdot l = 2,0 \text{ kN/m}$$

• Knicken der gedrückten Deckschicht:

$$\bar{\sigma}_D = 1,85 \cdot \bar{\sigma}_L + 1,3 \cdot \bar{\sigma}_T \leq \bar{\sigma}_k$$

$$\bar{\sigma}_L = \frac{M}{W} = \frac{1,25 \text{ kNm/m}}{40 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}} \cdot 10^3 = 31,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\bar{\sigma}_D = 1,85 \cdot 31,3 = 57,8 < 100 \quad \checkmark$$

Nachweis Stahlfließen ist nicht aufgegeben

(2)

• Nachweis Schub

$$\tilde{\tau} = 1,85 \tilde{\tau}_L + 1,3 \tilde{\tau}_T < \frac{\beta_T}{\gamma_c}$$

$$\tilde{\tau}_L = \frac{Q}{A_{\text{Kern}}} = \frac{1,0 \text{ kN/m}}{800 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}} \cdot 10 = 0,0125 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tilde{\tau} = 1,85 \cdot 0,0125 = 0,0231 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \frac{0,12}{1,2} = 0,10 \quad \checkmark$$

• Nachweis Auflagerpressung

$$1,85 A_L \leq A_u$$

$$A_u = A_{\text{Auflage}} \cdot \frac{\beta_d}{\gamma_d} = 1500 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{0,13 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,2}$$

$$A_u = 16,3 \text{ kN/m}$$

$$1,85 A_L = 1,85 \cdot 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 3,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}} < 16,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \checkmark$$

b) Nachweise Gebrauchsfähigkeit $t = 0$

$$\beta_s = \frac{F_1 A_1 E_2 A_2 e^2}{E_1 A_1 + E_2 A_2} \quad \text{mit } E_1 A_1 = E_2 A_2$$

$$\beta_s = \frac{E A e^2}{2} = \frac{21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \cdot 8 \text{ cm}^2}{2} = 3360000 \frac{\text{kN cm}^2}{\text{m}}$$

$$\Delta T' = 2 \cdot \Delta T = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 40 = 48 \cdot 10^{-5}$$

$$k = \frac{3 \beta_s}{e^2 \beta_s A_s} = \frac{3 \cdot 3360000 \frac{\text{kN cm}^2}{\text{m}}}{5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 800 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}} = 1867 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2}$$

$$k = 0,187$$

maßgebend: Stützmoment

$$M_L = \frac{1}{10+4k} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{10+4 \cdot 0,187} \cdot 0,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 25 \text{ m}^2 = 0,930 \text{ kNm/m}$$

$$Q_L = \frac{1}{2R_m} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l \left(1 + \frac{1}{10+4k} \right) = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 5 \text{ m} \cdot \left(1 + \frac{1}{10+4 \cdot 0,187} \right)$$

$$Q_L = 1,09 \text{ kN/m}$$

$$A_L = 2,18 \text{ kN/m}$$

$$M_T = \frac{6B_s \cdot \Delta T}{l \cdot (5+2k)} = \frac{6 \cdot 3360000 \frac{\text{kNm}^2}{\text{m}} \cdot 48 \cdot 10^{-5}}{8 \text{ cm} \cdot (5+2 \cdot 0,187)} = 225 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_T = 2,25 \text{ kNm/m}$$

$$Q_T = \frac{1}{2} \cdot \frac{M_T}{l} = \frac{2,25 \text{ kNm/m}}{2 \cdot 5 \text{ m}} = 0,225 \text{ kN/m}$$

$$A_T = 0,450 \text{ kN/m}$$

• Nachweis gegen Kriechen:

$$1,1(\bar{\sigma}_L + \psi \bar{\sigma}_T) \leq \bar{\sigma}_k$$

$$1,1 \cdot \frac{0,93 \frac{\text{kNm}}{\text{m}} + 0,9 \cdot 2,25 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}}{40 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}} \cdot 10^3 = 81,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 115 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

→ Nachweis gegen Stahlflußen ist nicht maßgebend

• Nachweis Schub

$$1,4 (\bar{\tau}_L + \bar{\tau}_T) < \beta_T$$

$$1,4 \cdot \frac{1,09 + 0,225}{800 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}} \cdot 10 = 0,023 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 0,12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

• Nachweis Auflage

$$1,4 \cdot (A_L + A_T) < A_{\text{auflage}} \beta_d$$

$$1,4 \cdot (2,18 + 0,45) \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 3,68 \frac{\text{kN}}{\text{m}} < 1500 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{1}{10} \cdot 0,13 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ < 19,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \checkmark$$

$$\begin{aligned} c) \quad A_L &= q \cdot l \left(1 + \frac{1}{10 + 4h} \right) \\ &= -0,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 5 \text{ m} \cdot \left(1 + \frac{1}{10 + 4 \cdot 0,187} \right) = 1,37 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \end{aligned}$$

