

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

28. Juli 2005

Name:

Prüfungszeit: 120 min

Aufgabe:	1	2	3	4
erreichte Punktzahl:				

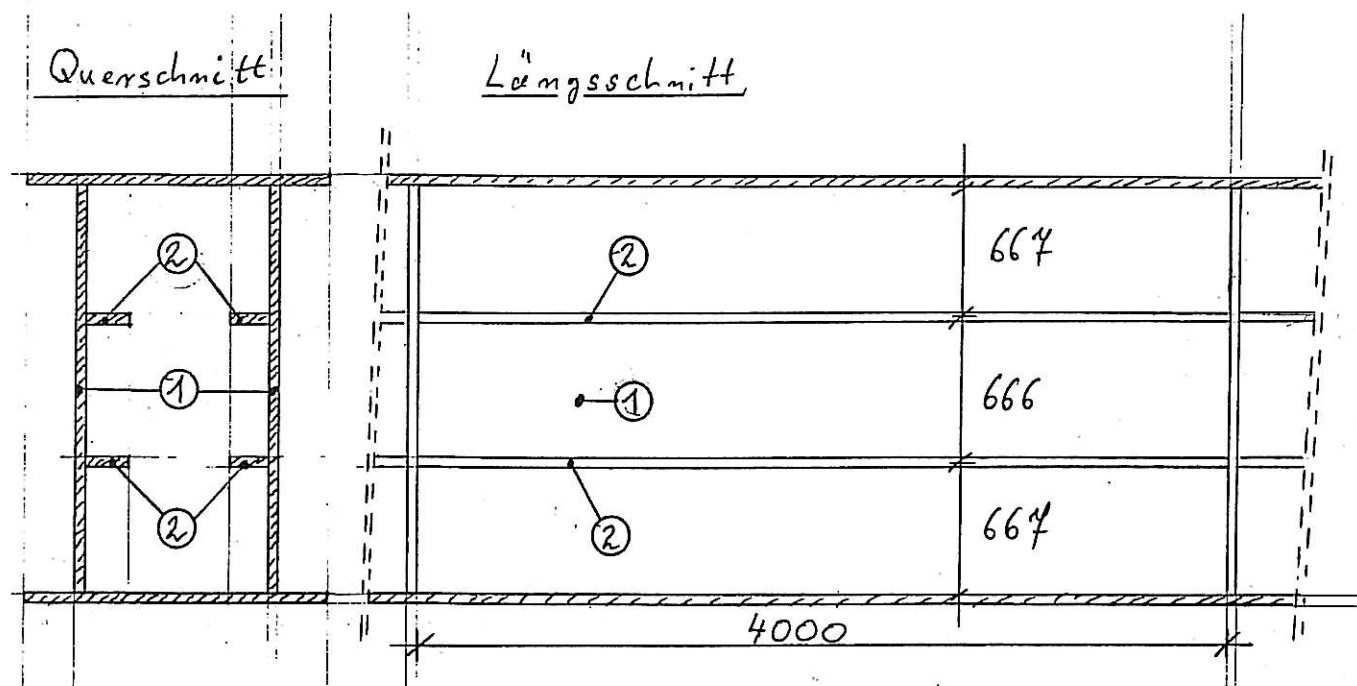
abgegebene Blätter:	
------------------------	--

sh

Aufgabe 1**30 min**

Für das unten dargestellte Feld eines Biegeträgers kann vereinfachend angenommen werden, daß Querkraft und Biegemoment konstant sind.

- 1) Ermitteln Sie das maximale Bemessungsmoment $M_{y,d}$ für das Beulfeld, unter der Voraussetzung, daß gilt: $M_{y,d} = 5m \cdot V_{z,d}$.
- 2) Welche größt möglichen Beulwerte k_σ und k_τ bezogen auf das Gesamtfeld können bei der Steifenanordnung erreicht werden, wenn die Steifigkeit der Steifen beliebig erhöht werden kann?
- 3) Welcher Beulsicherheitsnachweis wird dann maßgebend?



Darstellung unmaßstäblich, alle Maße in mm

① Steg: BL 2000 x 10

Werkstoff: S355J2

② Steifen: BL 35 x 15

Querschnittswerte für den doppelsymmetrischen Kastenquerschnitt:

$$I_y = 5308000 \text{ cm}^4$$

$$A = 864 \text{ cm}^2$$

Vereinfachungen:

