Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau
Universität Fridericiana Karlsruhe
Univ.-Professor Dr.-Ing. Helmut Saal

76131 Karlsruhe
Kaiserstraße 12

DIPLOM-HAUPTPRÜFUNG – Neue DPO

Vertieferprüfung „Dünnwandige Tragwerke und plastische Bemessung“

12. September 2002

Dauer: 120 Minuten

Name: ....

Aufgabe:	1	2	3	4	5
Erreichte Punktzahl:					

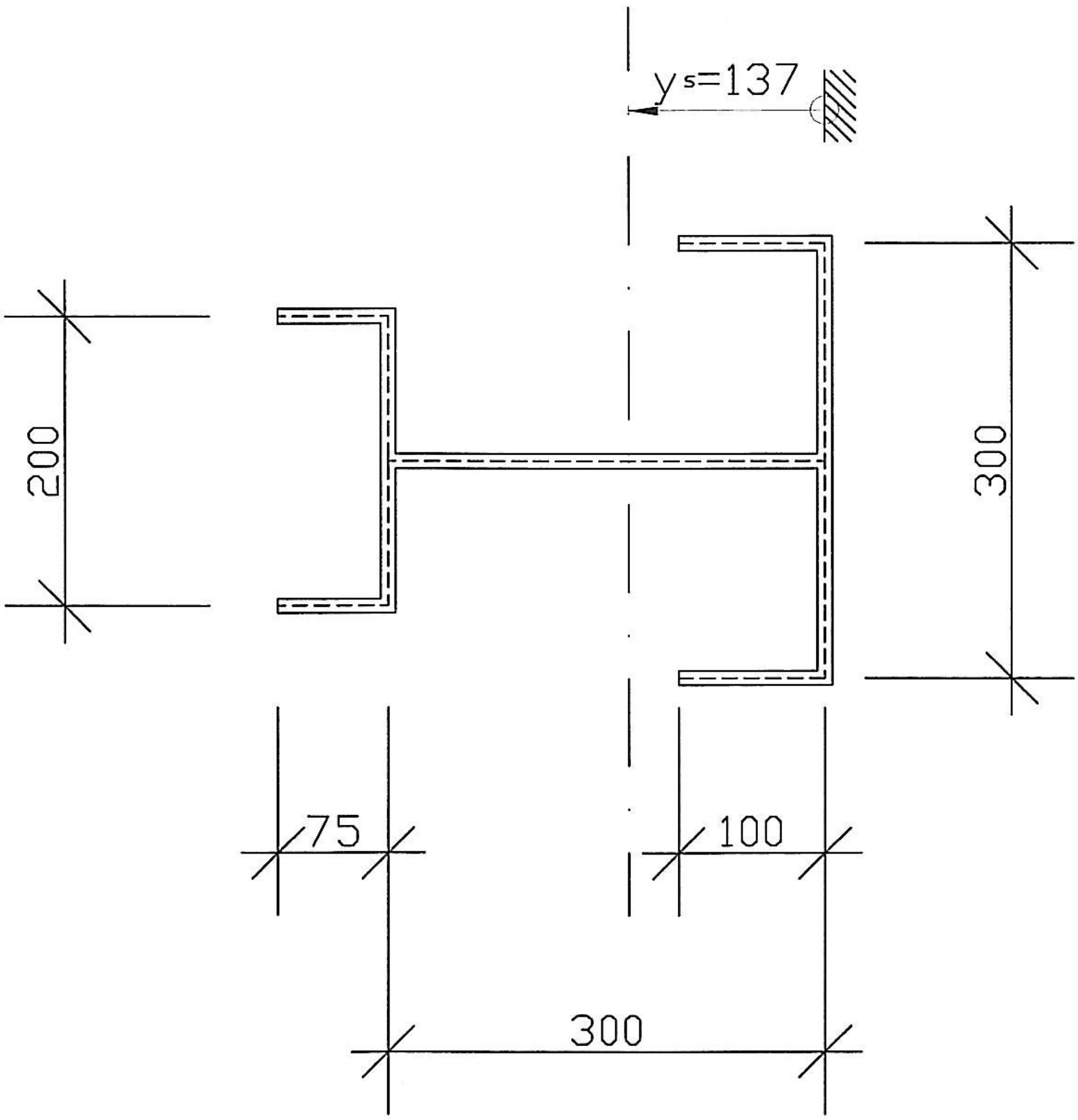
Abgegebene Blätter:	

8h

Aufgabe 1 **30 min**

Berechnen Sie die Lage des Schubmittelpunktes bezogen auf den Schwerpunkt des dargestellten Querschnitts.

t = 15 mm = konstant. Alle Maße sind in mm angegeben.

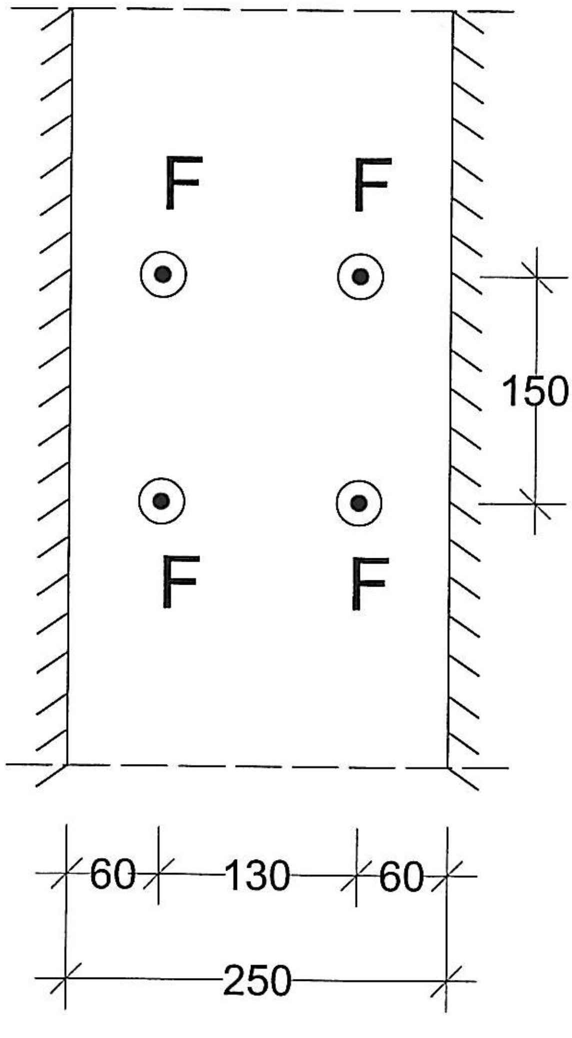


Hinweis:
y_s = 137 mm = Lage des Schwerpunktes

Aufgabe 2

25 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.



