- Schnell, Gross, Hauger, Technische Mechanik, Band 2, Elastostatik, Springer-Verlag

- Hauger, Lippmann, Mannl, Aufgaben zu Technische Mechanik 1-3, Statik, Elastostatik, Kinetik, Springer-Verlag

- Holzmann, Meyer, Schumpich, Technische Mechanik, Teil 3, Festigkeitslehre, B.G. Teubner Stuttgart

- E. Brommundt, G. Sachs, Technische Mechanik, Eine Einführung, Springer-Verlag

- Gloistehn, Lehr- und Übungsbuch der Technischen Mechanik, Band 2, Festigkeitslehre, Vieweg-Verlag Braunschweig/Wiesbaden

- Martin Mayr, Technische Mechanik, Statik, Kinematik-Kinetik-Schwingungen, Festigkeitslehre, Carl Hanser Verlag München Wien

- Martin Mayr, Mechanik-Training, Übungsbeispiele und Prüfungsaufgaben, Statik, Kinematik-Kinetik-Schwingungen, Festigkeitslehre, Carl Hanser Verlag München Wien

- Göldner/Witt, Lehr- und Übungsbuch Technische Mechanik, Band I, Statik und Festigkeitslehre, Fachbuchverlag Leipzig-Köln

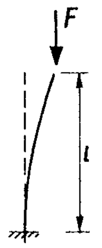
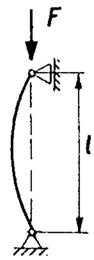
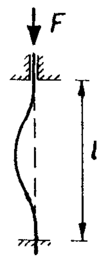
A 9/1 Koppeltafel $\int M_i M_k \, dx$

	M_i \ M_k	a	b	c	d	e
		k, s, k	s, k	k, s	k_1, s, k_2	k, a, b, s; $\alpha = a/s$, $\beta = b/s$
1	i, s, i	sik	$\frac{1}{2} sik$	$\frac{1}{2} sik$	$\frac{si}{2}(k_1 + k_2)$	$\frac{1}{2} sik$
2	s, i	$\frac{1}{2} sik$	$\frac{1}{3} sik$	$\frac{1}{6} sik$	$\frac{si}{6}(k_1 + 2k_2)$	$\frac{1}{6} sik(1+\alpha)$
3	i_1, s, i_2	$\frac{s}{2}(i_1 + i_2) k$	$\frac{s}{6}(i_1 + 2i_2) k$	$\frac{s}{6}(2i_1 + i_2) k$	$\frac{s}{6}(2i_1 k_1 + i_1 k_2 + i_2 k_1 + 2i_2 k_2)$	$\frac{sk}{6}\left[(1+\beta)i_1 + (1+\alpha)i_2\right]$
4	quadratische Parabeln: Scheitel, i, s	$\frac{2}{3} sik$	$\frac{1}{3} sik$	$\frac{1}{3} sik$	$\frac{si}{3}(k_1 + k_2)$	$\frac{1}{3} sik(1+\alpha\beta)$
5	quadratische Parabeln: Scheitel, i, s	$\frac{2}{3} sik$	$\frac{5}{12} sik$	$\frac{1}{4} sik$	$\frac{si}{12}(3k_1 + 5k_2)$	$\frac{sik}{12}(5 - \beta - \beta^2)$
6	quadratische Parabeln: Scheitel, i, s	$\frac{1}{3} sik$	$\frac{1}{4} sik$	$\frac{1}{12} sik$	$\frac{si}{12}(k_1 + 3k_2)$	$\frac{sik}{12}(1 + \alpha + \alpha^2)$
7	kubische Parabeln: i, s	$\frac{1}{4} sik$	$\frac{1}{5} sik$	$\frac{1}{20} sik$	$\frac{si}{20}(k_1 + 4k_2)$	$\frac{sik}{20}(1+\alpha)(1+\alpha^2)$
8	kubische Parabeln: i, s	$\frac{3}{8} sik$	$\frac{11}{40} sik$	$\frac{1}{10} sik$	$\frac{si}{40}(4k_1 + 11k_2)$	$\frac{sik}{10}\left(1 + \alpha + \alpha^2 - \frac{\alpha^3}{4}\right)$

Bei den kubischen Parabeln kennzeichnet der Kreis die Nullstelle der Dreiecksbelastung $q(x)$
Bei den Trapezen können i_1 und i_2 (k_1 und k_2) beliebige Größen haben und auch negativ sein.