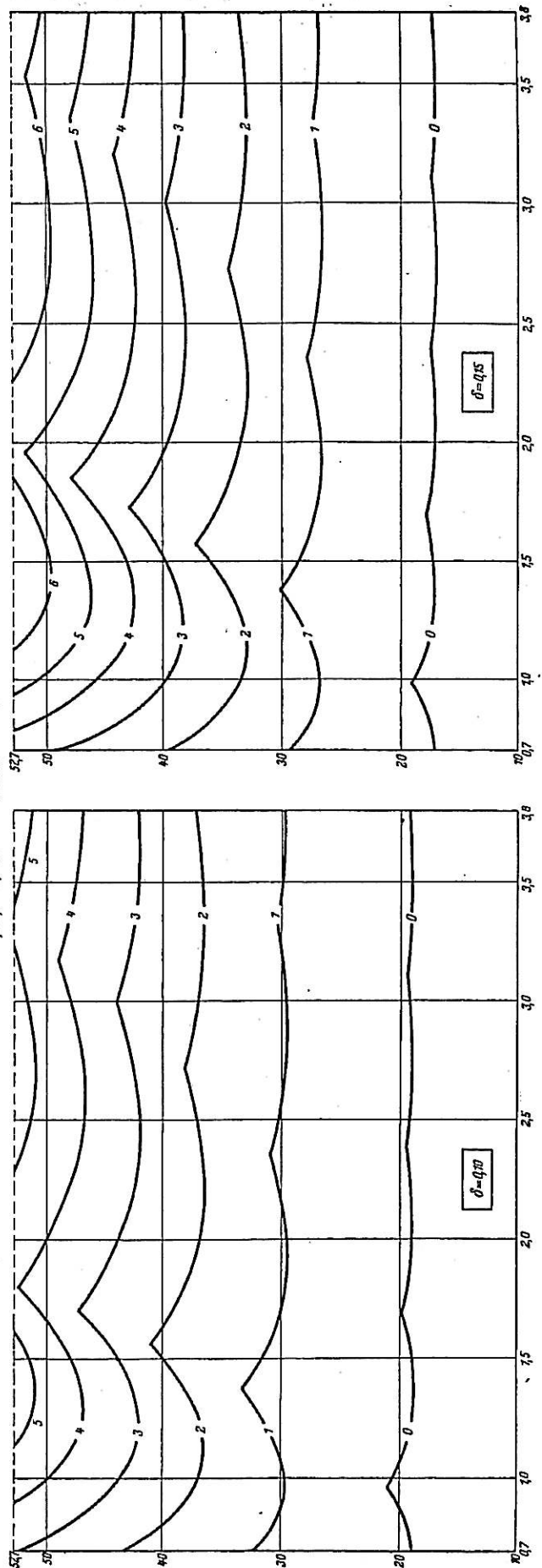
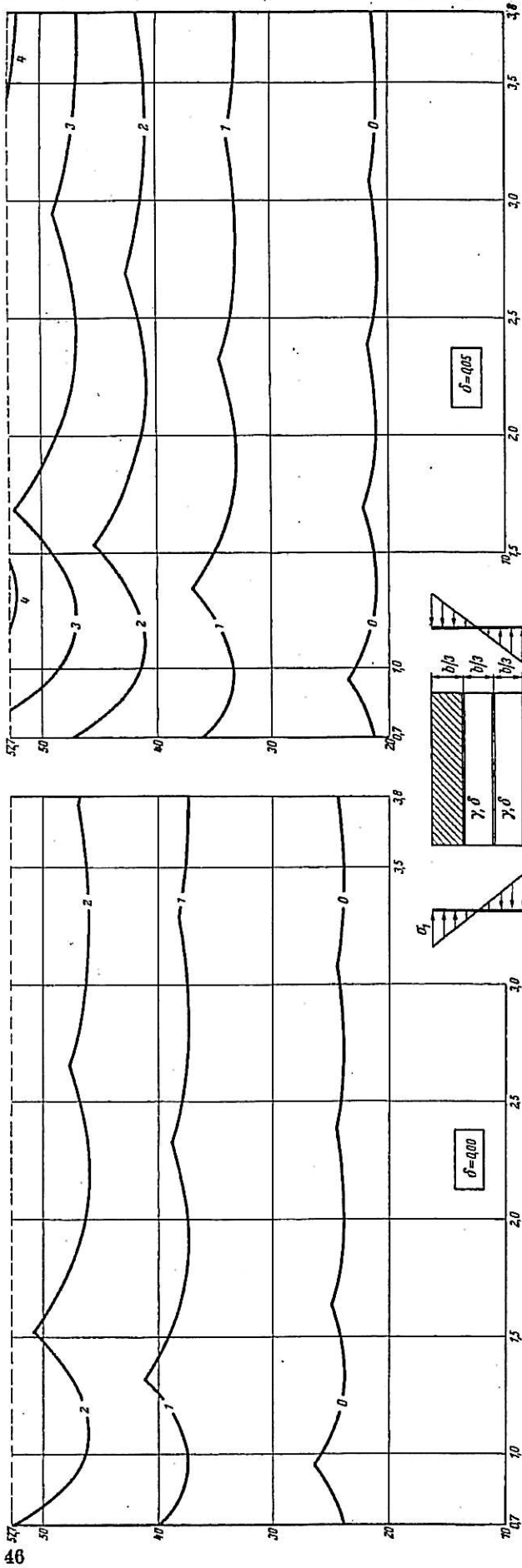
$$\tau_d = V_d / A_{\text{Steg}}$$

$$e_1 = 1,0 \text{ statt Gleichung (15) DIN 18800-3}$$

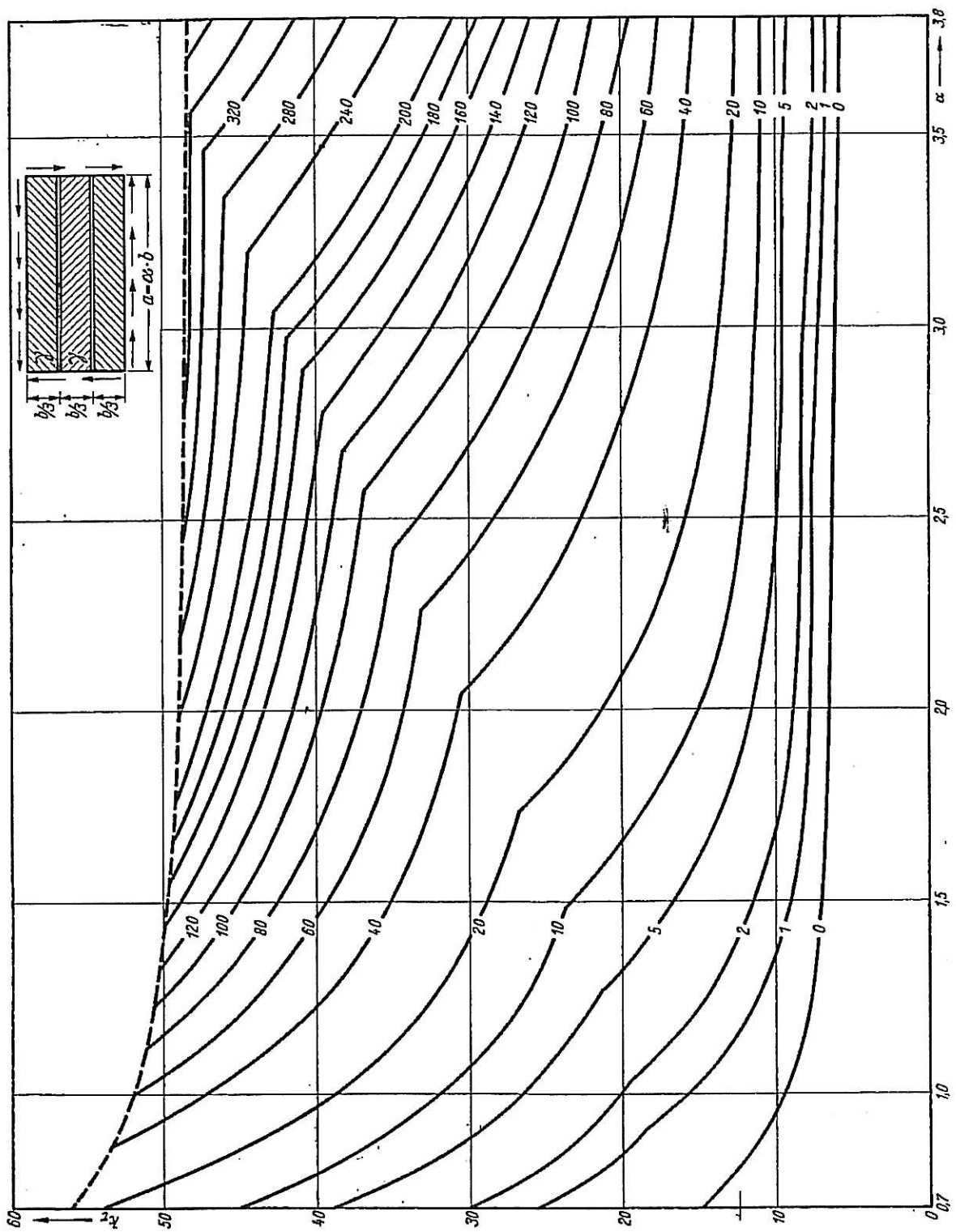
$$e_3 = 1,0 \text{ statt Gleichung (17) DIN 18800-3}$$

gl

Anlage 1 zu Aufgabe 1:

Bewertung II/7.1. Über α aufgetragene Beulwerte k_σ , Kurvenparameter γ

Anlage 2 zu Aufgabe 1:

Beulwerttafel II/7.6. Über α aufgetragene Beulwerte k_T . Kurvenparameter γ

Sh

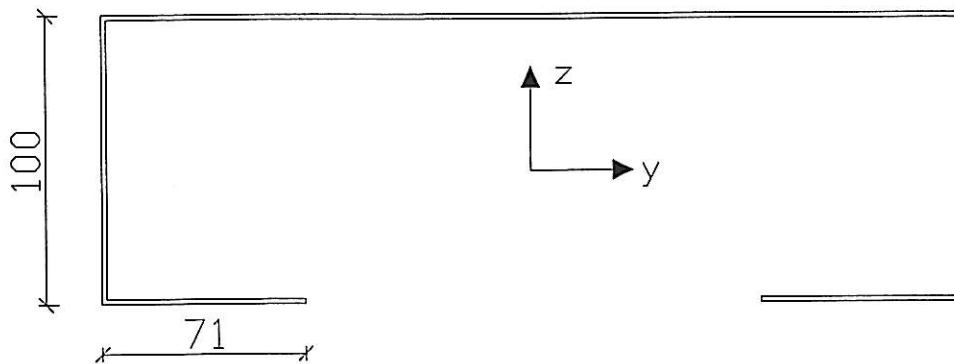
Aufgabe 2**25 min**

Ermitteln Sie die Biegetragfähigkeit des unten dargestellten C-Profils bei Biegung um die y-Achse, Obergurt unter Biegedruck.

Angaben:

Stahl S390GD mit $f_{y,k} = 380 \text{ N/mm}^2$

Blechdicke $t = 1,6 \text{ mm}$



Abmessungen in mm

Aufgabe 3**50 min**

a) Führen Sie die folgenden Stabilitätsnachweise für den dargestellten Rahmen eines Bierzeltes aus EN AW-6060-T66.

- Knicksicherheitsnachweis für den Stiel in der Rahmenebene
- Knicksicherheitsnachweis für den Riegel in der Rahmenebene
- Knicksicherheitsnachweis für den Stiel aus der Rahmenebene
- Nachweis gegen örtliches Beulen für Stiel und Riegel

Wärmeeinflusszonen können in diesem Fall für die Stabilitätsnachweise vernachlässigt werden.

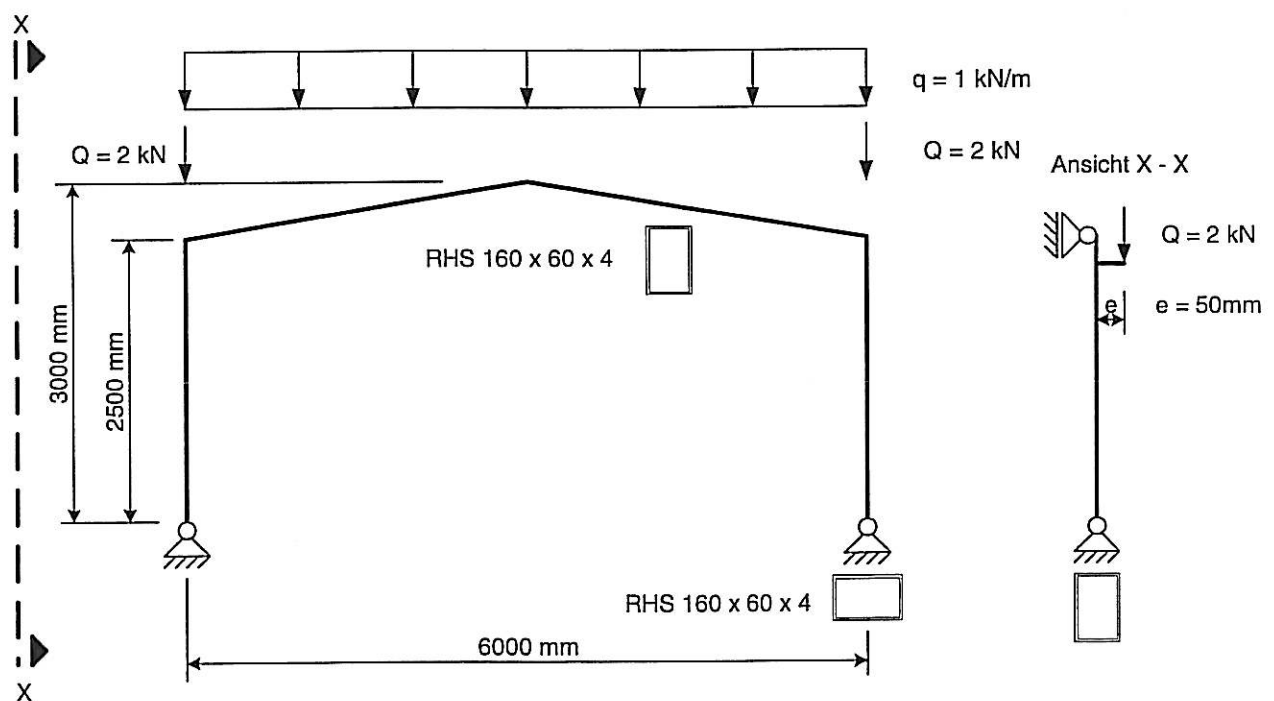


Abbildung 3.1: Statisches System

Schnittgrößen in der Rahmenebene (Theorie I. Ordnung):

Lastfall H $N_{\text{Stütze}} = 5,0 \text{ kN}$ $M_{\text{Eck}} = 2,27 \text{ kNm}$ $M_{\text{First}} = 1,78 \text{ kNm}$ $N_{\text{Riegel}} = 1,4 \text{ kN}$

Knicklängen in der Rahmenebene:

$s_{k,\text{Stütze}} = 7030 \text{ mm}$, $s_{k,\text{Riegel}} = 13300 \text{ mm}$

Querschnittswerte RHS 160 x 60 x 4:

$I_y = 526,2 \text{ cm}^4$, $I_z = 109,9 \text{ cm}^4$, $A = 16,96 \text{ cm}^2$

8

b) Führen Sie die Nachweise für die dargestellte Ecke des Rahmens aus a) mit den dort angegebenen Schnittgrößen und Werkstoffen (kein Nachweis der Einleitung der Einzellast $Q = 2\text{kN}$ über die Öse):