Zulässige Schubkraft: 1,0 kN je Schraube

gewählt: 2 F 70T y 27-6,3 x L je lfd. m

$$A_L = 1,37 \frac{\text{kN}}{\text{m}} < 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = \text{zul } F_2 \quad \checkmark$$

Aufgabe 1 Musterlösung, Bewertung

①

Querschnittsreste

$$A_{\text{Kern}} = 100 \frac{\text{cm}}{\text{m}} \cdot 8 \text{ cm} = 800 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} = A_s$$

$$A_{\text{Deckschicht}} = 0,05 \text{ m} \cdot 100 \frac{\text{cm}}{\text{m}} = 5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$W = A_{\text{Deckschicht}} \cdot h = 5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \cdot 8 \text{ cm} = 40 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}$$

$$A_{\text{Auflager}} = b_{\text{IPE 3500}} \cdot l = 15 \text{ cm} \cdot 100 \frac{\text{cm}}{\text{m}} = 1500 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

a) Nachweise im rechnerischen Bruchzustand $t = 0$

=> Fließgebrüche nicht der Stützen

=> System aus Einfeldträgern

$$M = q \frac{l^2}{8} = 0,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{5^2 \text{ m}^2}{8} = 1,25 \text{ kNm/m}$$

$$Q = q \cdot \frac{l}{2} = 0,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{5 \text{ m}}{2} = 1,0 \text{ kN/m}$$

$$A = q \cdot l = 2,0 \text{ kN/m}$$

• Knittkern der gedrückten Deckschicht:

$$\bar{\sigma}_D = 1,85 \cdot \bar{\sigma}_L + 1,3 \cdot \bar{\sigma}_T \leq \bar{\sigma}_K$$

$$\bar{\sigma}_L = \frac{M}{W} = \frac{1,25 \text{ kNm/m}}{40 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}} \cdot 10^3 = 31,25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\bar{\sigma}_D = 1,85 \cdot 31,3 = 57,8 < 100 \quad \checkmark$$

Nachweis Stahl fließen ist nicht aufgebend

• Nachweis Schub

$$\tilde{\tau} = 1,85 \tilde{\tau}_L + 1,3 \tilde{\tau}_T < \frac{\beta_T}{\eta_{\tilde{\tau}}}$$

$$\tilde{\tau}_L = \frac{Q}{A_{\text{Kern}}} = \frac{1,04 \text{ kN/m}}{800 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}} \cdot 10 = 0,0125 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tilde{\tau} = 1,85 \cdot 0,0125 = 0,0231 < \frac{0,12}{1,2} = 0,10 \quad \checkmark$$

• Nachweis Auflagerpressung

$$1,85 A_L \leq A_u$$

$$A_u = A_{\text{Auflager}} \cdot \frac{\beta_d}{\eta_d} = 1500 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{0,13 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,2}$$

$$A_u = 16,3 \text{ kN/m}$$

$$1,85 A_L = 1,85 \cdot 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 3,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}} < 16,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \checkmark$$

b) Nachweise Gebrauchsfähigkeit $t = 0$

$$B_s = \frac{E_1 A_1 E_2 A_2 e^2}{E_1 A_1 + E_2 A_2} \quad \text{mit } E_1 A_1 = E_2 A_2$$

$$B_s = \frac{E A e^2}{2} = \frac{210000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \cdot 8 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}}{2} = 3360000 \frac{\text{kN cm}^2}{\text{m}}$$

$$\Delta T' = 2 \cdot \Delta T = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 40 = 48 \cdot 10^{-5}$$

$$k = \frac{3 B_s}{e^2 G_s A_s} = \frac{3 \cdot 3360000 \frac{\text{kN cm}^2}{\text{m}}}{5^2 \text{ m}^2 \cdot 0,27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 800 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}} = 186,4 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2}$$

$$k = 0,187$$

③

maßgebend: Stützmoment

$$M_L = \frac{1}{10 + 4k} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{10 + 4 \cdot 0,187} \cdot 0,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 25 \text{ m}^2 = 0,930 \text{ kNm/m}$$

$$Q_L = \frac{1}{2R_m} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l \left(1 + \frac{1}{10 + 4k} \right) = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 5 \text{ m} \cdot \left(1 + \frac{1}{10 + 4 \cdot 0,187} \right)$$