Eulersche Knicklasten

$$F_K = \frac{\pi^2 E I}{l_k^2}$$

System				
Belastungsfall	1	2	3	4
Freie Knicklänge l_K	2 l	l	0,71 l	0,5 l
Knickkraft F_K nach Euler	$\frac{\pi^2 E I}{4 l^2}$	$\frac{\pi^2 E I}{l^2}$	$\frac{\pi^2 E I}{0,5 l^2}$	$\frac{\pi^2 E I}{0,25 l^2}$

Werkstoff	Knickspannung nach Tetmajer σ_k [N/mm²]	Gültigkeitsbereich
St 37	$\sigma_k = 240$ $\sigma_k = 310 - 1{,}14\,\lambda$	$0 < \lambda < 60$ $60 < \lambda < 104$
St 50,* St 60	$\sigma_k = 335 - 0{,}62\,\lambda$	$0 < \lambda < 88$ *
Grauguß	$\sigma_k = 776 - 12\,\lambda + 0{,}053\,\lambda^2$	$0 < \lambda < 80$
Nadelholz	$\sigma_k = 29{,}3 - 0{,}194\,\lambda$	$0 < \lambda < 100$

* Für St 50 bei $\lambda \lesssim 65$: $\sigma_k = R_e \approx 295 \frac{N}{mm^2}$

Knickspannung nach Tetmajer

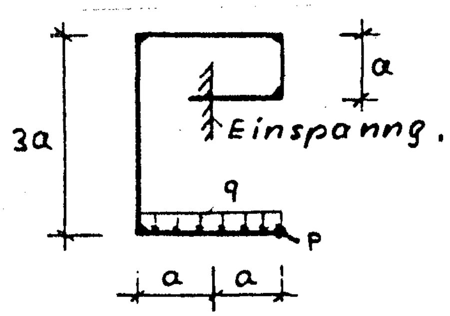
Gegenüberstellung von alten und neuen Werkstoffbezeichnungen

Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen nach DIN EN 10025			
DIN EN 10025	DIN 17 100	**DIN EN 10025**	DIN 17 100
S185	St 33	**S275J2G4**	-
S235JR	St 37-2	**S355JR**	-
S235JRG1	USt 37-2	**S355JO**	St 52-3 U
S235JRG2	RSt 37-2	**S355J2G3**	St 52-3 N
S235JO	St 37-3 U	**S355J2G4**	-
S235J2G3	St 37-3 N	**S355K2G3**	-
S235J2G4	-	**S355K2G4**	-
S275JR	St 44-2	**E295**	St 50-2
S275JO	St 44-3 U	**E335**	St 60-2
S275J2G3	St 44-3 N	**E360**	St 70-2
Vergütungsstähle nach DIN EN 10083			
DIN EN 10083	DIN 17200	**DIN EN 10083**	DIN 17200
C22	C 22	**C45**	C 45
C25	C 25	**C50**	C 50
C30	C 30	**C55**	C 55
C35	C 35	**C60**	C 60
C40	C 40		
C22E	Ck 22	**46Cr2**	46 Cr 2
C22R	Cm 22	**46CrS2**	46 CrS 2
C25E	Ck 25	**34Cr4**	34 Cr 4
C25R	Cm 25	**34CrS4**	34 CrS 4
C30E	Ck 30	**37Cr4**	37 Cr 4
C30R	Cm 30	**37CrS4**	37 CrS 4
C35E	Ck 35	**41Cr4**	41 Cr 4
C35R	Cm 35	**41CrS4**	41 CrS 4
C40E	Ck 40	**25CrMo4**	25 CrMo 4
C40R	Cm 40	**25CrMoS4**	25 CrMoS 4
C45E	Ck 45	**34CrMo4**	34 CrMo 4
C45R	Cm 45	**34CrMoS4**	34 CrMoS 4
C50E	Ck 50	**42CrMo4**	42 CrMo 4
C50R	Cm 50	**42CrMoS4**	42 CrMoS 4
C55E	Ck 55	**50CrMo4**	50 CrMo 4
C55R	Cm 55	**36CrNiMo4**	36 CrNiMo 4
C60E	Ck 60	**34CrNiMo6**	34 CrNiMo 6
C60R	Cm 60	**30CrNiMo8**	30 CrNiMo 8
28Mn6	28 Mn 6	**36NiCrMo16**	-
38Cr2	38 Cr 2	**51CrV4**	50 CrV 4
38CrS2	38 CrS 2		

