

# Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau

Universität Fridericiana Karlsruhe  
Univ.-Professor Dr.-Ing. Helmut Saal

76131 Karlsruhe  
Kaiserstraße 12

## DIPLOM-HAUPTPRÜFUNG

### Dünnwandige Tragwerke und plastische Bemessung

10. August 2006

Name: .....

Prüfungszeit: 120 min

|                         |   |   |   |   |
|-------------------------|---|---|---|---|
| Aufgabe:                | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Erreichte<br>Punktzahl: |   |   |   |   |

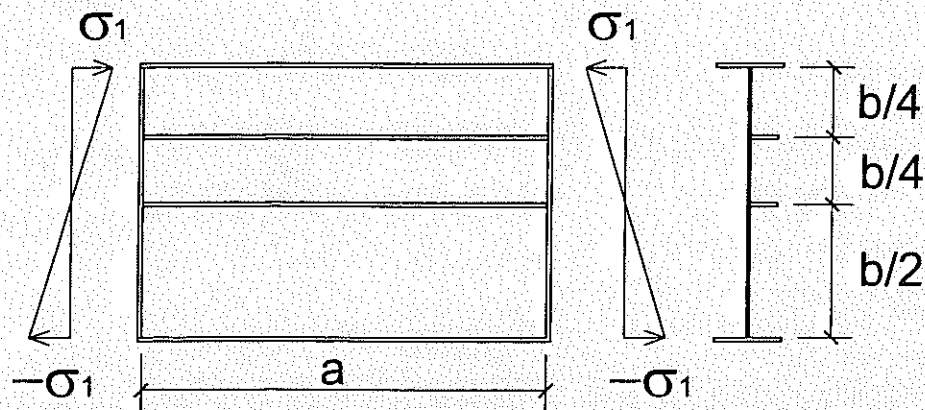
|                        |  |
|------------------------|--|
| abgegebene<br>Blätter: |  |
|------------------------|--|

Sh

## Aufgabe 1

25 min

- a) Bestimmen Sie für das unten dargestellte Beulfeld eines Biegeträgers die Grenzbeulspannung, wenn Beulsteifen verwendet werden, die die Mindeststeifigkeit haben.
- b) Bestimmen Sie die Grenzbeulspannung, wenn die unten angegebenen Beulsteifen verwendet werden.



Angaben:

$$a = 2000 \text{ mm}$$

$$b = 2000 \text{ mm}$$

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

$$\text{Beulsteifen: BI 50x10}$$

$$\text{Werkstoff: S355J2}$$

$$\text{Beulwerttafel: siehe nächste Seite}$$

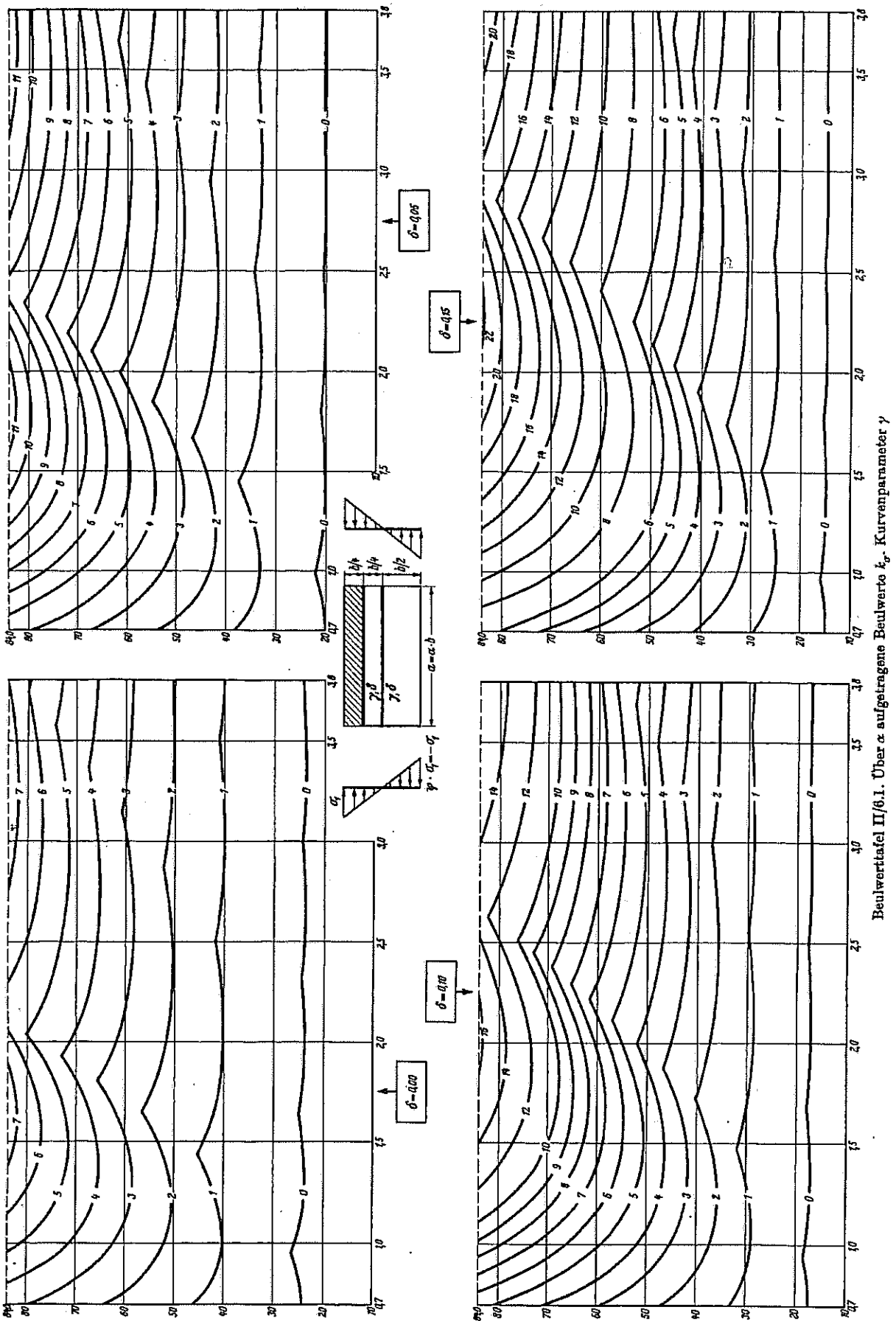
Ergebnis:

$$a) \quad k_{\sigma} = 7,01$$

$$\sigma_{p,r,d} = 324 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$b) \quad k_{\sigma} = \frac{1}{2}(61 + 41) = 51$$

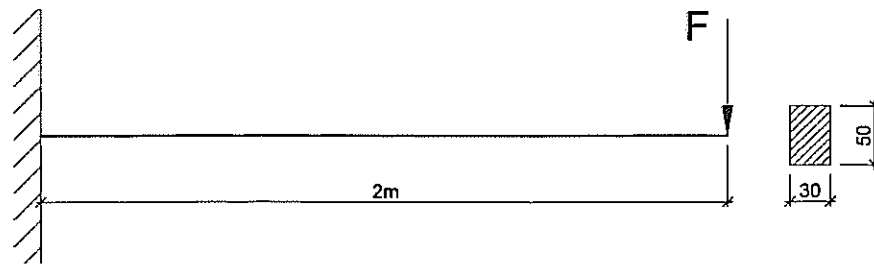
$$\sigma_{p,r,d} = 275 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



sh

**Aufgabe 2****30 min**

Der unten dargestellte Kragträger mit einem Rechteckquerschnitt (30x50mm) wird am freien Ende mit einer Last  $F$  belastet.