[mm]

Angaben:

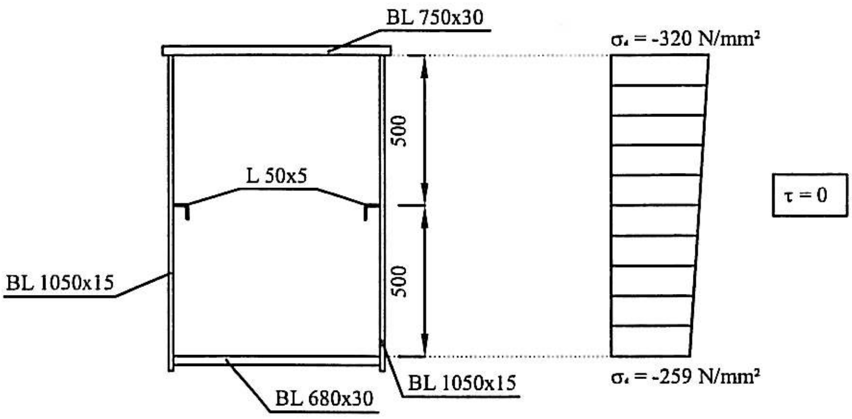
Material: S235JRG2
Plattendicke: t = 10 mm

fh

Aufgabe 3 — 35 min

Nachfolgend ist ein Hohlkastenträger, der alle 3,5 m durch Querschotte ausgesteift ist, mit den Bemessungsspannungen im maßgebenden Querschnitt dargestellt.

Querschnitt und Normalspannungsverteilung des Steges



Werkstoff: S355J2G3 — Maße in mm

Es wurde folgender Nachweis geführt:

$$\Psi = \frac{259+320}{2}\cdot\frac{1}{320} = 0{,}905$$

$$\text{grenz } b/t = 27{,}1\left(1-0{,}278\Psi-0{,}025\cdot\Psi^2\right)\sqrt{\frac{8{,}2}{\Psi+1{,}05}}\cdot\sqrt{\frac{240}{\sigma_1\cdot\gamma_M}} = 33{,}4$$

vorh b/t =500/15 = 33,3 < grenz b/t = 33,4

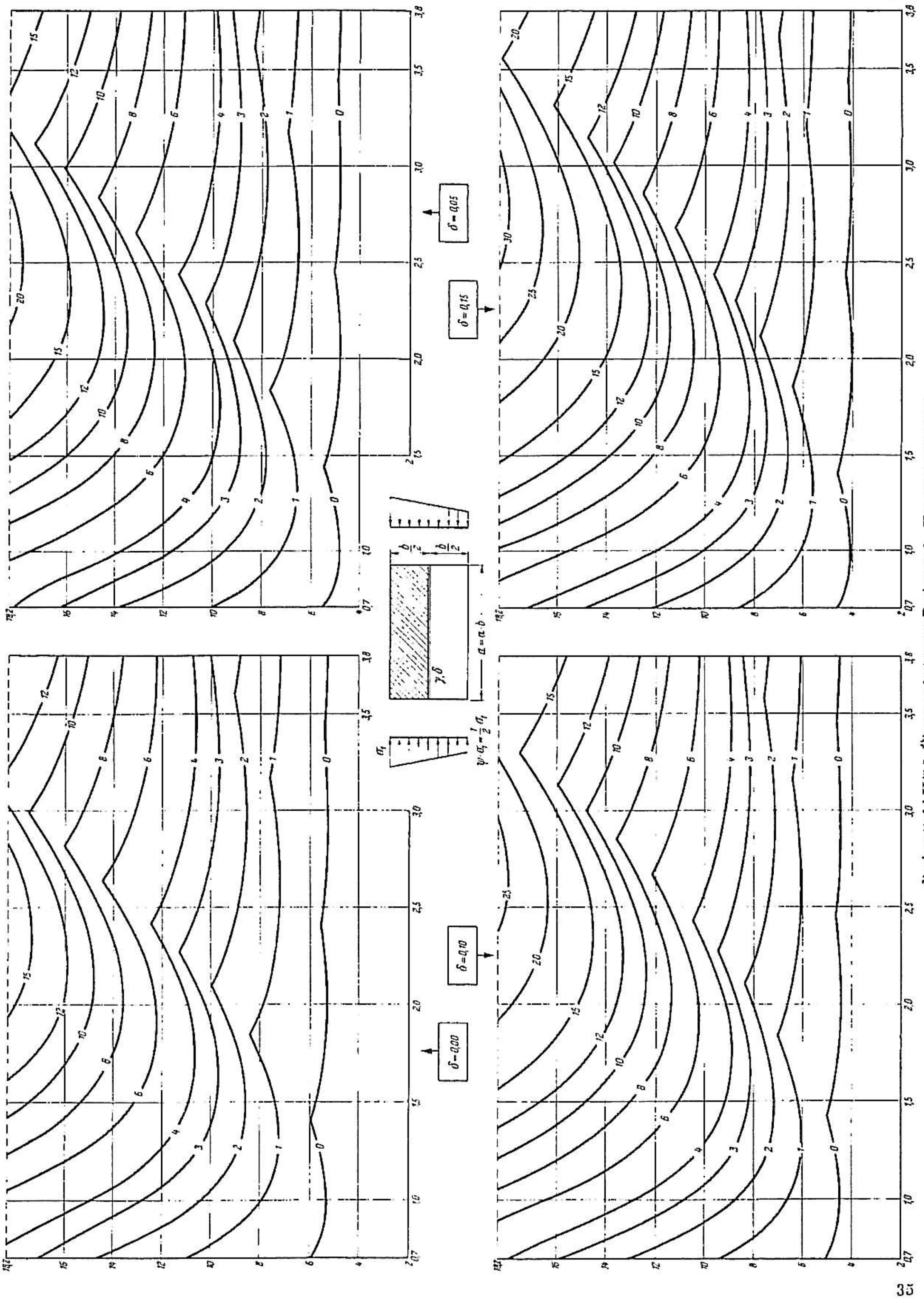
$$\frac{\sigma_d}{\sigma_{Rd}} = \frac{320\ \mathrm{N/mm^2}}{327\ \mathrm{N/mm^2}} = 0{,}979 < 1{,}0$$ Nachweis erfüllt

Beurteilen Sie den geführten Nachweis hinsichtlich seiner Vollständigkeit und Richtigkeit. Untermauern Sie Ihr Urteil durch eine eigene Berechnung.

Hinweis:
Beulwerttafel für Beulfeld mit mittig angeordneter Längssteife nach Klöppel-Scheer auf der folgenden Seite:

8h

Beulwerte für mittige Längssteife nach Klöppel-Scheer:



Beulwerttafel II/5.2. Über α aufgetragene Beulwerte k_σ, Kurvenparameter γ

Aufgabe 4 **20 min**

1. Wie groß ist das maximal aufnehmbare Moment des in Bild 4.2 dargestellten Systems mit dem in Bild 4.1 dargestellten Querschnitt (die maximal aufnehmbare Spannung im Querschnitt sei $f_{y,k}$)?