$$Q_L = 1,09 \text{ kN/m}$$

$$A_L = 2,18 \text{ kN/m}$$

$$M_T = \frac{6B_s \cdot \Delta T^1}{l \cdot (5 + 2k)} = \frac{6 \cdot 3360000 \frac{\text{kN cm}^2}{\text{m}} \cdot 48 \cdot 10^{-5}}{8 \text{ cm} \cdot (5 + 2 \cdot 0,187)} = 225 \frac{\text{kN cm}}{\text{m}}$$

$$M_T = 2,25 \text{ kNm/m}$$

$$Q_T = \frac{1}{2} \cdot \frac{6M_T}{l} = \frac{2,25 \text{ kNm/m}}{2 \cdot 5 \text{ m}} = 0,225 \text{ kN/m}$$

3

$$A_T = 0,450 \text{ kN/m}$$

• Nachweis gegen Knittern:

$$1,1 \cdot (\sigma_L + \psi \sigma_T) \leq \sigma_k$$

$$1,1 \cdot \frac{0,93 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 0,9 \cdot 2,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{40 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}} \cdot 10^3 = 81,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 115 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

→ Nachweis gegen Stahlfließen ist nicht maßgebend

1

(4)

• Nachweis Schub

$$1,4 (\bar{\tau}_L + \bar{\tau}_T) < \beta_T$$

1

$$1,4 \cdot \frac{1,09 + 0,225}{800 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}} \cdot 10 = 0,023 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 0,12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

• Nachweis Auflager

$$1,4 \cdot (A_L + A_T) < A_{\text{auflager}} \beta_d$$

1

$$1,4 \cdot (2,18 + 0,45) \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 3,68 \frac{\text{kN}}{\text{m}} < 1500 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{1}{10} \cdot 0,13 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$< 19,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \checkmark$$

c) $A_L = q \cdot l \left(1 + \frac{1}{10 + 4h} \right)$

$$= -0,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 5 \text{ m} \cdot \left(1 + \frac{1}{10 + 4 \cdot 0,187} \right) = 1,34 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

zulässige Schraubenkraft: 1,0 kN je Schraube

2

gewählt: 2 E 90T y 27-6,3 x L je Aufl.-m

$$A_L = 1,34 \frac{\text{kN}}{\text{m}} < 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = \text{zul } F_z \quad \checkmark$$

Aufgabe 2

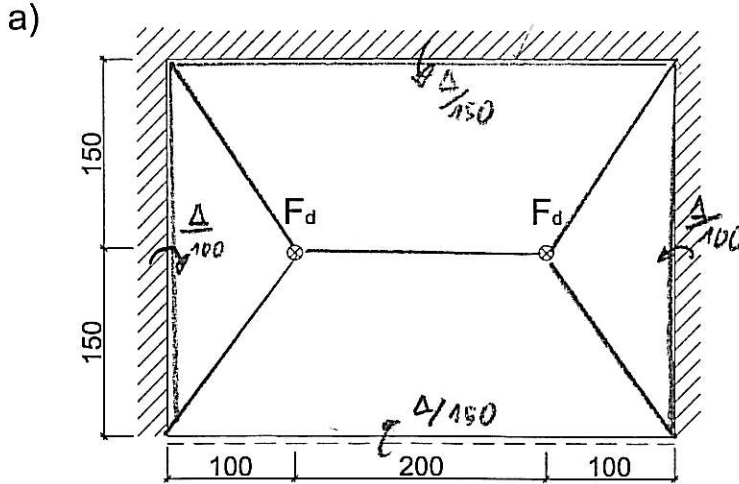
30 min

Bestimmen Sie die Mindestdicke der dargestellten Platten, damit diese nach der Fließlinientheorie voll ausgenutzt sind.

$$A_i = m_{pl,d} \left[\frac{\Delta}{\sigma_{yk}} \cdot (400 + 400 \cdot 2) + \frac{\Delta}{\sigma_{yk}} \cdot (300 \cdot 4) \right]$$

$$A_i = m_{PL} d \left[\frac{\Delta}{150} \cdot (400 + 400 \cdot 2) + \frac{\Delta}{100} \cdot (300 \cdot 4) \right]$$