a) Bestimmen Sie die Punkte auf der Momenten-Krümmungsbeziehung für

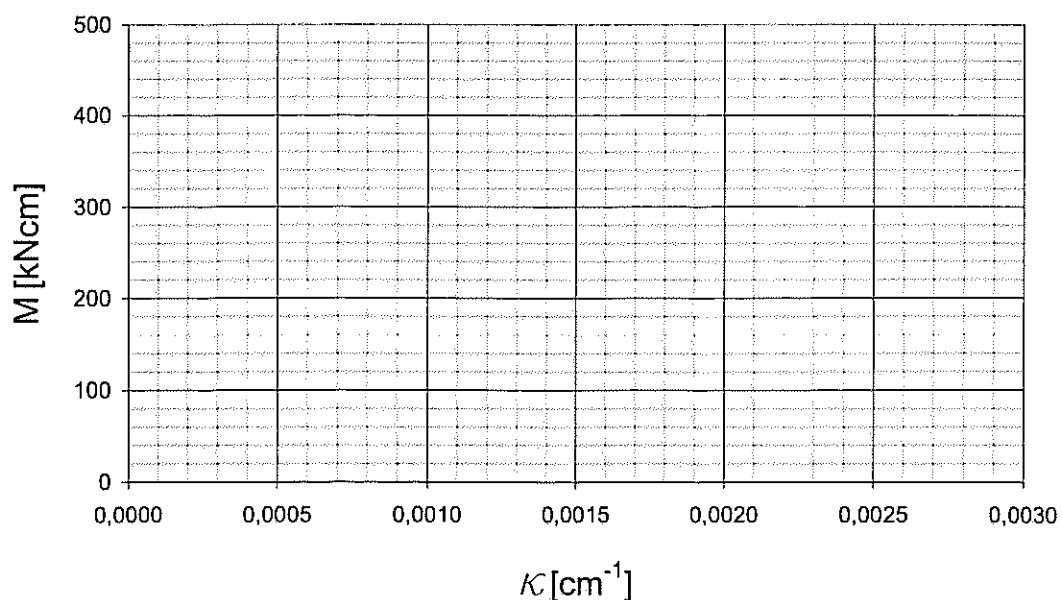
- $M_{el}$
- $0,9M_{pl}$
- $0,98M_{pl}$

und nähern Sie die Momenten-Krümmungsbeziehung durch einen Geradenzug an.

b) Bestimmen Sie die maximale bleibende Durchbiegung nach der Fließzonentheorie, wenn der Kragträger bis  $0,98M_{pl}$  belastet und danach vollkommen entlastet wird. Verwenden Sie dazu die angenäherte Momenten-Krümmungsbeziehung aus Aufgabenteil a).

c) Was ergibt sich nach der Fließgelenktheorie für die bleibende Durchbiegung?

Werkstoff: S235JR (linear elastische – ideal plastische Spannungsdehnungsbeziehung)

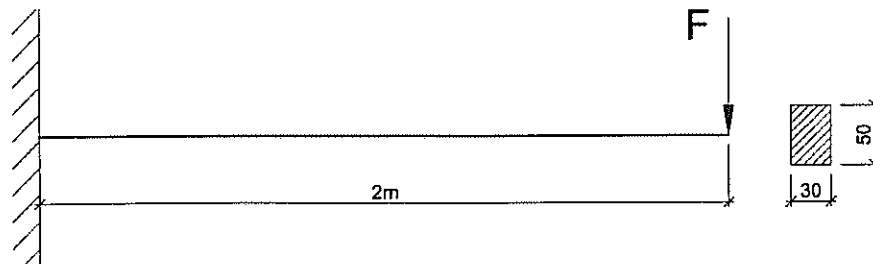


8h

## Aufgabe 2

30 min

Der unten dargestellte Kragträger mit einem Rechteckquerschnitt (30x50mm) wird am freien Ende mit einer Last  $F$  belastet.