Das System wird bis zur in 1. ermittelten Traglast belastet und danach vollständig entlastet.

2. Stellen Sie den Restmomentenverlauf im System graphisch dar.
3. Stellen die Eigenspannungsverteilung über den Querschnitt in Anlage 4.1 graphisch dar.

Nach der vollständigen Entlastung wird eine Kraft N zentrisch aufgebracht.

4. Stellen Sie die infolge dieser Last veränderte Spannungsverteilung im Querschnitt in Anlage 4.1 dar, für den Fall, daß N = 26,4 kN beträgt.
5. Geben Sie die Verhältnisse N/N_{pl} und M/M_{pl} für diesen Zustand an.
6. Wie groß ist bei der Wiederbelastung die maximal aufbringbare Normalkraft N_{max}?

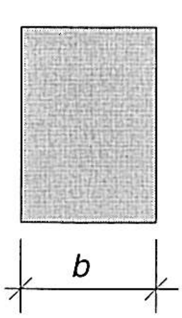


Bild 4.1: Querschnitt

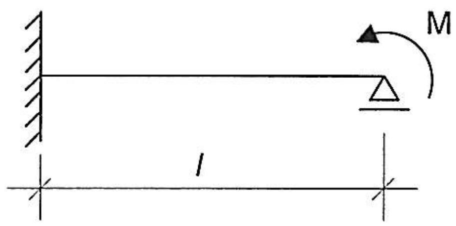


Bild 4.2: statisches System Erstbelastung

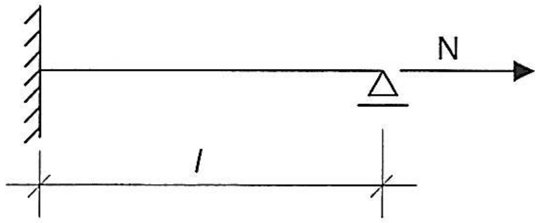


Bild 4.3: statisches System Wiederbelastung

Abmessungen: $l = 2500$ mm
$b = 10$ mm
$h = 24$ mm

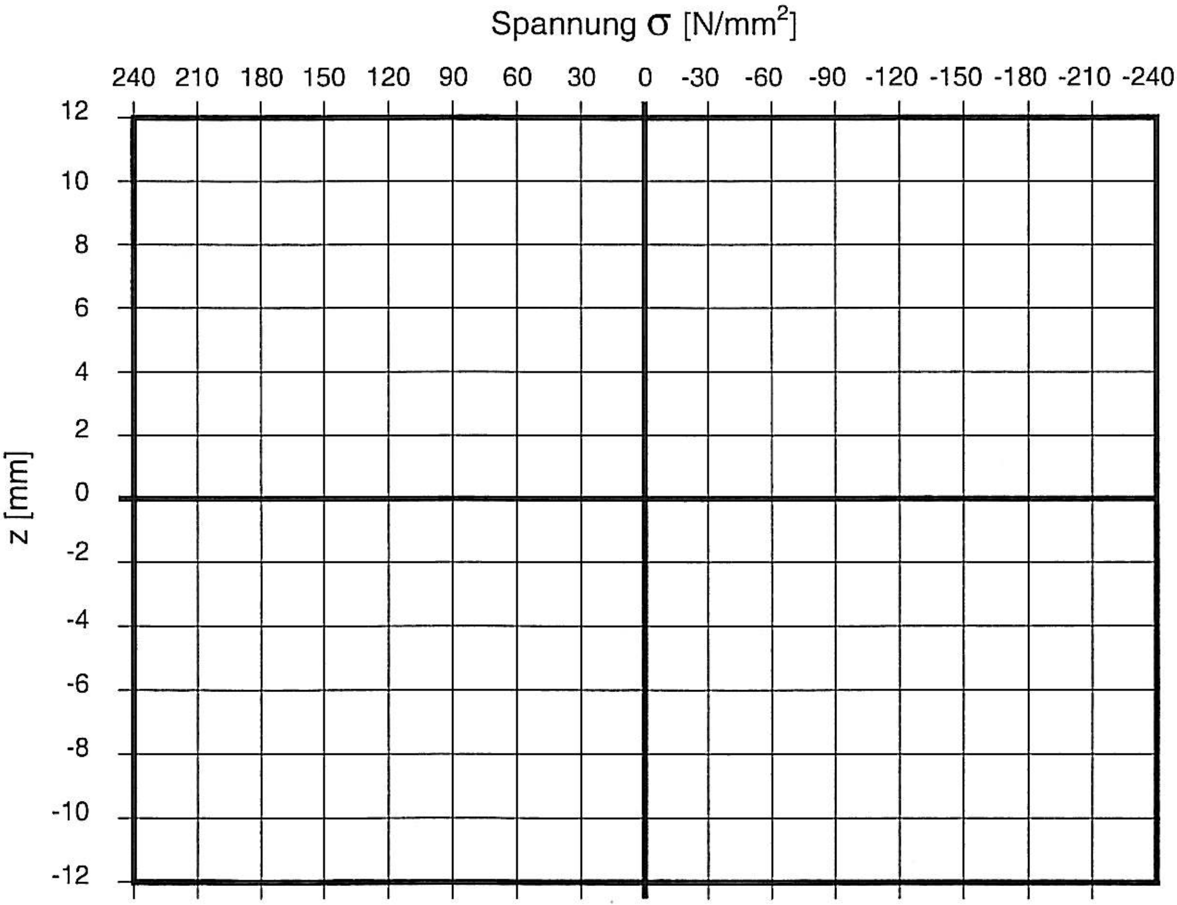
Material: S235JRG2

8h

Hinweise:

- Querkraftinteraktion braucht nicht berücksichtigt zu werden.
- Bei den graphischen Darstellungen sind die Werte einzutragen.

Anlage 4.1



Aufgabe 5 **10 min**

Als Abstandhalter für zwei Rechteckquerschnitte aus S235JRG2 dienen ein Rohrstück aus Aluminium AlMgSi1 und rohe Schrauben M12-4.6, siehe Abbildung 5.1. Berechnen Sie die Kraft in Schraubenlängsrichtung, die bei einer Erwärmung um $\Delta T = 50$ K auftritt.

