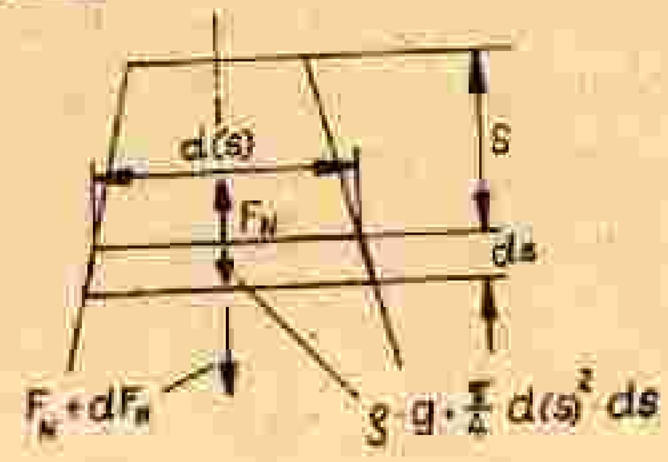
$\boxed{2.1.}$



$$\downarrow: dF_N + \varrho g \cdot \frac{\pi}{4} d^2 ds = 0$$

$$dF_N = -\varrho g \frac{\pi}{4} d^2 ds$$

$$d(s) = D + \frac{D}{h} \cdot s$$

$$F_N = -\int \varrho g \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \left(1 + \frac{s}{h}\right)^2 ds + C$$

$$F_N = -\varrho g \frac{\pi}{4} D^2 \left[s + \frac{s^2}{h} + \frac{1}{3}\frac{s^3}{h^2}\right] + C$$

RB: $F_N(s=0) = -F \Rightarrow C = -F$

$$F_N = -\varrho g \frac{\pi}{4} D^2 \left[s + \frac{s^2}{h} + \frac{1}{3}\frac{s^3}{h^2}\right] - F$$

$$\sigma = \frac{F}{A}, \quad A = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$\sigma = -\varrho g s \frac{1 + \frac{s}{h} + \frac{1}{3}\frac{s^2}{h^2}}{\left(1 + \frac{s}{h}\right)^2} - \frac{F}{\frac{\pi}{4} D^2 \left(1 + \frac{s}{h}\right)^2}$$

$$\underline{\sigma(s=h) = -\varrho g h \frac{7}{12} - \frac{F}{\pi D^2}}$$

$$\underline{\underline{\sigma(s=h) = -2{,}68\ N/mm^2}}$$

$\boxed{2.2.}$

Stab mit veränderlicher Längskraft infolge Eigengewicht

zu 1.

$$\uparrow: F_L - F_G = 0 \qquad F_L = F_G$$

$$F_G = \varrho g V = \varrho \cdot g \cdot A(l - z)$$

$$\underline{\sigma_z} = \frac{F_L}{A} = \underline{\varrho \cdot g (l - z)}$$

$$\underline{\underline{\sigma_{z max (z=0)} = \varrho \cdot g \cdot l = 463 \frac{N}{mm^2}}}$$

zu 2. $\varepsilon_z = \frac{dv_z}{dz} = \frac{\sigma_z}{E}$ $v_z(z=l) = \frac{\varrho \cdot g}{E} \int_0^l (l - z)\, dz = \frac{\varrho \cdot g}{E} \frac{l^2}{2}$

$$\underline{\underline{v_z(z=l) = 6{,}610\ m}}$$

zu 3. $6000\,m$ $\sigma_{z max} = 463 \frac{N}{mm^2}$ Mindeststreckgrenzen

$10000\,m$ $\sigma_{z max} = 771 \frac{N}{mm^2}$ St 60 $\sigma_F = 324 \frac{N}{mm^2}$

30 MnCrSi 6 $\sigma_F = 590 \frac{N}{mm^2}$

50 CrMo 4 $\sigma_F = 883 \frac{N}{mm^2}$

Mit hochfesten Stählen ist die 10000 m - Bohrung noch zu realisieren.

$\boxed{2.3.}$

1. $\sigma_B = \frac{F}{\frac{\pi}{4}d^2} = 881{,}7\ N/mm^2$

Auf Ausgangsquerschnitt bezogen

$\sigma_B^* = \frac{F}{\frac{\pi}{4}d_0^2} = 509{,}2\ N/mm^2$

2. $\varepsilon_{Bm} = \frac{L - L_0}{L_0}$ (mittlere Dehnung)

$\varepsilon_{Bm} = 0{,}1 \quad (= 10\%$

3. $\varepsilon_B = \frac{dL - dL_0}{dL_0} = \frac{dL}{dL_0} - 1$ (Dehnung in der Einschnürung)

Volumengleichheit:

$A_0 \cdot dL_0 = A \cdot dl$ (Vernachlässigung der Volumendehnung)

$$\frac{dL}{dL_0} = \frac{A_0}{A}$$

$$\varepsilon_B = \frac{A_0}{A} - 1 = \frac{d_0^2}{d^2} - 1$$

$$\varepsilon_B = \underline{0{,}731} \quad (= 73{,}1\%)$$

$\boxed{2.4.}$

$$\sigma = \frac{-F}{A},\ A = \frac{\pi}{4}d^2,\ \varepsilon = \frac{\sigma}{E},\ \varepsilon_q = -\nu \cdot \varepsilon,\ d_1 = (1 + \varepsilon_q)\, d$$