a) Bestimmen Sie die Punkte auf der Momenten-Krümmungsbeziehung für

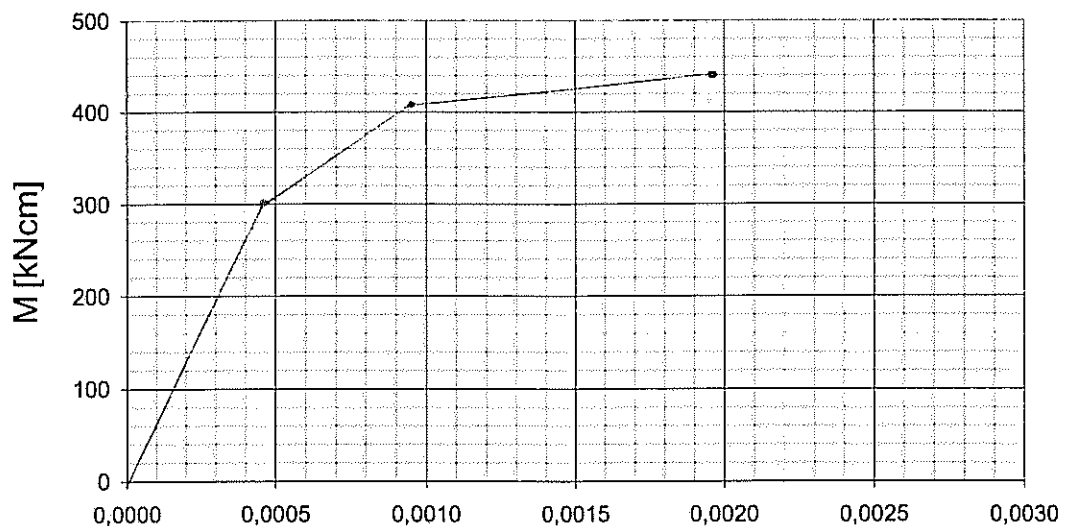
- $M_{el} = 300 \text{ kNcm} \rightarrow \kappa = 4,57 \cdot 10^{-4} \text{ 1/cm}$
- $0,9M_{pl} = 405 \text{ kNcm} \rightarrow \kappa = 8,28 \cdot 10^{-4} \text{ 1/cm}$
- $0,98M_{pl} = 441 \text{ kNcm} \rightarrow \kappa = 18,7 \cdot 10^{-4} \text{ 1/cm}$

und nähern Sie die Momenten-Krümmungsbeziehung durch einen Geradenzug an.

b) Bestimmen Sie die maximale bleibende Durchbiegung nach der Fließzonentheorie, wenn der Kragträger bis  $0,98M_{pl}$  belastet und danach vollkommen entlastet wird. Verwenden Sie dazu die angenäherte Momenten-Krümmungsbeziehung aus Aufgabenteil a).

c) Was ergibt sich nach der Fließgelenktheorie für die bleibende Durchbiegung?

Werkstoff: S235JR (linear elastische – ideal plastische Spannungsdehnungsbeziehung)