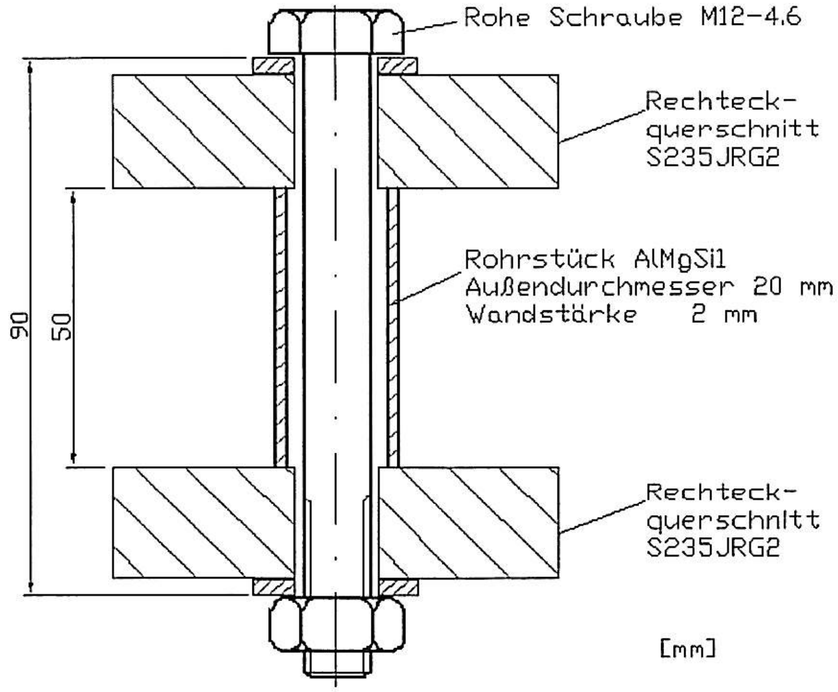


Abbildung 5.1: Querschnitt der Abstandhalter

Angaben zu AlMgSi1: $E = 70.000\ \mathrm{N/mm^2}$

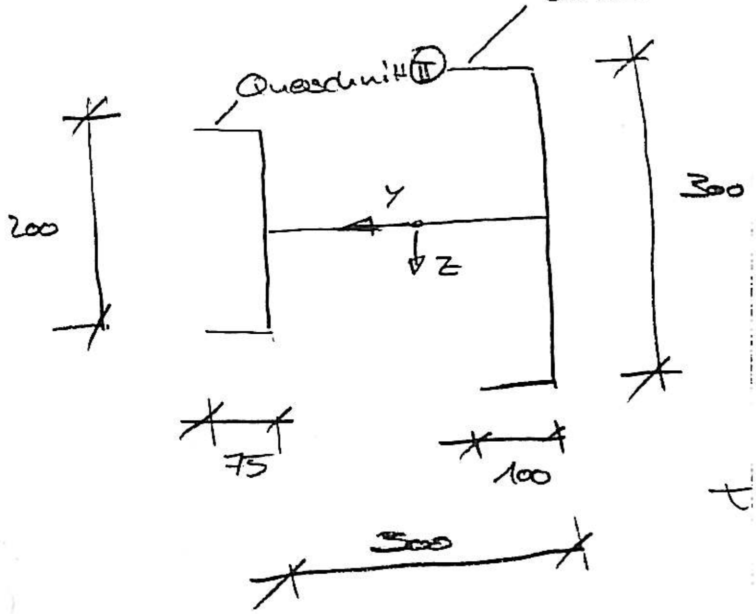
$\alpha_K = 23 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{K^{-1}}$

Hinweise:

- Die elastische Verformung der Rechteckquerschnitte soll vereinfachend vernachlässigt werden.
- Setzen Sie in Ihrer Berechnung vereinfachend nur den Schaftquerschnitt für die Schraube an.

Sh

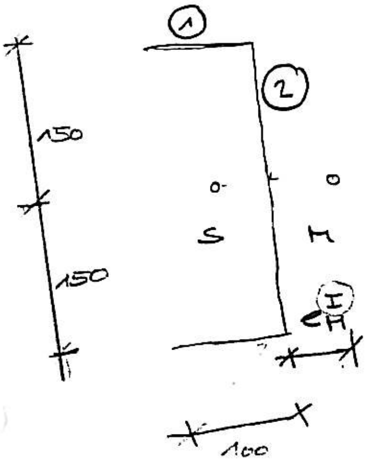
1. AUFGABE



t = 10 mm

Das Gesamtquerschnitt wird in Teilquerschnitt I und II zerlegt. Für die Berechnung des Schubmittelpunktes dieses U-Querschnitts existieren tabellierte Formeln (Bautabellen)

Querschnitt I :



$$I_{y1} = 100 \cdot 15 \cdot 150^2 = 33750000 \text{ mm}^4$$

$$I_{y2} = \frac{1}{12} \cdot 300^3 \cdot 15 = 33750000 \text{ mm}^4$$

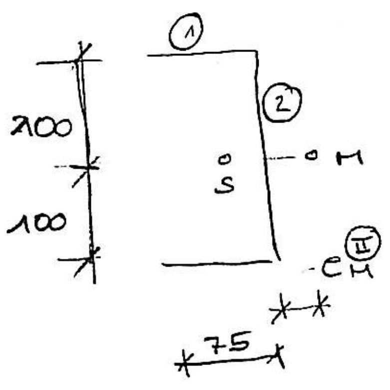
$$\Rightarrow I_{y\,I} = 101250000 \text{ mm}^4$$

z.B. aus Schneider Bautabellen (12) Tafel 8.40

$$e_M^{I} = -\left[\frac{I_1}{I_I} \cdot h\right] = -\frac{33750000}{101250000} \cdot 100$$

$$e_M^{I} = 33{,}33 \text{ mm}$$

Querschnitt II

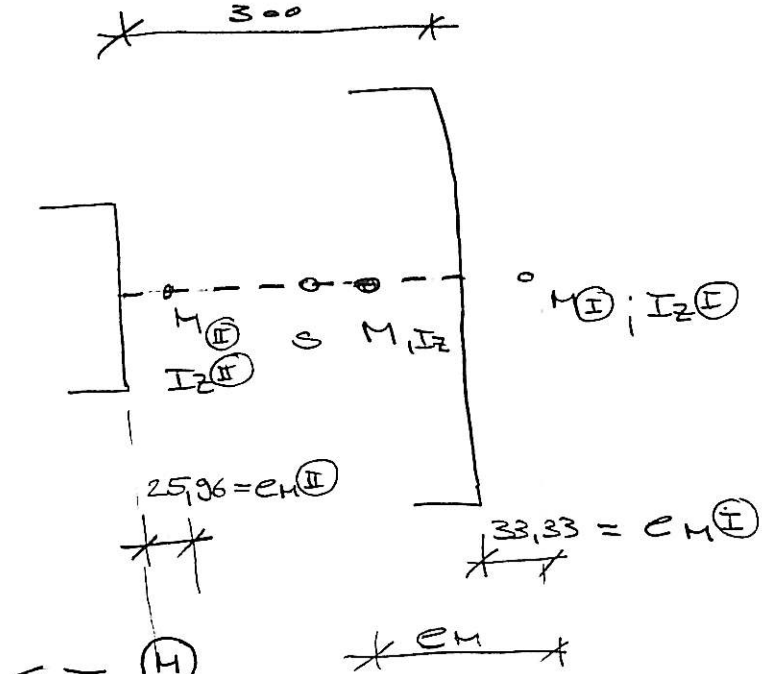


$$I_{y1} = 75 \cdot 15 \cdot 100^2 = 11250000 \text{ mm}^4$$

$$I_{y2} = \frac{1}{12} \cdot 200^3 \cdot 15 = 10000000 \text{ mm}^4$$

$$\Rightarrow I_{y\,II} = 32500000 \text{ mm}^4$$

$$e_M^{II} = -\frac{11250000}{32500000} \cdot 75 = -25{,}96 \text{ mm}$$



$\sum I_{z,i}^{(M)} = 0$:

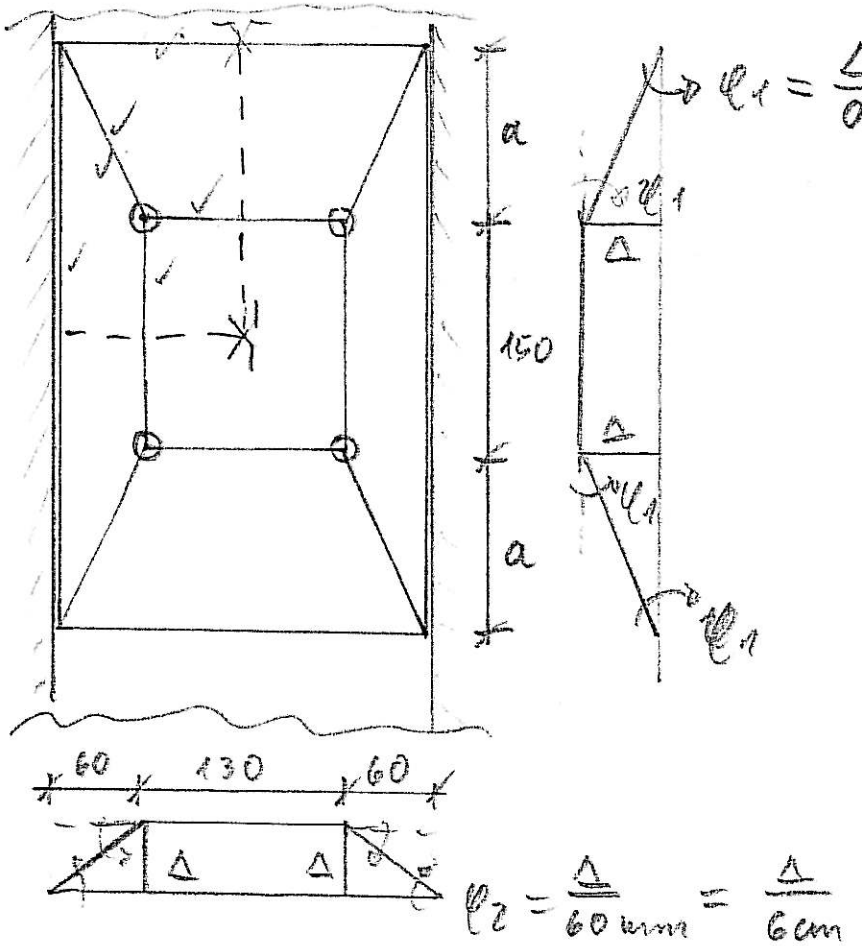
$$I_{(I)} \cdot e_M = I_{(II)} \cdot \left(300 - |e_M^{(II)}| + |e_M^{(I)}| - e_M\right)$$

$$101250000 \cdot e_M = 3250000\left(\underbrace{300 - 25{,}96 + 33{,}33}_{307{,}37} - e_M\right)$$

$$\Rightarrow e_M = 74{,}7\,mm$$

Abstand Schubmittelpunkt - Schwerpunkt

$$y_M = y_S - e_M + |e_M^{(I)}| = 137 - 74{,}7 + 33{,}3 = \underline{\underline{95{,}6\,mm}}$$



$$A_i = m_{pl} \cdot \Delta \cdot \left[\frac{1}{a} (12{,}5\,cm + 6{,}5\,cm + 6\,cm) + \frac{1}{6\,cm} \cdot (a + a + 7{,}5\,cm) \right]$$

$$= m_{pl} \cdot \Delta \cdot \left[\frac{1}{a} \cdot 25 + \frac{1}{3} \cdot a + 1{,}25 \right]$$

$$A_a = F \cdot \Delta$$

$$\Rightarrow F = m_{pl} \cdot \left[\frac{1}{a} \cdot 25 + \frac{1}{3} \cdot a + 1{,}25 \right]$$

$$\frac{\partial F}{\partial a} = 0: \quad - \frac{1}{a^2} \cdot 25 + \frac{1}{3} \overset{!}{=} 0$$

[illegible] $\Rightarrow a = \sqrt{75\,cm^2} = 8{,}66\,cm$

$$\Rightarrow F_{TR,Pl} = \hat{m}_{pl} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{75}} \cdot 25 + \frac{1}{3} \cdot \sqrt{75} + 1{,}25 \right] = \underline{\underline{42{,}14\,kN}}$$

Querschnittswerte der Längssteifen

Mitwirkende Breite der Steges:

$b_{1k} = b_{2k} = 500\,mm$

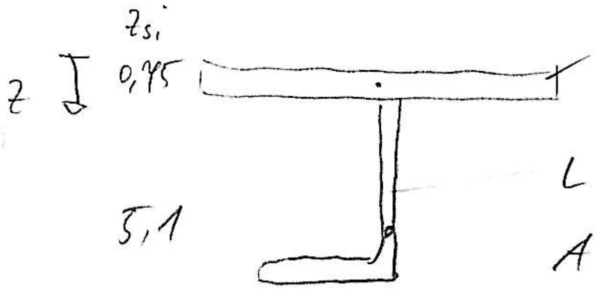
$b'_{1k} = 0{,}605 \cdot t\,\lambda_a \cdot \left(1 - 0{,}133\,\frac{t\,\lambda_a}{b_{1k}}\right)$

$b_{1k} = 0{,}605 \cdot 15 \cdot 75{,}9 \cdot \left(1 - 0{,}133 \cdot \frac{15 \cdot 75{,}9}{500}\right)$

$b_{1k} = 480\,mm \quad < 500\,mm$

$< \frac{a_i}{3} = \frac{3500}{3} = 1167$

$b' = \frac{b_1'}{2} + \frac{b_2'}{2} = 480\,mm$



$A = 4{,}80\,cm^2 \qquad e = 1{,}4\,cm$

$I = 11{,}0\,cm^4 \qquad z = 1{,}5 + 5{,}0 - 1{,}4 = 5{,}1$

$A_1 \quad 48{,}0 \cdot 1{,}5 = 72{,}0\,cm^2 \qquad A_1 z_1 \quad 72{,}0 \cdot 0{,}75 = 54{,}0$