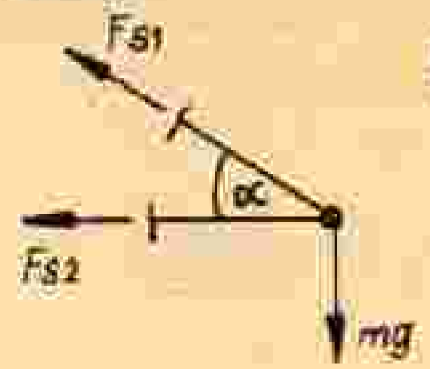
Zahlenwerte:

$\sigma = \underline{127{,}3\ N/mm^2}, \quad \varepsilon = \underline{-0{,}000618}$

$\varepsilon_q = 0{,}000185$

$d_1 = \underline{20{,}0037\ mm}$

$\boxed{2.5}$



$\uparrow: F_{S1} \cdot \sin\alpha - mg = 0$

$F_{S1} = \frac{mg}{\sin\alpha}$

$A_{erf} = \frac{F_{S1}}{\sigma_{zul}}$, danach T-Profil wählen

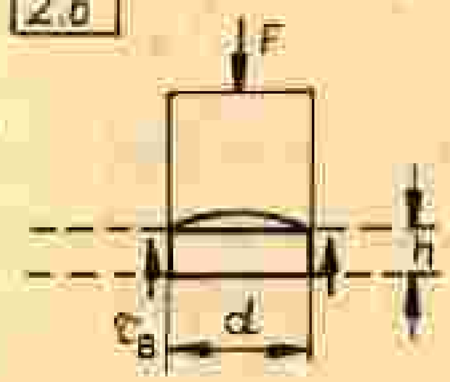
Zahlen:

$F_{S1} = \underline{29430\ N} \qquad A_{erf} = \underline{294{,}3\ mm^2}$

gewählt T 35 mit $\underline{A = 297\ mm^2}$

$\sigma_{vorh} = \frac{F_{S1}}{A} = \frac{29430}{297} = \underline{99{,}1\ N/mm^2}$

$\boxed{2.6}$



$\downarrow: F - \tau_B \cdot \pi \cdot d \cdot h = 0$

$F = \tau_B \cdot \pi \cdot d \cdot h$

$\underline{F = 15{,}7 \cdot 10^3\ N}$

$\boxed{2.7}$

1. Abscherung (Bolzen) $\quad \tau_{vorh.}\ 2 \frac{\pi}{4} d^2 = F$

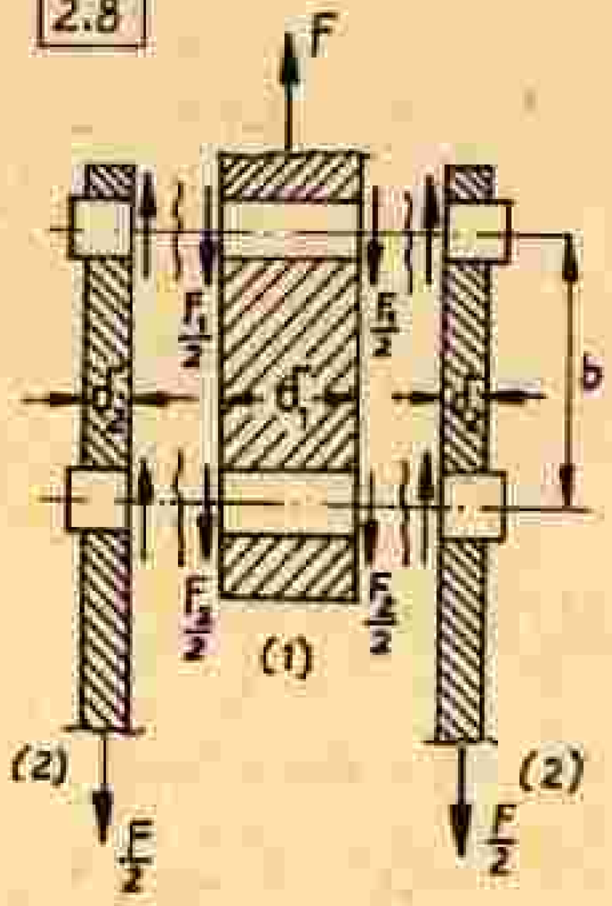
$\tau_{vorh.} = \frac{2F}{\pi d^2} = 6{,}29\ N/mm^2 < \tau_{zul} = 30\ N/mm^2$

2. Pressung (Bolzen) $\quad \sigma_{L vorh} \cdot d \cdot \delta = F$

$\sigma_{L vorh} = \frac{F}{d \cdot \delta} = 9{,}88\ N/mm^2 < \sigma_{L zul} = 10\ N/mm^2$

3. Zug (Blech) $\quad \sigma_{vorh} = \frac{F}{(a-d)\delta} = 9{,}88\ N/mm^2 < \sigma_{zul} = 50\ N/mm^2$

2.8



Dehnung der Bleche zwischen den beiden Bolzen:

$$\varepsilon_1 = \frac{F_2}{E a \delta_1} \; ; \quad \varepsilon_2 = \frac{F_1}{2 E a \delta_2}$$

$$F_1 + F_2 = F$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2$$

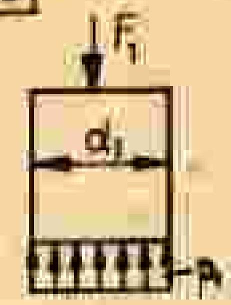
$$\frac{F - F_1}{E a \delta_1} = \frac{F_1}{2 E a \delta_2}$$

$$F_1 = \frac{2 F \delta_2}{\delta_1 + 2\delta_2}$$

Zahlen: $F_1 = \underline{5{,}714\,kN}$; $F_2 = F - F_1 = \underline{4{,}286\,kN}$

Zusatzfrage: Es ist nicht sinnvoll, denn die Bolzen, die zusätzlich zwischen 1 und 2 eingefügt werden, übertragen wegen $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ keine Kräfte.