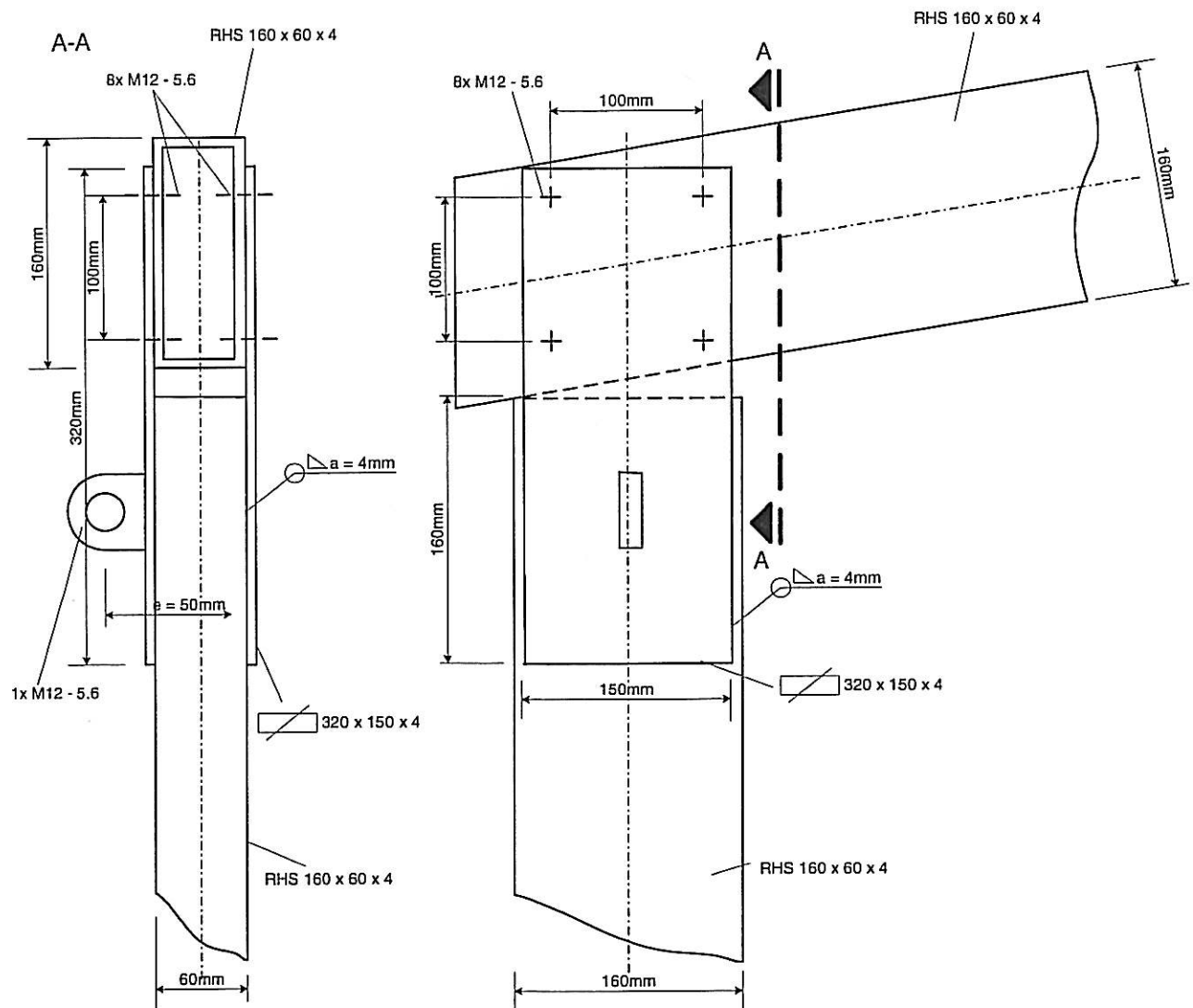


Abbildung 3.2: Rahmenecke

Aufgabe 4

15 min

Nachdem das in Abbildung 4.1 dargestellte Bauteil spannungsfrei gegläht wurde, wurde es belastet. Während der Belastung wurden die Dehnungen in Bauteilmitte mit Hilfe der in Abbildung 4.1 dargestellten Dehnmeßstreifen (DMS) aufgezeichnet. Die am Ende des Versuchs erreichten maximalen Dehnungen betrugen:

- DMS 1: $\varepsilon_1 = -0,5 \%$
- DMS 2: $\varepsilon_2 = -0,5 \%$
- DMS 3: $\varepsilon_3 = 0,4 \%$

An einer Zugprobe aus dem gleichen Stahl wie das oben beschriebene Bauteil wurde die in Abbildung 4.2 dargestellte Spannungs-Dehnungsbeziehung ermittelt.

Berechnen Sie die Schnittgrößen infolge der Last in dem Querschnitt, an dem die Dehnmessstreifen angebracht waren.