$$= m_{PL} d \cdot \Delta \cdot 20$$

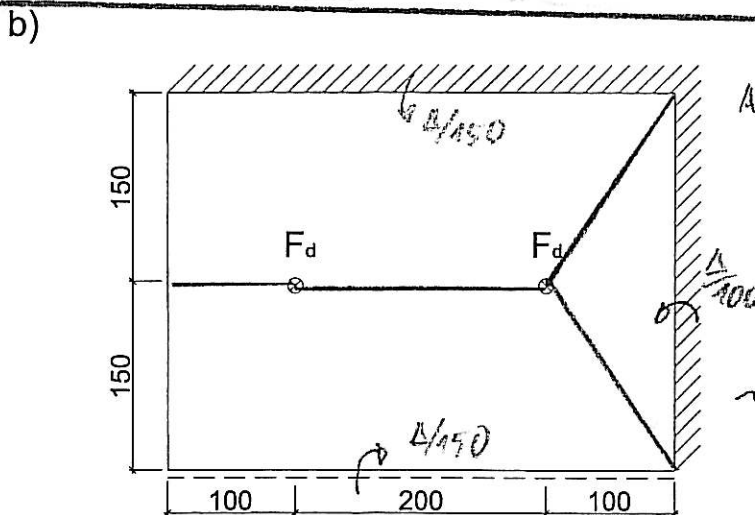


$$A_a = F_d \cdot \Delta$$

$$\Rightarrow M_{PL,d} \geq \frac{F_d}{20}$$

$$\rightarrow t \geq \sqrt{\frac{F_d \cdot 4}{20 f_{yd}}}$$

$$t \geq \sqrt{\frac{0.257 \cdot 4}{20 \cdot 21,8}} = 2,17 \text{ cm} = 21,7 \text{ mm}$$



$$A_i = m_{pl,d} \cdot \left[\frac{\Delta}{150} \cdot (400 + 500) + \frac{\Delta}{100} \cdot (200 - 2) \right]$$

$$= W_{PL,d} \cdot \Delta \cdot 12$$

$$A_a = F_d \cdot \Delta$$

$$t \geq \sqrt{\frac{2 \cdot 257 \cdot 4}{12 \cdot 21,8}} = 2,80 \text{ cm}$$

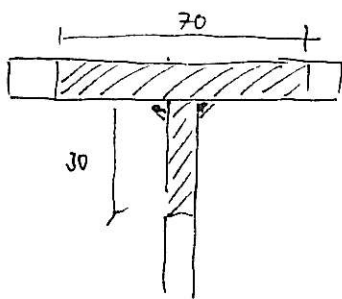
= 28,0 mm

Alle Maße sind in mm angegeben

Werkstoff: S235JR

$$F_d = 257 \text{ kN}$$

Sh



Dünnwandige I- und T-profile Plastische Bemessung

$$k = \frac{125}{230} = 0,54 \Rightarrow 1-k = 0,46$$

$$A_1 = 8 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 8 \text{ cm}^2$$

$$I_1 = 0,67 \text{ cm}^4$$

$$I_2 = 42,7 \text{ cm}^4$$

$$Z_1 = 7,25 \text{ cm}$$

$$Z_2 = 7,25 \text{ cm}$$

$$A_{1\text{web}} = 7,0 \text{ cm}^2$$

$$A_{2\text{web}} = 3,0 \text{ cm}^2$$

$$I_{1\text{web}} = 0,58 \text{ cm}^4$$

$$I_{2\text{web}} = 2,25 \text{ cm}^4$$

Aufgabe 4
Musterlösung

$$A = 10 \text{ cm}^2$$

$$I = 124,4 \text{ cm}^4$$

$$A_k = 16 - 0,46 \cdot 10 = 11,4$$

$$\Delta Z_k = \frac{0,46 \cdot (7 \cdot (-7,25) + 3 \cdot (-7,25))}{11,4} = 0,67 \text{ cm}$$

$$e_{kz} = 6,25 - 0,67 = 5,58 \text{ cm}$$

$$e_{kd} = 7,25 + 0,67 = 3,42 \text{ cm}$$

$$W_k = 124,4 - 0,46 \cdot (0,58 + 7,25) - 0,46 \cdot (7 \cdot 7,25^2 + 3 \cdot 7,25^2) - 11,4 \cdot 0,67^2 = 101,6 \text{ cm}^3$$

$$W_{kd} = \frac{101,6}{3,42} = 29,2 \text{ cm}^2$$

$$W_{kz} = \frac{101,6}{5,58} = 18,2 \text{ cm}^2$$

$$i = \sqrt{\frac{101,6}{11,4}} = 2,99$$

$$\lambda = \frac{500}{2,99} = 162$$

$$\mu = i \left(\frac{\lambda}{140} \right)^2 = 4,75 \text{ cm} \quad \nu = 7 / \bar{\mu} = 0,8 / E = 65000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$\alpha_m = 0,8 + 0,3 = 1,1$$

$$N^* = 26,1 \text{ kN}$$

$$M_y = 15 \cdot (1,1 \cdot 0,67 + 4,75) = 74,8 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_1 = 23 \cdot 11,4 = 262 \text{ kNm}$$

$$I_1^* = 0,2 \cdot 23 \cdot 292 = 478,2 \text{ kNcm}$$

$$\frac{6}{2} \cdot \frac{17}{26,1} = 1,7 > 1$$

$$\frac{17}{0,8 \cdot 262} + \frac{74,8}{(1-0,57) \cdot 0,8 \cdot 4282} = 0,07 + 0,34 = 0,41$$