2.9

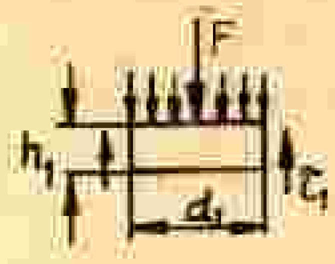


1. Pressung Bolzen – Buchse

$$\frac{\pi}{4} d_1^2 p_1 = F$$

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{F \cdot 4}{p_{1zul} \cdot \pi}} = 56{,}42\,mm$$

gewählt $\longrightarrow \underline{d_1 = 60\,mm}$

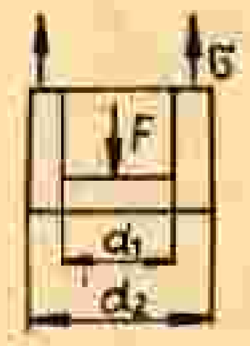


2. Abscherung Boden der Buchse

$$\pi \cdot d_1 \cdot h_1 \cdot \tau_1 = F$$

$$h_1 \geq \frac{F}{\pi \cdot d_1 \tau_{1zul}} = 10{,}61\,mm$$

gewählt $\longrightarrow \underline{h_1 = 12\,mm}$

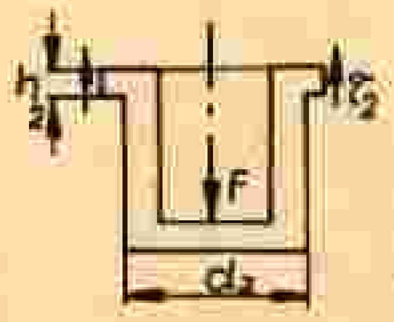


3. Zug Buchse

$$\sigma \cdot \frac{\pi}{4}(d_2^2 - d_1^2) = F$$

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi \sigma_{zul}} + d_1^2} = 69{,}81\,mm$$

gewählt $\longrightarrow \underline{d_2 = 70\,mm}$



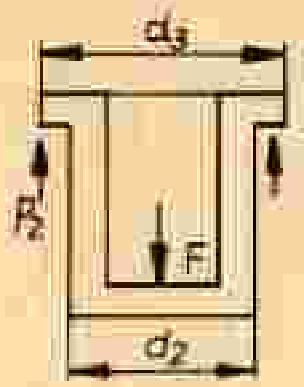
4. Abscherung Bund der Buchse

$$\pi \cdot d_2 \cdot h_2 \cdot \tau_{zul} = F$$

$$h_2 > \frac{F}{\pi\, d_2 \tau_{zul}} = 9{,}09\,mm$$

gewählt $\longrightarrow \underline{h_2 = 10\,mm}$

2.9



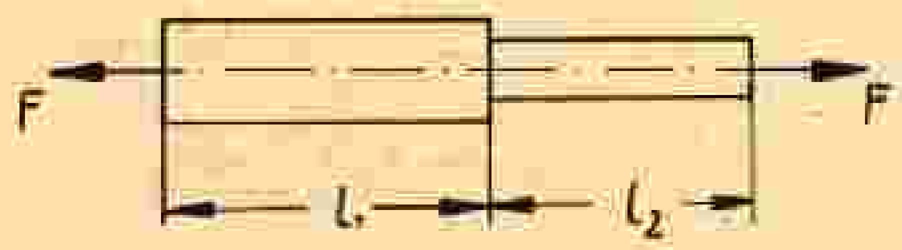
5. Pressung Bund der Buchse

$$\frac{\pi}{4}(d_3^2 - d_2^2)\cdot p_2 = F$$

$$d_3 \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi\, p_2} + d_2^2} = 78{,}57\,mm$$

gewählt $\rightarrow$ $\underline{d_3 = 80\,mm}$

2.10



1. Verlangerung der einzelnen Abschnitte Δl_1, Δl_2

$$\Delta l_1 + \Delta l_2 < \delta \rightarrow F = 0$$

$$\Delta l_1 + \Delta l_2 = \delta \rightarrow F \neq 0$$

Hookesches Gesetz: $\Delta l_1 = l_1\left(\frac{F}{E_1A_1} + \alpha_{th}\,\Delta T\right)$

$$\Delta l_2 = l_2\left(\frac{F}{E_2A_2} + \alpha_{th}\,\Delta T\right)$$

Damit gilt

$$F\left(\frac{l_1}{E_1A_1} + \frac{l_2}{E_2A_2}\right) + \alpha_{th}\,\Delta T(l_1 + l_2) = \delta$$

$$\underline{F = -\frac{\alpha_{th}\,\Delta T\,(l_1 + l_2) - \delta}{\frac{l_1}{E_1A_1} + \frac{l_2}{E_2A_2}}} \quad \text{für } \alpha_{th}\,\Delta T(l_1 + l_2) - \delta > 0$$

2.10

Grenzfall $\underline{\Delta T = \Delta T^* = \frac{\delta}{\alpha_{th}\,(l_1 + l_2)}}$, für $\Delta T < \Delta T^*$ ist $F = 0$