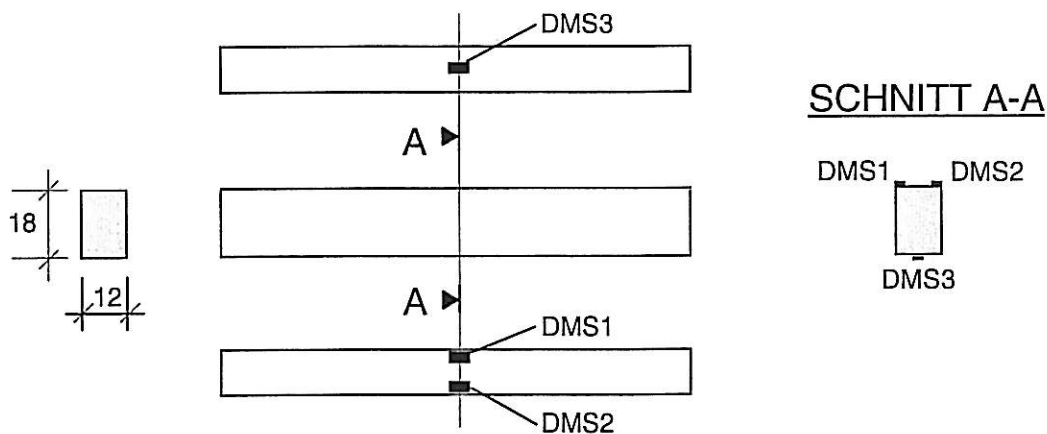


Abbildung 4.1 : Probekörperabmessungen und Lage der Dehnmessstreifen

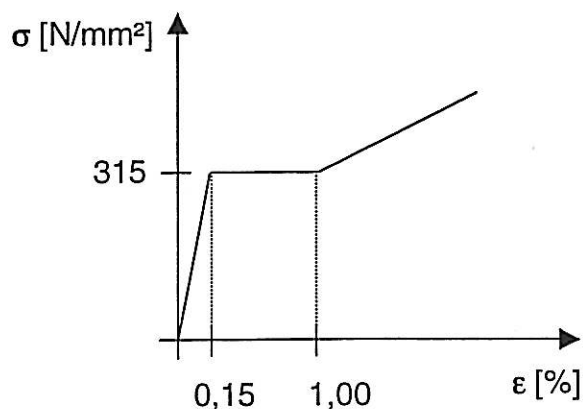
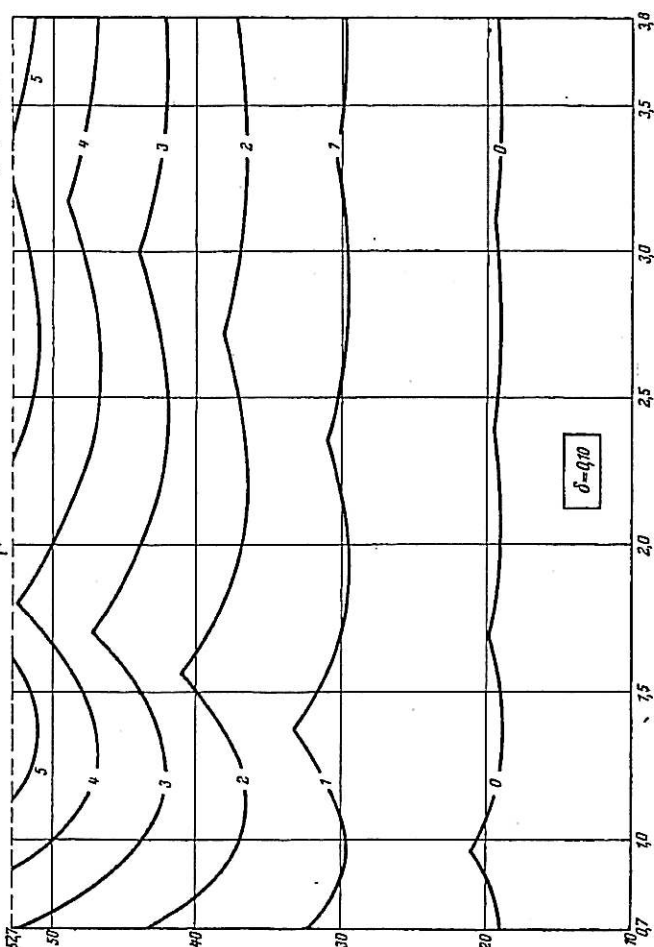
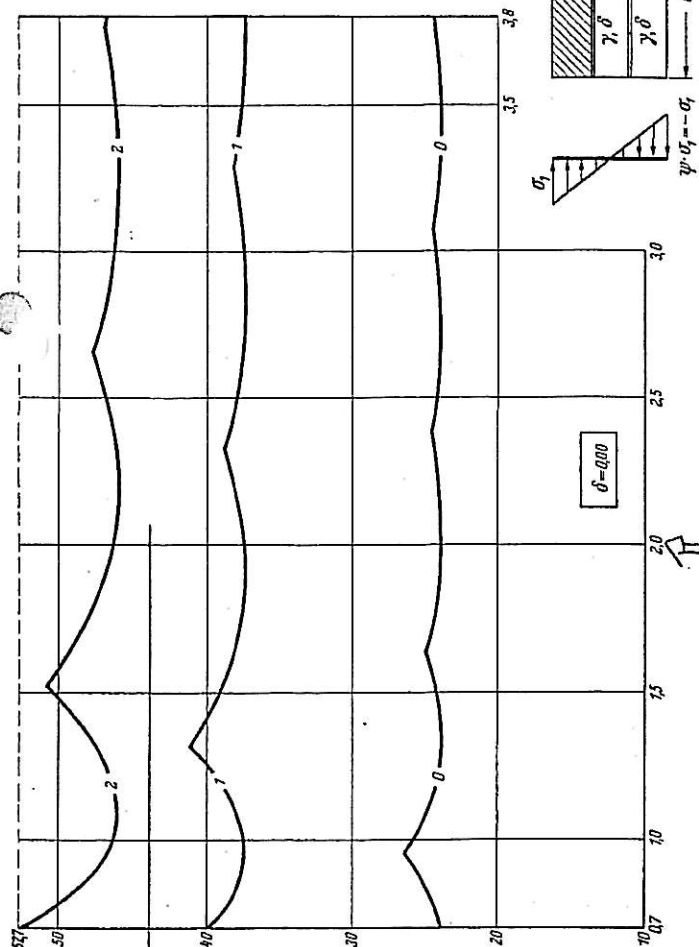
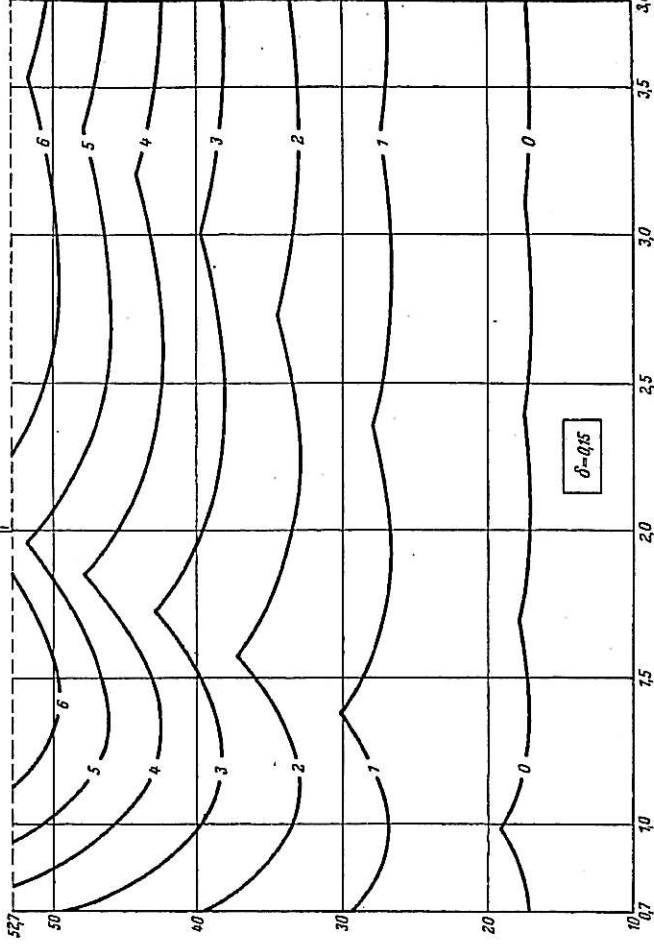
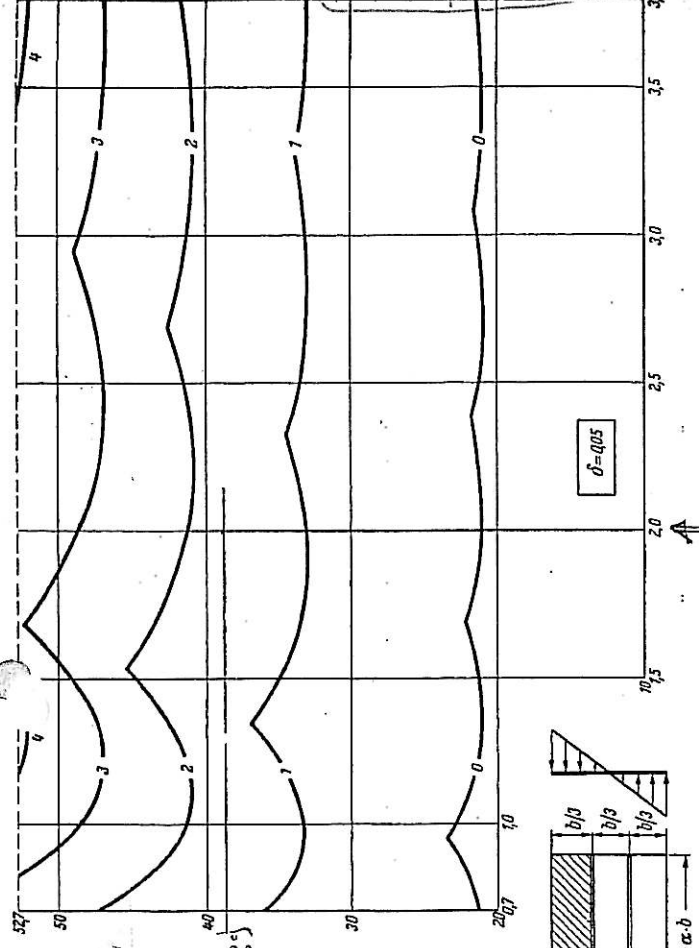
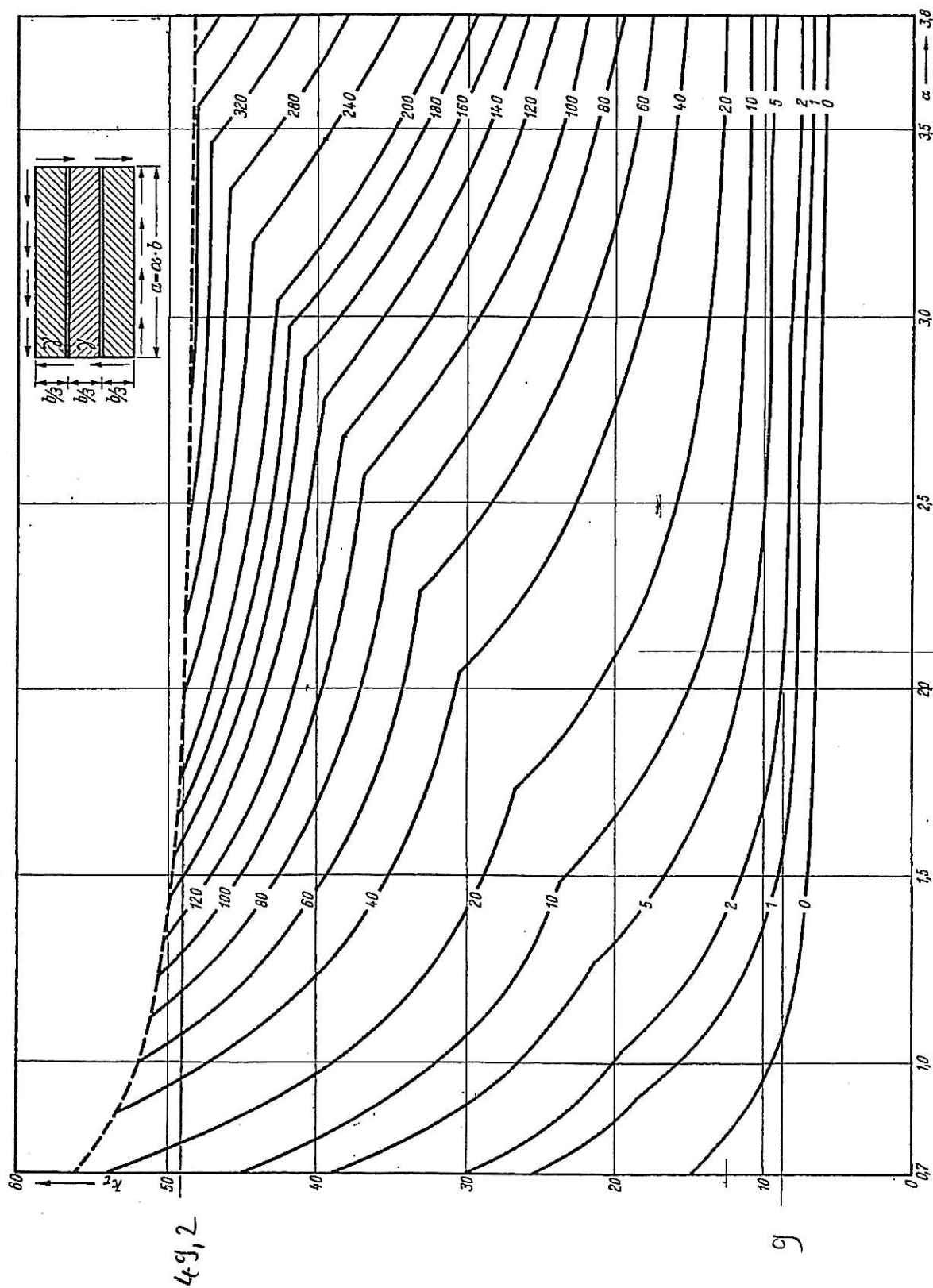