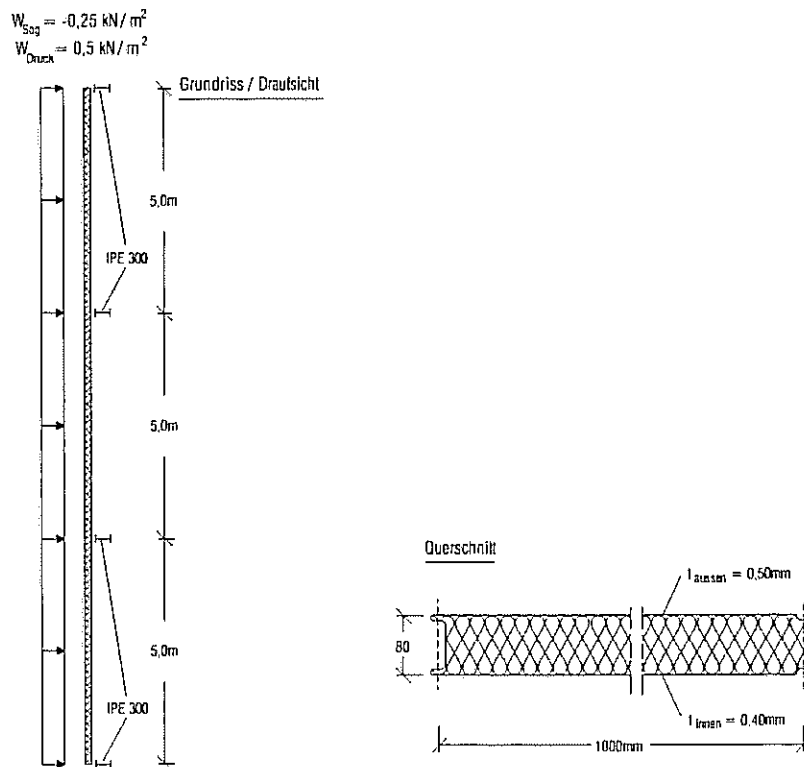


b)  $w = 4,62 \text{ cm}$        $\kappa [\text{cm}^{-1}]$

c) keine bleibende Durchbiegung nach der Fließgelenktheorie

**Aufgabe 3****30 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 und Temperaturbelastung im Sommer.
- alle erforderlichen Nachweise der Gebrauchsfähigkeit im Anfangszustand  $t=0$  bei Beanspruchung aus Winddruck und bei der angegebenen Temperaturdifferenz im Winter (vgl. Anlage 3.1).
- die Nachweise für die Verbindungselemente (vgl. Anlage 3.1 und 3.2) für die Beanspruchung aus Windsog und Temperatur im Sommer.

Angaben:

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

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

$\sigma_k = 86 \text{ N/mm}^2$  (Bruchzustand unter erhöhter Temperatur)

Die angegebenen Werte für  $\sigma_k$  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:  $-40\text{K}$ , im Sommer:  $55\text{K}$

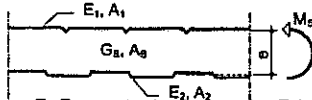
gh

## Anlage 3.1

Abb. 8.170 Momentenanteile, Auflagerkräfte und Verformungen bei Sandwichelementen mit „quasi-ebenen“ Deckschichten

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

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



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

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

- $\alpha_i, T_i$  = Temperatur-Ausdehnungskoeffizient und Temperatur der Deckschichten  
 $M_s$  = bei Einfeldplatten in Feldmitte; bei Zweifeldplatten über der Mittelstütze  
 $R_E$  = Endauflagerreaktionen;  $R_M$  = bei Mehrfeldplatten Mittelauflegerkräfte  
 $w_{max}$  = maximale Durchbiegung

## Anlage 3.2

Schrauben

EJOT® JZ7 - 6,3 x L

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

**Verbindungs-  
element**

EJOT® Schraube JZ7-6,3 x L  
mit Scheibe  $\geq \varnothing 16$  mm

**Werkstoffe**

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

Scheibe  
nichtrostender Stahl, Werkstoff-Nr. 1.4301  
mit auftragsgeprüfter 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

Drehmoment  
für Bauteile

I II S235J2xx oder S355J2xx (für  $l_s \leq 3$  mm auch S280GD+xx, S320GD+xx oder S350GD+xx)