Zahlenwerte: $\Delta T^* = 28{,}6\,k$

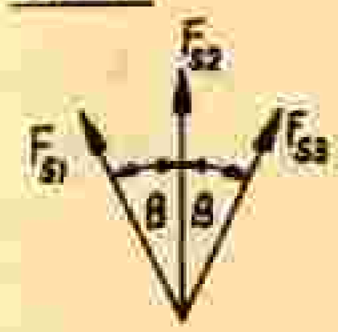
$$\underline{F = -2{,}17\cdot 10^4\cdot N}$$

2. $A_2 < A_1$

$$|\sigma|_{max} = \frac{|F|}{A_2} = \underline{31{,}0\,N/mm^2}$$

2.11

<u>Zu 1:</u>



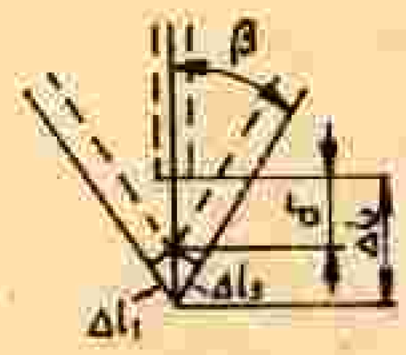
Gleichgewicht

$$F_{S1} = F_{S3}$$

$$F_{S2} = -2\,F_{S1}\cdot\cos\beta$$

Das System ist einfach statisch unbestimmt.

Verlängerung der Stäbe Δl_1, Δl_2, Δl_3



$$\Delta l_1 = \Delta l_3 = \cos\beta\,(\Delta l_2 - \delta)$$

$$l_1 = l_3 = \frac{l}{\cos\beta}$$

Hookesches Gesetz:

$$\Delta l_1 = \frac{F_{S1}\,l_1}{(EA)_1} \qquad \Delta l_2 = \frac{F_{S2}\,l_2}{(EA)_2}$$

$\boxed{2.11}$

Damit gilt:

$$\frac{F_{S1}\frac{l}{\cos\beta}}{EA} = \cos\beta\left(\frac{F_{S2}\, l}{EA} - \delta\right)$$

$$F_{S1} = \cos^2\beta\left(-2F_{S1}\cos\beta - \frac{EA}{l}\,\delta\right)$$

$$\underline{F_{S1} = F_{S3} = -\frac{EA\delta\cdot\cos^2\beta}{l(1+2\cos^3\beta)}\,,\quad F_{S2} = 2\frac{EA\delta\cos^3\beta}{l(1+2\cos^3\beta)}}$$

Zu 2: $\underline{|\sigma|_{max}} = \frac{F_{S2}}{A} = \underline{\frac{2E\delta\cos^3\beta}{l(1+2\cos^3\beta)}}$

<u>Zahlenbeispiel:</u>

zu 1.: $\underline{F_{S1} = F_{S3} = -0{,}456\cdot 10^5\,N}$

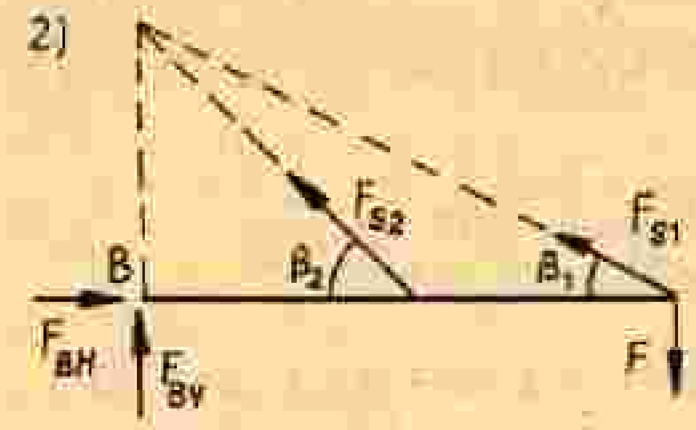
$\underline{F_{S2} = 0{,}79\cdot 10^5\,N}$

zu 2: $\underline{|\sigma|_{max} = 198\,N/mm^2}$

$\boxed{2.12}$

1) $\sigma_i = \frac{F_{Si}}{A_i} \quad (i = 1,2) \quad (1)$

2)



Gleichgewicht:

$\curvearrowleft B$:

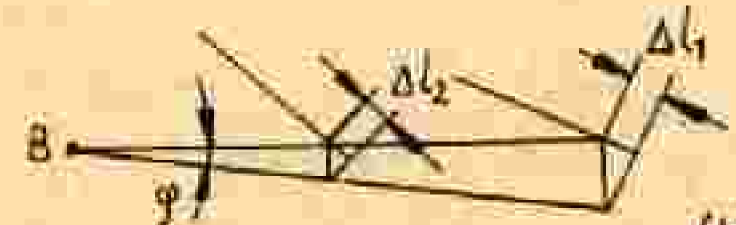
$$F_{S1}\cdot\sin\beta_1\cdot 2a + F_{S2}\sin\beta_2\cdot a - F\cdot 2a = 0$$

$$2F_{S1}\sin\beta_1 + F_{S2}\sin\beta_2 = 2F \quad (2)$$

$$\sin\beta_1 = \frac{\sqrt{5}}{5}\,,\quad l_1 = \frac{a}{\sin\beta_1}$$
$$\sin\beta_2 = \frac{\sqrt{2}}{2}\,,\quad l_2 = \frac{a}{\sin\beta_2} \quad (3)$$

Das System ist einfach statisch unbestimmt

Verformungsbetrachtung:



$$\Delta l_1 = \varphi\cdot 2a\sin\beta_1$$
$$\Delta l_2 = \varphi\cdot a\sin\beta_2 \quad (4)$$

(kleine Verformungen!)