Abbildung 4.2 : Aus dem Zugversuch erhaltene Spannungs-Dehnungsbeziehung

Aufgabe 1



Beulwerttafel II/7.1. Über α aufgetragene Beulwerte k_σ , Kurvenparameter γ



Beulwerttafel II/7.6. Über α aufgetragene Beulwerte k_r . Kurvenparameter γ

1). Bestimmung des Querschnittsvektors der Steifen

$$b_{ik} = 664 \text{ mm} = 66,4 \text{ cm}$$

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

$$b'_{ik} = 0,605 \cdot 1,0 \cdot 75,9 \cdot \left(1 - 0,133 \cdot \frac{1 \cdot 75,9}{66,4} \right) = 39,0 \text{ cm}$$

$$b' = \frac{b'_{ik}}{2} + \frac{b'_{ik+1}}{2} = 39,0 \text{ cm}$$

$$I_{\text{steife}} = 32 \text{ cm}^4$$

$$A_{\text{steife}} = 5,25 \text{ cm}^2$$

$$\gamma = 10,92 \cdot \frac{I_{\text{steife}}}{b_g \cdot t^3} = 10,92 \cdot \frac{32,0 \text{ cm}^4}{200 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm}^3} = 1,75$$

$$\delta = \frac{A_{\text{steife}}}{b_g \cdot t} = \frac{5,25}{200 \cdot 1} = 0,026$$

Bestimmung der Beulwerte für das Gesamtfeld nach Klöppel/Scheer

$$\alpha = \frac{a}{b} = \frac{4000}{2000} = 2$$

$$k_\sigma = [44 + 3\alpha] \cdot \frac{1}{2} = 41,5$$

$$k_\tau = 9,0$$

I_y - Steife



$$z_y = \frac{1 \cdot 39 \text{ cm} \cdot 0,5 \text{ cm} + 3,5 \text{ cm} \cdot 1,5 \text{ cm} \cdot 2,75 \text{ cm}}{1 \cdot 39 \text{ cm}^2 + 3,5 \cdot 1,5 \text{ cm}^2}$$

$$z_y = 0,767 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_y &= \frac{1}{12} \cdot (39 \cdot 1^3 + 1,5 \cdot 3,5^3) \text{ cm}^4 & 8,61 \\ &+ 39 \cdot (0,767 - 0,5)^2 \text{ cm}^4 & 2,18 \\ &+ 1,5 \cdot 3,5 \cdot (2,75 - 0,767)^2 \text{ cm}^4 & 20,64 \\ &\hline & 32,0 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$I_y = 32,4 \text{ cm}^4$$

$$A = 3,5 \cdot 1,5 = 5,25 \text{ cm}^2$$

Bestimmung der Grenzbelastung:

$$\bar{\sigma}_e = 189800 \left(\frac{t}{b} \right)^2 \frac{N}{mm^2} = 189800 \cdot \left(\frac{10}{2000} \right)^2 \frac{N}{mm^2} = 4,45 \frac{N}{mm^2}$$

$$\bar{\sigma}_{pi} = \bar{\sigma}_e \cdot k_{\sigma} ; \quad \bar{\tau}_{pi} = \bar{\sigma}_e \cdot k_{\tau}$$