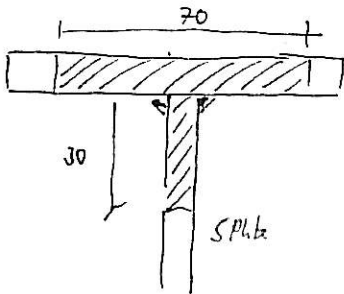
oder

$$\omega = 11,3$$

$$M = 0,67 \cdot N = 6,7 \text{ kNcm}$$

$$11,3 \cdot \frac{10}{11,4} + 0,9 \cdot \frac{6,7}{29,2} = 9,9 + 0,2 = 10,1 < 11,5$$

$$11,3 \cdot \frac{10}{11,4} + \frac{300 + 2 \cdot 167}{1000} \cdot \frac{6,7}{18,2} = 9,9 + 0,2 = 10,1 < 11,5$$



$$k = \frac{125}{230} = 0,54 \Rightarrow 1-k = 0,46$$

$$A_1 = 8 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 8 \text{ cm}^2$$

$$A = 10 \text{ cm}^2$$

$$I_1 = 0,67 \text{ cm}^4$$

$$I_2 = 42,7 \text{ cm}^4$$

$$I = 124,4 \text{ cm}^4$$

$$z_1 = 7,25 \text{ cm}$$

$$z_2 = 7,25 \text{ cm}$$

$$A_{1,web} = 2,0 \text{ cm}^2$$

$$A_{2,web} = 3,0 \text{ cm}^2$$

$$I_{1,web} = 0,58 \text{ cm}^4$$

$$I_{2,web} = 2,25 \text{ cm}^4$$

$$A_k = 16 - 0,46 \cdot 10 = 11,4$$

$$\Delta z_k = \frac{0,46 \cdot (7 \cdot (-7,25) + 3 \cdot (-0,25))}{11,4} = 0,67 \text{ cm}$$

$$e_{kz} = 6,25 - 0,67 = 5,58 \text{ cm}$$

$$e_{kd} = 7,25 + 0,67 = 3,42 \text{ cm}$$

$$= 124,4 - 0,46 \cdot (0,58 + 2,25) - 0,46 \cdot (7 \cdot 7,25^2 + 3 \cdot 0,25^2) - 11,4 \cdot 0,67^2 = 101,6 \text{ cm}^4$$

$$W_{kd} = \frac{101,6}{3,42} = 29,7 \text{ cm}^3$$

$$W_{kz} = \frac{101,6}{5,58} = 18,2 \text{ cm}^3$$

$$i = \sqrt{\frac{101,6}{11,4}} = 2,99$$

$$\lambda = \frac{500}{2,99} = 167$$

$$\mu = i \left(\frac{\lambda}{140} \right)^2 = 4,75 \text{ cm} \quad \left[\mu = \gamma / \bar{\mu} = 0,8 / E = 65000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$\alpha_m = 0,8 + 0,3 = 1,1$$

$$N^* = 76,1 \text{ kN}$$

$$M_y = 15 \cdot (1,1 \cdot 0,67 + 4,75) = 74,8 \text{ kN}$$

$$\bar{N} = 23 \cdot 11,4 = 262 \text{ kN}$$

$$r_1 = 0,2 \cdot 23 \cdot 29,7 = 478,2 \text{ kNcm}$$

$$\frac{6}{2} \cdot \frac{15}{26,1} = 1,7 > 1$$

$$\frac{15}{0,8 \cdot 262} + \frac{74,8}{(1 - 0,57) \cdot 0,8 \cdot 478,2} = 0,07 + 0,34 = 0,41$$

oder

$$\omega = 11,3$$

$$M = 0,67 \cdot N = 6,7 \text{ kNcm}$$

$$11,3 \cdot \frac{10}{11,4} + 0,5 \cdot \frac{6,7}{29,7} = 9,9 + 0,2 = 10,1 < 11,5$$

$$11,3 \cdot \frac{10}{17,4} + \frac{300 + 2 \cdot 167}{1000} \cdot \frac{6,7}{18,2} = 9,9 + 0,2 = 10,1 < 11,5$$