Hookesches Gesetz:

$$\varepsilon_i = \frac{\sigma_i}{E_i} + \alpha_{th}\cdot\Delta T\,,\qquad \varepsilon_i = \frac{\Delta l_i}{l_i} \quad (5)$$

$$F_{Si} = E_i A_i\left(\frac{\Delta l_i}{l_i} - \alpha_{th}\cdot\Delta T\right) \quad (6)$$

$\boxed{2.12}$

In (2) eingesetzt unter Berücksichtigung von (4) und lt. Aufgabenstellung $E_1 = E_2 = E$, $A_1 = A_2 = A$ folgt:

$$2EA(2\varphi \sin^2\beta_1 - \alpha_{th}\Delta T)\sin\beta_1 + EA(\varphi \sin^2\beta_2 - \alpha_{th}\Delta T)\sin\beta_2 = 2F$$

$$\varphi = \frac{\frac{2F}{EA} + \alpha_{th}\Delta T\,(2\sin\beta_1 + \sin\beta_2)}{4\sin^3\beta_1 + \sin^3\beta_2} \qquad (7)$$

Damit folgt für die Seilkräfte aus (4), (6) und (7)

$$F_{S1} = \frac{4F\sin^2\beta_1 - EA\alpha_{th}\,\Delta T(\sin^2\beta_2 - 2\sin^2\beta_1)\sin\beta_2}{4\sin^3\beta_1 + \sin^3\beta_2} > 0$$

$$F_{S2} = \frac{2F\sin^2\beta_2 + 2EA\alpha_{th}\,\Delta T(\sin^2\beta_2 - 2\sin^2\beta_1)\sin\beta_1}{4\sin^3\beta_1 + \sin^3\beta_2} > 0$$

Grenzwerte für ΔT

$$F_{S1} = 0 \Rightarrow \Delta T_1 = \frac{4F\sin^2\beta_1}{EA\alpha_{th}(\sin^2\beta_2 - 2\sin^2\beta_1)\sin\beta_2}$$

$$F_{S2} = 0 \Rightarrow \Delta T_2 = \frac{-F\sin^2\beta_2}{EA\alpha_{th}(\sin^2\beta_2 - 2\sin^2\beta_1)\sin\beta_1}$$

3.) $v_{F1} = \varphi(\Delta T_1)\cdot 2a$

$v_{F2} = \varphi(\Delta T_2)\cdot 2a$

$\boxed{2.12}$

<u>Zahlenwerte:</u>

$$\Delta T_1 = \frac{4\cdot 500\cdot\frac{1}{5}}{2{,}1\cdot 10^5\cdot 50\cdot 12\cdot 10^{-6}(\frac{1}{2}-\frac{2}{5})\frac{\sqrt{2}}{2}} = \underline{44{,}9\ ^\circ K}$$

$$\Delta T_2 = \frac{-500\cdot\frac{1}{2}}{2{,}1\cdot 10^5\cdot 50\cdot 12\cdot 10^{-6}(\frac{1}{2}-\frac{2}{5})\frac{\sqrt{5}}{5}} = \underline{-44{,}4\ ^\circ K}$$

<u>Zugehörige Kräfte:</u>

$F_{S1}(\Delta T_1) = 0$; $F_{S2}(\Delta T_1) = 2\sqrt{2}\,F = \underline{1414{,}2\ N}$

$F_{S1}(\Delta T_2) = F\cdot\sqrt{5} = \underline{1118{,}0\ N}$; $F_{S2} = 0$

$$v_{F1} = \frac{2F}{EA}\cdot\frac{2a}{(\sin^2\beta_2 - 2\sin^2\beta_1)\sin\beta_2} = \underline{1{,}35\ mm}$$

$$v_{F2} = -\frac{F}{EA}\cdot\frac{2a}{(\sin^2\beta_2 - 2\sin^2\beta_1)\sin\beta_1} = \underline{1{,}06\ mm}$$

$\boxed{2.13}$

1. $F \geq F^{*} = \dfrac{S_{E_1} A_1}{l}$

2. $\left.\begin{array}{l} F_{z1} = \text{Längskraft im äußeren Zylinder} \\ F_{z2} = \text{Längskraft im inneren Zylinder} \end{array}\right\} F_{z1} + F_{z2} = -F$

$\left.\begin{array}{l} \Delta l_1 = \text{Verlängerung des äußeren Zylinders} \\ \Delta l_2 = \text{Verlängerung des innereren Zylinders} \end{array}\right\} \Delta l_2 = \Delta l_1 + \delta$

$$\Delta l_1 = \frac{F_{z1} l}{E_1 A_1} \quad ; \qquad \Delta l_2 = \frac{F_{z2} l}{E_2 A_2}$$

$$-\frac{(F + F_{z1}) l}{E_2 A_2} = \frac{F_{z1} l}{E_1 A_1} + \delta$$

$$F_{z1} = -\frac{F + \frac{\delta}{l} E_2 A_2}{1 + \frac{E_2 A_2}{E_1 A_1}} \quad ; \quad F_{z2} = \frac{-F + \frac{\delta}{l} E_1 A_1}{1 + \frac{E_1 A_1}{E_2 A_2}}$$

3. $V_{rel} = |\Delta l_1| = \dfrac{F \cdot l + \delta E_2 A_2}{E_1 A_1 + E_2 A_2}$

$\boxed{2.14}$

- Einfach statisch unbestimmtes System

Zu 1. : Gleichgewicht

$\rightarrow$: $F_{Bh} = 0$ (1.)