Tabelle 1 DIN 18800-3

$$\sigma: \quad \bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\bar{\sigma}_{pi}}} = \sqrt{\frac{360}{4,45 \cdot 41,5}} = 1,35$$

$$c = 1,25 - 0,25 \cdot \varphi = 1,25 - 0,25 \cdot (-1) = 1,5 \leq 1,25$$

$$\eta_2 = c \cdot \left(\frac{1}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,22}{\bar{\lambda}_p^2} \right) \leq 1$$

$$= 1,25 \cdot \left(\frac{1}{1,35} - \frac{0,22}{1,35^2} \right) = 0,775$$

$$\bar{\sigma}_{p,R,d} = \eta \cdot f_{y,d} = 0,775 \cdot 360 \cdot \frac{1}{1,1} = 254 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau: \quad \bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{y,k}}{\bar{\tau}_{pi} \cdot \sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{360}{4,45 \cdot 9,0 \cdot \sqrt{3}}} = 2,21$$

$$\eta_{\tau} = \frac{1,16}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,16}{2,21^2} = 0,235$$

$$\tau_{p,R,d} = 0,235 \cdot 360 \cdot \frac{1}{1,1} = 76,9 \frac{N}{mm^2}$$

Bestimmung der Schub und Biegespannungen

für $V_{z,d} = 1,0 \text{ kN}$ und $M_{y,d} = 5 \text{ m} \cdot 1 \text{ kN} = 5,0 \text{ kNm}$

$$\tilde{\tau} = \frac{V_{z,d}}{A_{\text{Steg}}} = \frac{1,0 \text{ kN}}{2 \cdot 1 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}} \cdot 10 = 0,0025 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{M_{y,d}}{I_y} \cdot z = \frac{5,00 \text{ kNm}}{5308000 \text{ cm}^4} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 10 = 0,0942 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

max $M_{y,d} = X \cdot 5 \text{ kNm} \Rightarrow \bar{\sigma} = X \cdot 0,0942 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

max $V_{y,d} = X \cdot 1 \text{ kN} \quad \tilde{\tau} = X \cdot 0,0025 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Nachweis mit Interaktion

$$\left(\frac{\bar{\sigma}}{\bar{\sigma}_{P,R,d}} \right)^{l_1} + \left(\frac{\tilde{\tau}}{\tilde{\tau}_{P,R,d}} \right)^{l_3} \leq 1$$

mit $l_1 = l_3 = 1$

$$\frac{0,0942 \cdot X}{254} + \frac{0,0025 \cdot X}{76,9} \leq 1$$

$$X \leq \frac{1}{0,0003709 + 0,0000325} = 2479$$

$$\Rightarrow \text{max } M_{y,d} = 5 \cdot \underline{\underline{2479}} = \underline{\underline{12355 \text{ kNm}}}$$

- 2) aus Beultafel Klöppel / Scheer
jeweils der obere Grenzwert der Karvenscheine

$$k_6 = 52,4$$

$$k_7 = 49,2$$

- 3) Maßgebend wird dann der
Beulnachweis für das Einzelfeld

Effective Breite Obergurt

$$\bar{\lambda}_p = \frac{1,052}{\sqrt{h_g}} \cdot \frac{b_g}{t} \cdot \sqrt{\frac{54}{E}} = 4,0$$

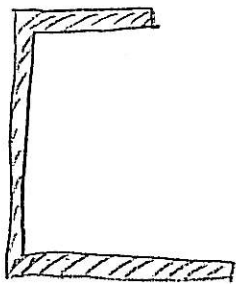
$$\rho = \left(1 - \frac{0,22}{\bar{\lambda}_p}\right) / \bar{\lambda}_p = 0,256$$

$$b_{eff} = \rho \cdot b_p = 0,256 \cdot 300 = 70,8 \text{ cm}$$

$$b_{eff,2} = 35,4 \text{ cm}$$

Effective Breite Steg:

Schwerpunkt:



A_i	a_i	$A_i \cdot a_i$
$(35,4 - 1,6) \cdot 1,6 = 54,08$	0,8	43,3
$(77 - 1,6) \cdot 1,6 = 117,04$	49,2	7707,5
$100 \cdot 1,6 = 160$	50	8000
$\Sigma 325$		$\Sigma 19058$

$$x_s = \frac{\Sigma A_i \cdot a_i}{\Sigma A_i} = \frac{19058}{325} = 58,6 \text{ mm}$$

$$\text{Randspannungsverhältnis } \psi = \frac{100 - 58,6}{58,6} = -0,77$$

$$k = 7,87 + 6,29 \cdot 0,77 + 9,78 \cdot 0,77^2 = 17,2$$

$$\lambda_p = \frac{1,052}{\sqrt{17,2}} \cdot \frac{100}{1,6} \cdot \sqrt{\frac{345}{210000}} = 0,64$$

$$k_1 = -0,04 \cdot 0,77^2 - 0,12 \cdot 0,77 + 0,92 = 0,37$$

$$k_2 = 0,04 \cdot 0,77^2 + 0,12 \cdot 0,77 + 0,58 = 0,69$$

$$b_{eff,1} = 0,37 \cdot 100 = 37 \text{ mm}$$

$$b_{eff,2} = 0,69 \cdot 100 = 69 \text{ mm}$$

Steg wird nicht reduziert

Trägheitsmoment I_{add} :

$$\begin{aligned}\frac{I_{add}}{2} &= \frac{33,8 \cdot 7,6^3}{12} + (33,8 \cdot 7,6) \cdot 57,8^2 \\ &+ \frac{7,6 \cdot 100^3}{12} \\ &+ \frac{69,4 \cdot 7,6^3}{12} + (69,4 \cdot 7,6) \cdot 40,6^2 \\ &= 497075 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

$$I_{add} = 994150 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_y = \frac{601 \cdot I}{z} = \frac{345 \cdot 994150}{58,6} = 5,85 \text{ kNm}$$

(Aufgabe 3)

a)

- Regel:

$$s_h = 133 \text{ Qcm}$$

$$i = 5,58$$

$$\lambda = 738$$

$$\omega = \frac{15,18 + 16,78}{2} = 15,98$$

(Interpolation zwischen $\rho_{02} = 140 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$ u. $160 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$)

$$15,98 \cdot \frac{1400}{1606} + 0,9 \cdot \frac{227 \cdot 10^6}{65777} = 45,9 \leq 88 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