$A_2 \qquad \underline{4{,}8\,cm^2} \qquad A_2 z_2 \quad \underline{4{,}8\,cm^2 \cdot 5{,}1 = 24{,}5}$

$\Sigma \quad 76{,}8\,cm^2 \qquad \Sigma \quad 78{,}5\,cm^3$

$z_s = \frac{78{,}5}{76{,}8} = 1{,}02\,cm$ ✓

$$I_y = 48{,}0 \cdot 1{,}5^3 \cdot \frac{1}{12} \qquad 13{,}5$$
$$+ \ 11{,}0 \qquad 11$$
$$+ \ 4{,}8 \cdot (5{,}1 - 1{,}01)^2 \qquad 80{,}3$$
$$+ \ 72{,}0 \cdot (0{,}75 - 1{,}01)^2 \qquad 4{,}87$$

$$I_y = 110 \text{ cm}^4$$

$$A_{Ges} = 76{,}4 \text{ cm}^2 \qquad A_{Steife} = 4{,}8 \text{ cm}^2$$

$$\delta^L = \frac{A_{Steife}}{b_G \cdot t} = \frac{4{,}8}{100_{cm} \cdot 1{,}5_{cm}} = 0{,}03$$

$$\gamma^L = 10{,}92 \cdot \frac{I}{b_c\, t^3} = 10{,}92 \cdot \frac{110 \text{ cm}^4}{100_{cm} \cdot 1{,}5^3_{cm^3}} = 3{,}56$$

Beulwert k_σ nach Klöppel Scheer

$$k_\sigma = 9{,}25$$

$$\sigma_e = 189\,800 \left(\frac{t}{b}\right)^2 = 189800 \cdot \left(\frac{15}{1000}\right)^2 = 42{,}7 \ N/mm^2$$

$$\sigma_{xPi} = k_{\sigma_x} \cdot \sigma_e = 9{,}25 \cdot 42{,}7 = 395 \ N/mm^2$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\sigma_{Pi}}} = \sqrt{\frac{360}{395}} = 0{,}911$$

$$c = 1{,}25 - 0{,}25\,\psi = 1{,}25 - 0{,}25 \cdot 0{,}809 = 1{,}05 \le 1{,}25$$

$$\varkappa = c \cdot \left(\frac{1}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0{,}22}{\bar{\lambda}_p^2}\right) = 1{,}05 \cdot \left(\frac{1}{0{,}911} - \frac{0{,}22}{0{,}911^2}\right) = 0{,}874$$

$\varkappa < 1$ ✓

Knickstab ?

$$\frac{\sigma_{p}}{\sigma_{ki}} = k_\sigma \alpha^2 \cdot \frac{1+\Sigma\delta^2}{1+\Sigma\gamma^2}$$

$$= 9{,}21 \cdot 3{,}5^2 \cdot \frac{1+0{,}03}{1+3{,}56} = 2{,}78$$

$$\Lambda = \bar{\lambda}_p^2 + 0{,}5 = 0{,}911^2 + 0{,}5 = 1{,}33 < 2$$

↳ $\Lambda = 2$

$$\rho = \frac{\Lambda - \frac{\sigma_{p}}{\sigma_{ki}}}{\Lambda - 1} = \frac{2 - 2{,}78}{2-1} = -0{,}78 \ngtr 0$$

↳ kein Knickstabähnliches Verhalten

$$\sigma_{p,R,d} = \chi \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 0{,}874 \cdot \frac{360}{1{,}1} = 286\ N/mm^2$$

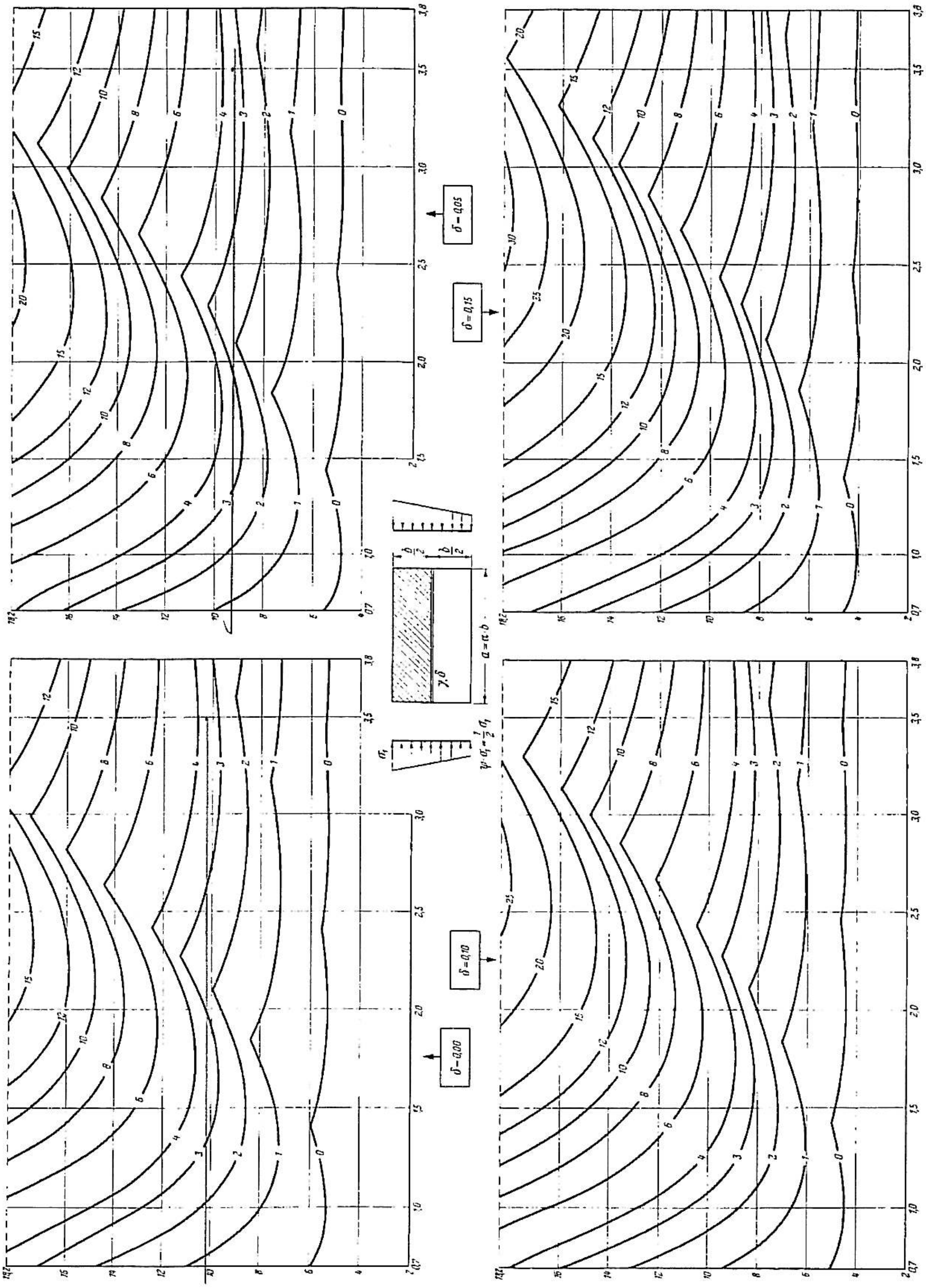
$$\frac{\bar{\sigma}_d}{\sigma_{p,R,d}} = \cancel{28}\ \frac{320}{286} = 1{,}12 \nless 1 \ ↯$$