$\uparrow$: $F_{Bv} + F_{S1} + F_{S2} - F = 0$ (2.)

$\curvearrowleft B$: $F_{S1} 2a + F_{S2} 4a - F 3a = 0$ (3.)

Verformung

$\Delta l_2 = 2 \Delta l_1$ Aus Strahlensatz (4.)

$$\Delta l = \frac{F_S}{EA} l \qquad \Delta l_1 = \frac{F_{S1} l}{(EA)_1} \qquad \Delta l_2 = \frac{F_{S2} 2l}{(EA)_2} \qquad (5. u. 6)$$

Lösung: (5. u. 6) in (4.) $\dfrac{F_{S1}}{(EA)_1} - \dfrac{F_{S2}}{(EA)_2} = 0$

(3.) $\underline{F_{S1} + 2 F_{S2} = \frac{3}{2} F}$

$$F_{S1} = \frac{3F}{2\left(1 + 2\frac{(EA)_2}{(EA)_1}\right)} \qquad F_{S2} = \frac{3F \frac{(EA)_2}{(EA)_1}}{2\left(1 + 2\frac{(EA)_2}{(EA)_1}\right)}$$

$$F_{Bv} = -\frac{1}{2} \frac{F\left(1 - \frac{(EA)_2}{(EA)_1}\right)}{\left(1 + 2\frac{(EA)_2}{(EA)_1}\right)}$$

Zahlenwerte: $\underline{\underline{F_{S1} = 819\,N}}$

$\underline{\underline{F_{S2} = 1090\,N}}$

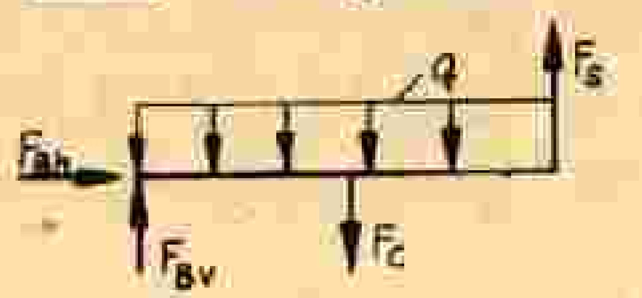
$\underline{\underline{F_{Bv} = 91\,N}}$

Zu 2. : $\Delta l_2 = \dfrac{F_{S2}\, 2l}{(EA)_2} = \underline{\underline{0{,}109\,mm}}$

$\boxed{2.15}$

- Einfach statisch unbestimmtes System

<u>Zu 1.</u> Gleichgewicht: Verformung:



$\longrightarrow : F_{Bh} = 0 \quad (1)$ $\qquad \frac{\Delta l}{2a} = \frac{-f}{a}$

$\uparrow : F_{Bv} - F_C + F_S - q2a = 0 \quad (2)$ $\qquad \Delta l = -2f \quad (4)$

$\curvearrowleft B : -F_C \cdot a + F_S \cdot 2a - q2a^2 = 0 \quad (3)$

Hookesches Gesetz

für den Stab $\Delta l = \frac{F_S \cdot l}{E \cdot A} \quad (5)$

für die Feder $f = \frac{F_C}{c} \quad (6)$

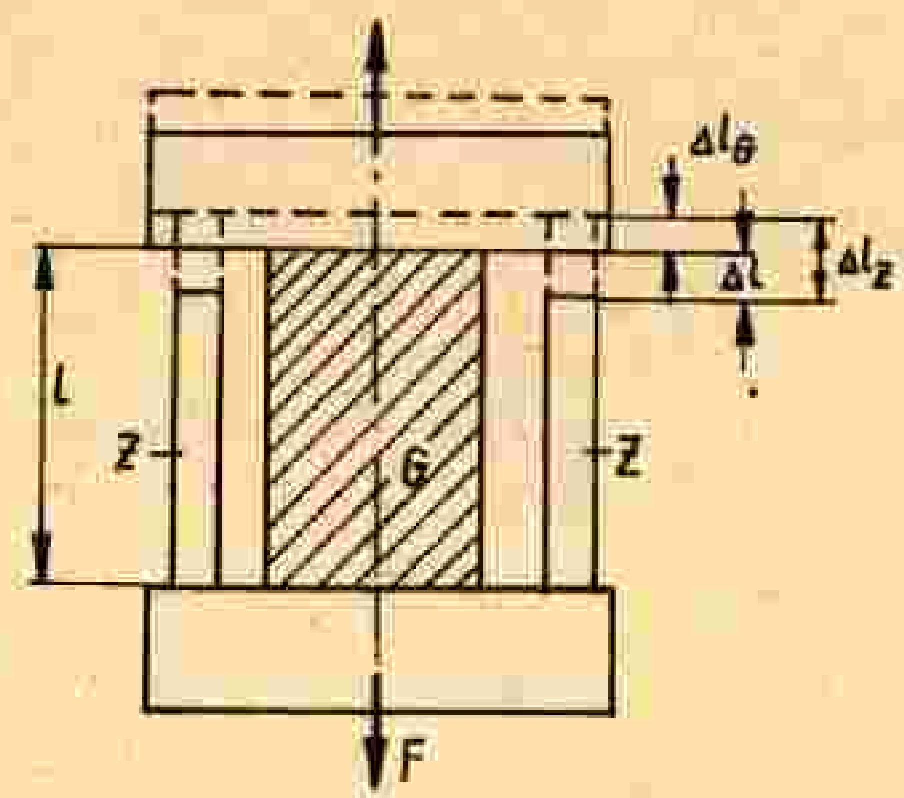
(5) u. (6) in (4) $\frac{F_S\, l}{EA} + 2\,\frac{F_C}{c} = 0$