| Bleiche<br>[mm]   | 1,50                             | 2,0  | 2,5  | 3,0  | 4,0  | 5,0  | $\geq 6,0$                |
|---|----------------------------------|------|------|------|------|------|---------------------------|
| Bohrloch $\varnothing$  | 5,0                              |      |      | 5,3  |      |      | 5,5<br>5,7 bei $\geq 7,0$ |
| Ver-<br>schraubung  | anschlagsorientiert verschrauben |      |      |      |      |      |                           |
| Bauteile I, Bleiche $l_{bl}$ bzw. $l_{bl}$ in (mm) (außer-<br>zähntes Stahlblech S1...10+xx oder S350GD+xx) | 0,50                             | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70                      |
| 0,55  | 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                      |
| 0,75  | 1,00                             | 1,05 | 1,05 | 1,05 | 1,05 | 1,05 | 1,05                      |
| 0,85  | 1,00                             | 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                      |
| 0,50  | 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                      |
| 0,63  | 1,00                             | 1,45 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50                      |
| 0,75  | 1,00                             | 1,45 | 1,55 | 1,55 | 1,55 | 1,55 | 1,55                      |
| 0,85  | 1,00                             | 1,45 | 1,55 | 2,05 | 2,05 | 2,05 | 2,05                      |
| 1,00  | 1,00                             | 1,45 | 1,55 | 2,15 | 2,15 | 2,15 | 2,15                      |
| Sandwichdicke<br>d oder D in (mm)   | 30                               | 20   | 16   | 8,5  | 7    | 3    | 3                         |
| 40  | 26,5                             | 13,5 | 11   | 9    | 4,5  | 4,5  | 4,5                       |
| 50  | 33,5                             | 18,5 | 13,5 | 11   | 5,5  | 5,5  | 5,5                       |
| 60  | 40                               | 20   | 16,5 | 13   | 7    | 7    | 7                         |
| 70  | 40                               | 23,5 | 19   | 15   | 9,5  | 9,5  | 9,5                       |
| 80  | 40                               | 26,5 | 22   | 17,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5                      |
| 100   | 40                               | 33,5 | 27,5 | 21,5 | 16   | 16   | 16                        |
| 120   | 40                               | 40   | 33   | 26   | 23,5 | 23,5 | 23,5                      |
| 140   | 40                               | 40   | 35,5 | 30,5 | 29   | 29   | 29                        |

Zulässige Werte gelten auch für  
Sandwichelemente mit Mineralwollekern

Querkraft  
zu  $F_{0.2}$   
[kN]

Zugkraft  
zu  $F_{0.2}$   
[kN]

Kopfaus-  
lenkung  
zu u (mm)

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 zu wählen.

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 zu u zu wählen.

Aufgabe 3

a) Knicken der gedruckten Deckplatte:

$$1,85 \cdot 39 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} + 1,3 \cdot 0 = 72,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 86 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Fließen auf der Zugseite

$$1,85 \cdot 48,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 90,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 320 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Schubbeanspruchung

$$1,85 \cdot 0,0156 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 0,029 < 0,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Anlageschicke

$$1,85 \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 4,625 \frac{\text{kN}}{\text{m}} < 1635 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

b) Knicken der gedruckten Deckplatte

$$102,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 115 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Fließen in der Zugzone nicht gegeben

Schubbeanspruchung

$$0,03 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 0,12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Anlageschicke

$$438 \frac{\text{kN}}{\text{m}} < 19,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

c)

$$2 \text{ E50T } \Rightarrow 27 - 6,3 \leq L$$

$$\text{zul } F_z = 1 \text{ kN}$$

$$2 \cdot 1,37 + 1,3 \cdot 0,55 = 3,46 \frac{\text{kN}}{\text{m}} < 2 \cdot 2 \cdot 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$2 \cdot 1,37 = 2,74 \frac{\text{kN}}{\text{m}} < 4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$2 \cdot 0,55 = 1,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} < 4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