=> Beim vorhandenen Nachweis wurde das Gesamtfeldbeulen nicht nachgewiesen.
Dieser Nachweis ist maßgebend und wird nicht erfüllt. => Querschnitt verstärken, z.B. größere Längssteife

~1,75

3.4

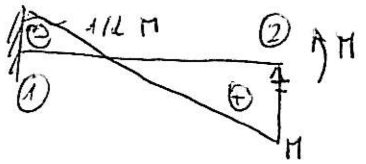
Beulwerte für mittige Längssteife nach Klöppel-Scheer:



Beulwerttafel II/5.2. Über α aufgetragene Beulwerte k_σ, Kurvenparameter γ

Prüfung "Dünnw. Tragw. und plast. Bemessung" He 2002, Musterlösung A4/4.1

1) Momentenlinie

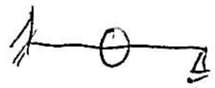


Falls M_{pl} in ② erreicht wird kann die Last nicht mehr gesteigert werden → kin. Kette

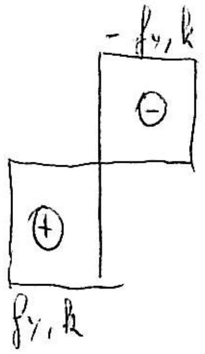
Somit ist M_{pl} die maximal aufnehmbare Last.

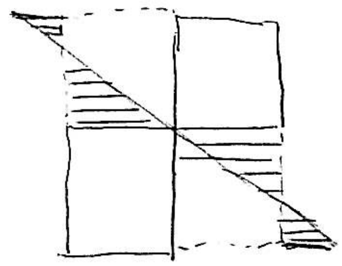
$$M_{pl} = \frac{bh^2}{4} \cdot f_{y,k} = \frac{1{,}0 \cdot 2{,}4^2}{4} \cdot 24 = 34{,}56 \text{ kNcm}$$

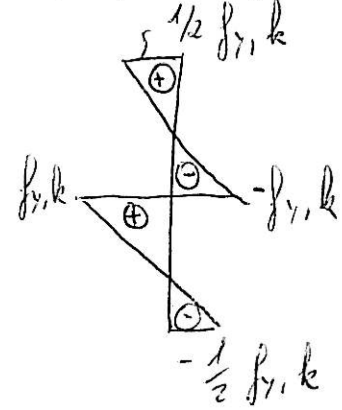
2) Keine plastische Systemreserven, elastische Entlastung ⇒ $M_{Rest} = 0$



3) Belastung bis M_{pl}: | el. Entlastung | Eigenspannungen



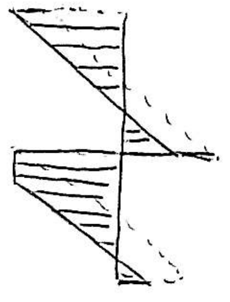




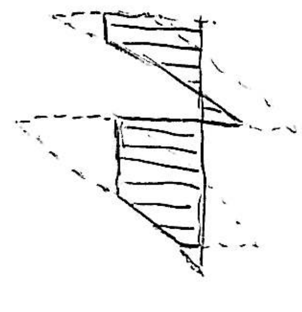
4) $N = 26{,}4$ kN (Zug)

Da Eigenspannungen vorliegen → Ausfallfläche. 2 Möglichkeiten:

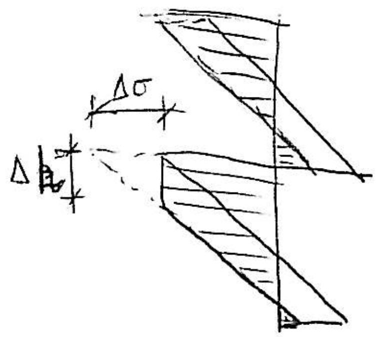
* 1. Fall – nur in der unteren Hälfte des Querschnitts



2. Fall Oben + unten



Untersuchung Fall 1



$$\Delta\sigma \cdot b \cdot h - \frac{1}{2} \Delta h \cdot b \cdot \Delta\sigma = N \qquad (1)$$

Steigung: $\Delta\sigma = \frac{\Delta h}{h/2} \cdot 1{,}5 f_{y,k}$

$\Updownarrow$

$$\Delta\sigma = \Delta h \, \frac{3}{2{,}4} \cdot 24$$

$$\Delta\sigma = 30 \, \Delta h$$

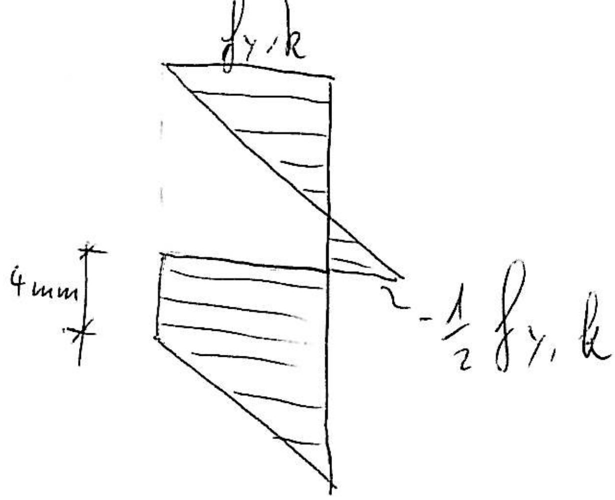
$(1) \Leftrightarrow \; 30 \Delta h \cdot 2{,}4 \cdot 1{,}0 - \frac{1}{2} \Delta h \cdot 1{,}0 \cdot 30 \cdot \Delta h = 26{,}4$

$\Leftrightarrow \; -72 \Delta h + 15 (\Delta h)^2 + 26{,}4 = 0$

Auflösen liefert $\Delta h = 0{,}4 \text{ cm} = 4 \text{ mm}$

$\Delta\sigma = 12 \text{ kN/cm}^2 = 120 \text{ N/mm}^2$

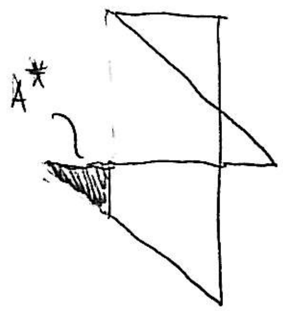
Im oberen Querschnittsbereich wird $f_{y,k}$ gerade erreicht (Grenzfall!). Fall 1 trifft immernoch zu.