$\underline{2F_S - F_C = 2qa}$

Lösung: $\underline{F_S = \frac{qa}{1 + \frac{cl}{4EA}}}$ $\qquad \underline{F_C = -\frac{2qa\,\frac{cl}{4EA}}{1 + \frac{cl}{4EA}}}$

aus (2) $\underline{F_{Bv} = \frac{qa}{1 + \frac{cl}{4EA}}}$

$\boxed{2.16}$



Allgemein: $\Delta l + \Delta l_G = \Delta l_Z$ $\qquad$ Hookesches Gesetz

$2F_Z + F_G = F$ $\qquad \frac{\sigma_Z}{E_Z} l - \frac{\sigma_G}{E_G} l = \Delta l \quad (1)$

$2\sigma_Z A_Z + \sigma_G A_G = F \quad (2)$

1. $\sigma_G = -\sigma_0$, $\quad F = 0$

Aus (2) $\sigma_Z = -\frac{1}{2}\sigma_0 \frac{A_G}{A_Z} = \underline{+102\ N/mm^2}$

Aus (1) $\underline{\Delta l = 0{,}32964\ mm}$

$\boxed{2.16}$

2. $\Delta l = 0{,}32964\ mm$, $F = 40\ KN$

Aus (1) und (2) folgt

$$\sigma_z = \frac{E_z\left(\frac{\Delta l}{l} + \frac{F}{E_G A_G}\right)}{1 + 2\,\frac{E_z A_z}{E_G A_G}} = \underline{104{,}6\ N/mm^2}$$

$$\sigma_G = \frac{F - 2E_z A_z \frac{\Delta l}{l}}{A_G\left(1 + 2\,\frac{E_z A_z}{E_G A_G}\right)} = \underline{-\ 18{,}5\ N/mm^2}$$

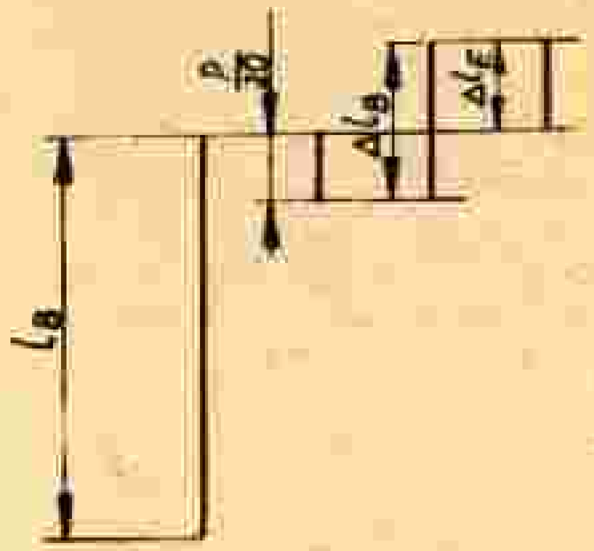
3. $\Delta l = 0{,}32964\ mm$, $\sigma_G = 0$

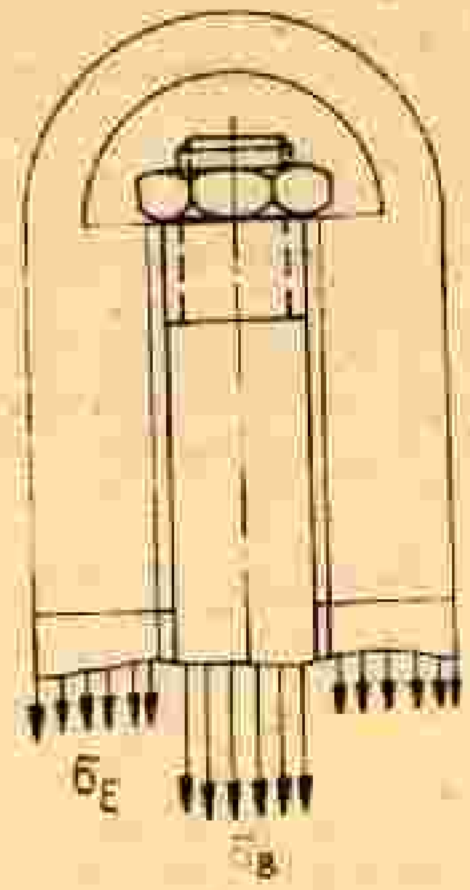
Aus (1) und (2) folgt

$$F = 2\,E_z A_z \cdot \frac{\Delta l}{l} = \underline{532{,}4\ KN}$$

$\boxed{2.17}$

Zu 1:





Δl_B Verlängerung des Bolzens

Δl_E Verlängerung der Einlage

Verformungsbedingung:

$$\Delta l_B = \Delta l_E + \frac{p}{20}$$

Gleichgewichtsbedingung:

$$\sigma_E \cdot A_E + \sigma_B \cdot A_B = 0$$

$$F_E + F_B = 0 \qquad F_E = -F_B$$

Elastizitätsgesetz:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E; \quad \frac{F_B}{A_B} = \frac{\Delta l_B}{l_B} \cdot E_B; \quad \frac{F_E}{A_E} = \frac{\Delta l_E}{l_E} \cdot E_E;$$

$$\Delta l_B = F_B \cdot \frac{l_B}{(EA)_B}; \quad \Delta l_E = F_E \cdot \frac{l_E}{(EA)_E} = -F_B \frac{l_E}{(EA)_E}$$