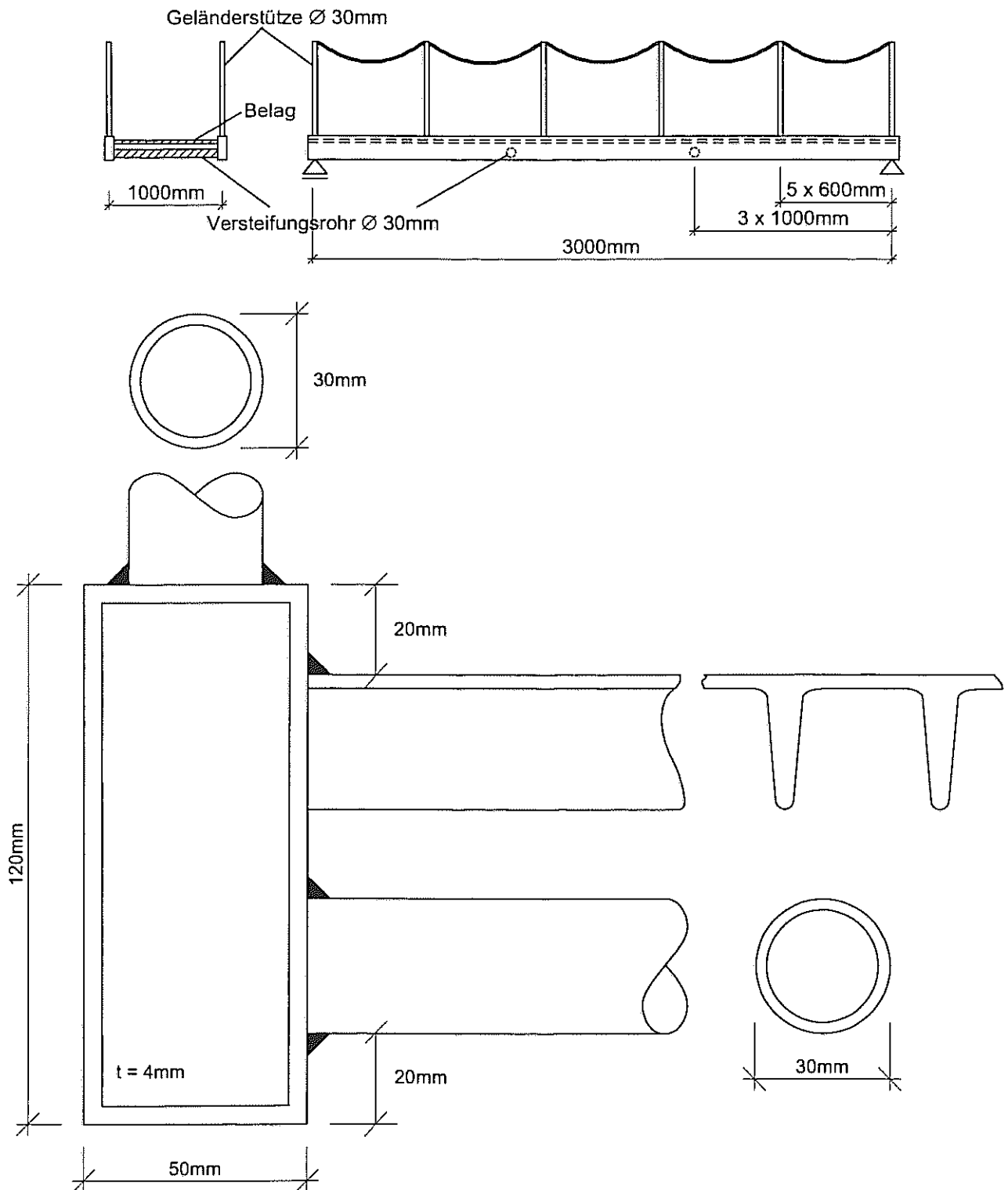
Schrauben Kopfauslass

$$\frac{15000 \text{ mm}}{2} \cdot 12 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}} \cdot 55 \text{ K} = 4,95 \text{ mm} < 12,5 \text{ mm}$$



**Aufgabe 4****35 min**

Führen Sie den Biegespannungsnachweis für einen Hauptträger des nachfolgend dargestellten Landungssteigs aus EN-AW 6005A-T6 unter einer Flächenlast von  $5\text{ kN/m}^2$  (Lastfall H). Der durchgehende Belag ist als nicht mittragend anzunehmen.



Sh

DT23

HE 2006

Aufgabe 4

$$x = 1000 \text{ mm}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{2,5 \cdot 10^3 \text{ kNcm}}{38 \text{ cm}^2} = 65,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 72 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$x = 1200 \text{ mm}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{2,7 \cdot 10^3 \text{ kNcm}}{38 \text{ cm}^2} = 71 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 72 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$x = 1500 \text{ mm}$$

NW mit A06 (keine Schweißnahtverbindung)

$$\bar{\sigma} = \frac{2,8125 \cdot 10^3 \text{ kNcm}}{35,3 \text{ cm}^2} = 79,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 115 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$