5) $N_{pl} = A \cdot f_{y,k} = 10 \cdot 24 \cdot 240 = 57600 \text{ N} = 57{,}6 \text{ kN}$

$$N/N_{pl} = \frac{26{,}4}{57{,}6} = 0{,}46$$

M entsteht aus Fehlfläche A^* → Verzeichen vertauschen



$$-M = \frac{1}{3}\Delta h \cdot \underbrace{\frac{1}{2}\Delta\sigma \cdot \Delta h \cdot b}_{A^*}$$

$$M = -\frac{1}{3}\cdot\frac{1}{2}\cdot 0{,}4^2 \cdot 12 \cdot 1{,}0$$

$$M = -0{,}32 \text{ kN/m}$$

$\Rightarrow M/M_{pl} \approx 0{,}01$

6. Eigenspannungen plastizieren aus $\Rightarrow N_{max} = N_{pl} = 57{,}6$ kN

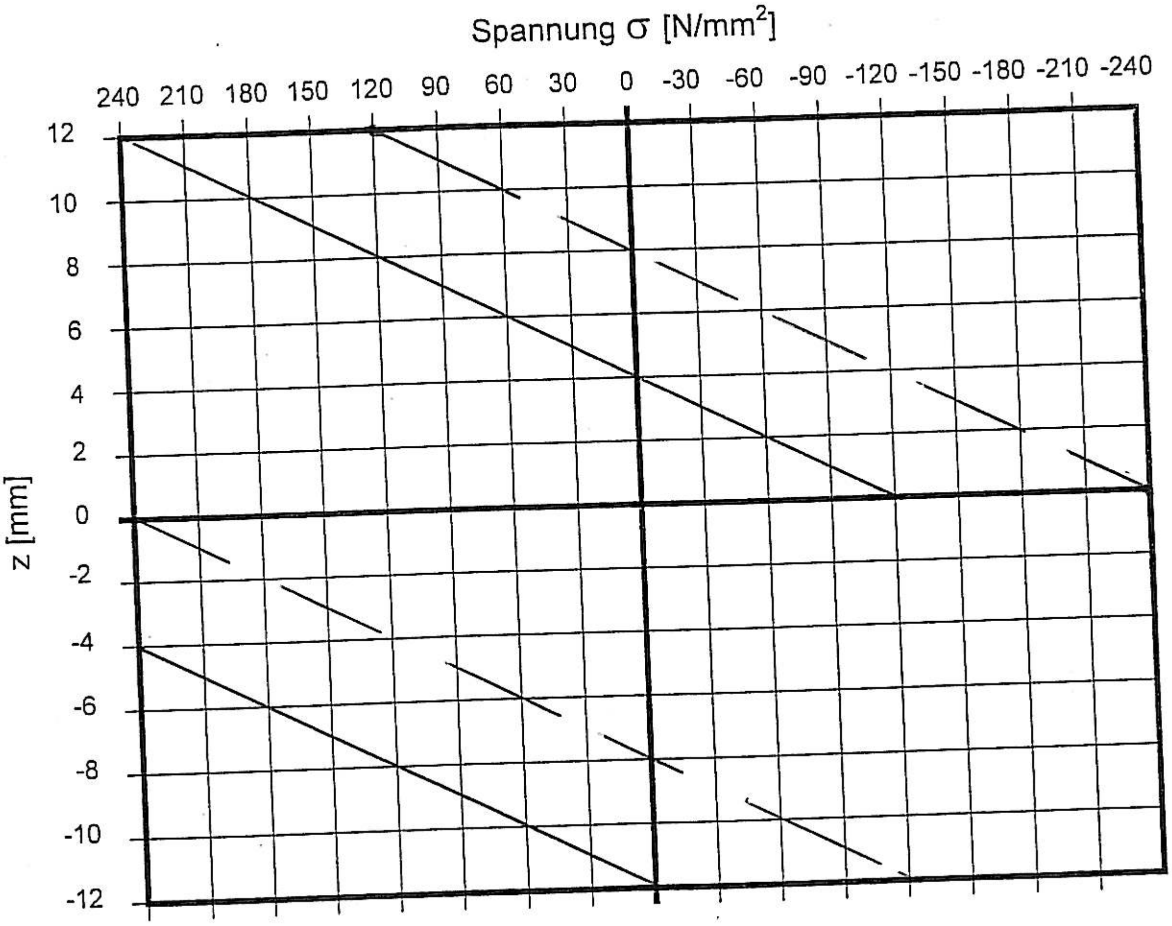
4.4

Hinweise:

- Querkraftinteraktion braucht nicht berücksichtigt zu werden.
- Bei den graphischen Darstellungen sind die Werte einzutragen.

Anlage 4.1

— — — zu 3.
——— zu 4.



Schraube:

$A_{Sch} = 113\ mm^2$

Unterschiedl. Ausdehnung auf $l_1 = 50\ mm$

$\alpha_k = 12 \cdot 10^{-6}$

$\Delta l_S = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 50 = 0{,}030\ mm$

Rohrstück

$A = \pi (10^2 - 8^2) = 113\ mm^2$

$\Delta l_R = 23 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 50 = 0{,}058\ mm$

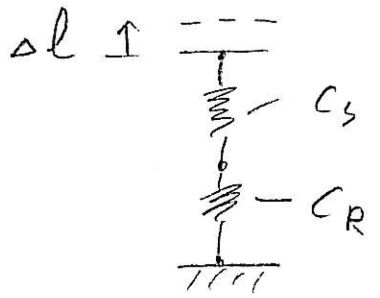
$\Delta l = 0{,}028\ mm$

$\Rightarrow$ Dehnung auf $l_2 = 90\ mm$

$C_S = 210.000 \cdot \frac{113}{90} = 263.000\ N/mm$

$\Rightarrow$ Zwängung auf $l_1 = 50\ mm$

$C_R = 70.000 \cdot \frac{113}{50} = 158.000\ N/mm$



$$C_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{263.000} + \frac{1}{158.000}} = 98.700\ N/mm$$

$$\Rightarrow N_S = 98.700 \cdot 0{,}028 = \underline{\underline{2.760\ N}}$$