Aus Verformungsbedingungen:

$$F_B = \frac{p}{20\left(\frac{l_B}{(EA)_B} + \frac{l_E}{(EA)_E}\right)} \qquad \sigma_B = \frac{p \cdot E_B}{20\left(l_B + \frac{(EA)_B}{(EA)_E} \cdot l_E\right)} = \underline{37\ N/mm^2}$$

$\boxed{2.17}$

<u>Zu 2:</u> Gleichgewichtsbedingung: $F_E + F_B = F$

Verformungsbedingung: $\Delta l_B = \Delta l_E + \frac{p}{20}$

Daraus folgt analog zu 1.

$$\sigma_B = \frac{\frac{F}{A_E} + \frac{p}{20 l_E} \cdot E_E}{\frac{E_E}{E_B} \cdot \frac{l_B}{l_E} + \frac{A_B}{A_E}}$$

Mit $\sigma_B = \sigma_{zul}$ erhält man

$$F = \sigma_{zul} \cdot \left(A_E \cdot \frac{E_E}{E_B} \cdot \frac{l_B}{l_E} + A_B \right) - \frac{p}{20} \cdot A_E \cdot \frac{E_E}{l_E}$$

$$\underline{F = 7700\ N}$$

Die Berechnung ist nur richtig, wenn $\sigma_E < 0$, da die elastische Einlage keine Zugspannung aufnehmen kann.

$$\sigma_E = \frac{\frac{F}{A_B} - \frac{p}{20 l_B} \cdot E_B}{\frac{E_B}{E_E} \cdot \frac{l_E}{l_B} + \frac{A_E}{A_B}}$$

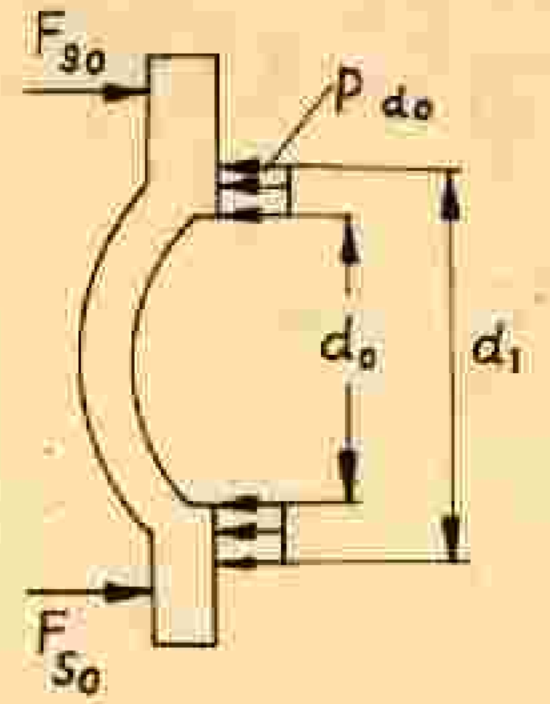
Mit $F = 7700\ N$ ergibt sich

$$\underline{\sigma_E = -0{,}5\ N/mm^2}$$

Damit ist die oben genannte Forderung erfüllt.

$\boxed{2.18}$

1. Schraubenkräfte für $p = 0$:



$$n F_{So} = p_{do} \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_o^2)$$

$$F_{So} = \frac{1}{n} p_{do} \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_o^2)$$

$$F_{So} = \frac{1}{36} \cdot 20 \frac{\pi}{4} (550^2 - 500^2)$$

$$\underline{F_{So} = 22\,907\ N}$$

2. Dichtungsdruck p_d, wenn $p = 2\ N/mm^2$

Verkürzung Δl der Schrauben beim Vorspannen ($p = 0$)

$$\Delta l = \frac{p_{do}}{E_d} l_d + \frac{F_{So}}{A_s} \frac{l_s}{E_s} \qquad \text{(siehe auch Aufg. 2.16)}$$

$$\Delta l = \frac{20}{1{,}25 \cdot 10^5} \cdot 2 + \frac{22907}{201} \cdot \frac{52}{2{,}06 \cdot 10^5} = \underline{0{,}029088\ mm}$$

Δl ändert sich nicht für $p > 0$, also

$$\Delta l = \frac{p_d}{E_d} l_d + \frac{F_s}{A_s} \cdot \frac{l_s}{E_s} \qquad (1)$$

Gleichgewicht:

$$p \frac{\pi}{4} d_o^2 = -p_d \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_o^2) + n \cdot F_s \qquad (2)$$

2.18

aus (1) und (2) folgt:

$$p_d = \frac{n\,A_s\,E_s\,\frac{\Delta l}{l_s} - p\,\frac{\pi}{4}\,d_o^2}{\frac{E_s}{E_d}\cdot\frac{l_d}{l_s}\cdot n\cdot A_s + \frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_o^2)}$$

$$p_d = \frac{36\cdot 201\cdot 2{,}06\cdot 10^5\,\frac{0{,}029088}{52} - 2\,\frac{\pi}{4}\,500^2}{\frac{2{,}06\cdot 10^5}{1{,}25\cdot 10^5}\cdot\frac{2}{52}\cdot 36\cdot 201 + \frac{\pi}{4}(550^2 - 500^2)}$$

$$p_d = \underline{\underline{10{,}58\ N/mm^2}}$$