- Stütze

in der Ebene

$$s_h = 203$$

$$i = 5,58$$

$$\lambda = 126$$

$$\omega = \frac{5,38 + 4,20}{2} = 4,79$$

aus der Ebene

$$s_h = 250$$

$$i = \sqrt{\frac{109,9}{16,96}} = 2,57 \quad \lambda = 98 \quad \omega = \frac{3,27 + 2,87}{2} = 3,07$$

$$504 \cdot \frac{5000}{1696} + 0,9 \left(\frac{50 \cdot 2000}{36632} + \frac{2 \cdot 27 \cdot 10^6}{65777} \right) = 14,9 + 0,9 \cdot (2,73 + 34,51) = 48,4 \leq 88$$

- krit. Druck

$$\delta = \frac{(60-4) \cdot 4}{(160-4) \cdot 4} = \frac{56}{156} = 0,36$$

$$\frac{L}{t} = \frac{156}{4} = 39 \leq (0,8 - 0,2 \cdot 0,36^2) \cdot 126 = 97,5 \quad \checkmark$$

b)

$$F_x = \frac{508 N}{4} + \frac{2,22}{4} \cdot \frac{50 \text{ mm} \cdot 10^6}{(70,7 \text{ mm})^2} = 5804 N$$

$$F_y = \frac{3000}{4} + \quad \quad \quad = 6425 N$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 8725 N$$

Lochleisung

$$\text{zul } \sigma_1 = 0,7 \cdot f_{p0.2} = 105 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

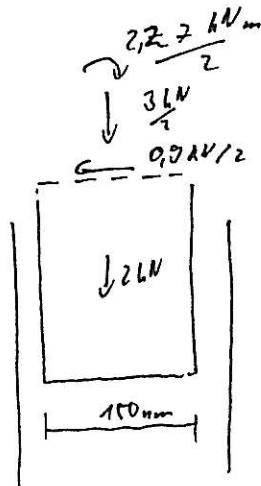
$$\text{vorh } \sigma_1 = \frac{8,7 \text{ kN}}{8 \text{ mm} \cdot 12 \text{ mm}} = 90,6 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 105 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \checkmark$$

Abstreifen

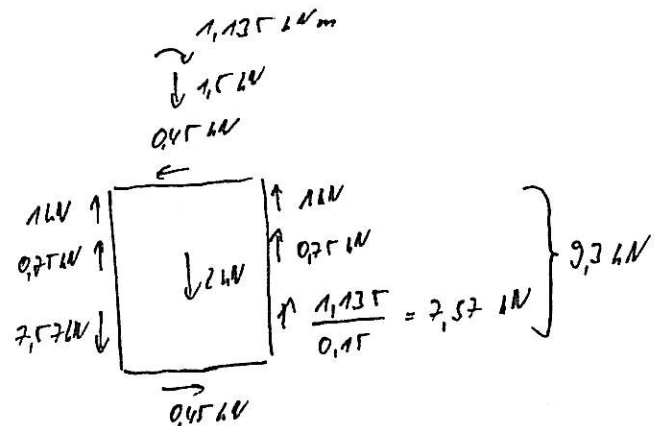
$$\text{zul } \tau = 165 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\text{vorh } \tau = \frac{8,7 \text{ kN}}{8 \cdot 12 \frac{1}{4}} = 77 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 165 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

geschwächster Anschluss



\Rightarrow

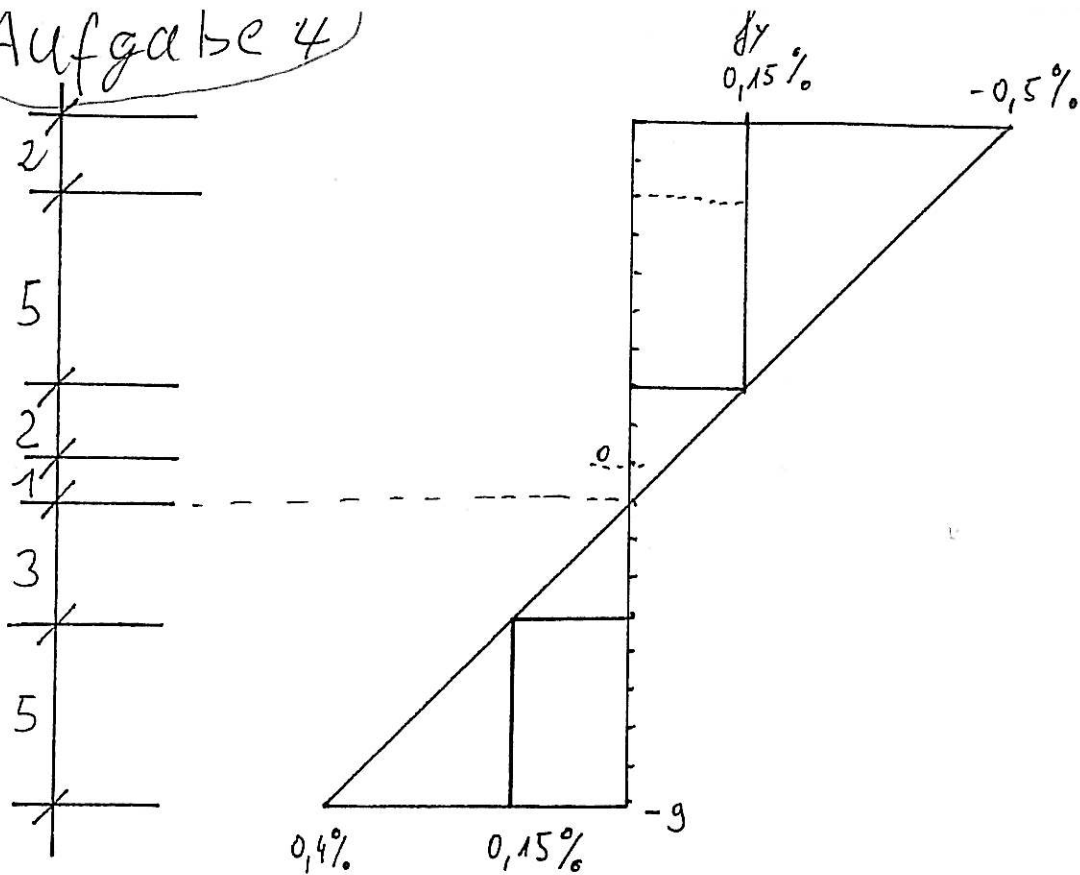


$$\tau_{II} = \frac{9,3 \text{ kN}}{4 \cdot 150} = 15,5 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \checkmark$$

Biegeung im Bereich der WEZ

$$\sigma = \frac{5000}{1696} + \frac{2,22 \cdot 10^6}{65777} + \frac{2000 N \cdot 50 \text{ mm}}{36637} = 40 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 48 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Aufgabe 4



$$N = 0,2 \cdot 31,5 \cdot 12 = 7,56 \text{ kN (Druck)}$$

$$M = 0,9 \cdot 7,56 + 2 \cdot 1,2 \cdot 31,5 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 0,3 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 0,55 \right)$$

$$= 29,86 \text{ kNm}$$