Fachhochschule Mannheim Fachbereich Maschinenbau Prof. Dr.-Ing. H. Bräutigam	**TM 3 - Festigkeitslehre** **1. Übung** WS 02/03	**Freiwillige Übung** 4M Blatt 1/2

Aufgabe F-EM 1

Für das System mit EI=const ist die Vertikalverschiebung des Endpunktes P (allgem. Gleichung) zu bestimmen.

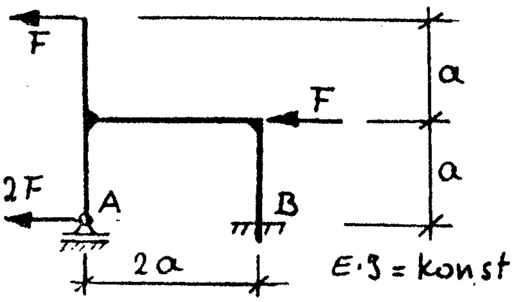


Lösung: $y = \frac{15 \cdot q \cdot a^4}{EJ}$

Aufgabe F-EM 3

Für den einfach statisch unbestimmt gelagerten Rahmen sind gesucht:

a) Lagerreaktionen (allgem. Gleichungen mit den Größen lt. Skizze).
b) Skizze des M-Verlaufs mit Errechnung der Momente an den Knickstellen.

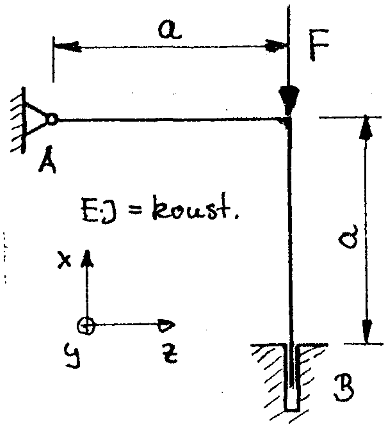


Lösung: a) $A = 0$; $B_x = 4F$ (→) ; $B_y = 0$; $M_B = 3Fa$ (↻)

Aufgabe F-EM 11 (Abschlussklausur WS 01/02)

Der skizzierte Träger hat konstante Biegesteife EI und ist einfach statisch unbestimmt gelagert.

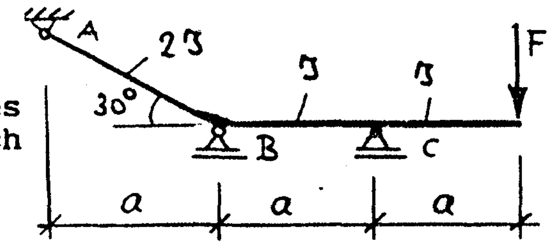
1. Man bestimme die Lagerreaktionen mit Hilfe des Prinzips der virtuellen Kräfte.
   Zur Schaffung des dafür notwendigen statisch bestimmten Hauptsystems mache man das zweiwertige Lager B mit den möglichen Reaktionen M_y (Moment um y-Achse) und B_z (Kraft in z-Richtung) zum einwertigen Lager mit der Reaktion B_z.
2. Der Biegemomentenverlauf ist mit Eintrag der Extremwerte zu skizzieren.



Lösung: 1. $B_z = \frac{3}{2}F$, $M_y = \frac{a}{2}F$, $A_x = F$, $A_z = -\frac{3}{2}F$

Fachhochschule Mannheim Fachbereich Maschinenbau Prof. Dr.-Ing. H. Bräutigam	TM 3 - Festigkeitslehre 1. Übung WS 02/03	Freiwillige Übung 4M Blatt 2/2

Aufgabe F-EM 4

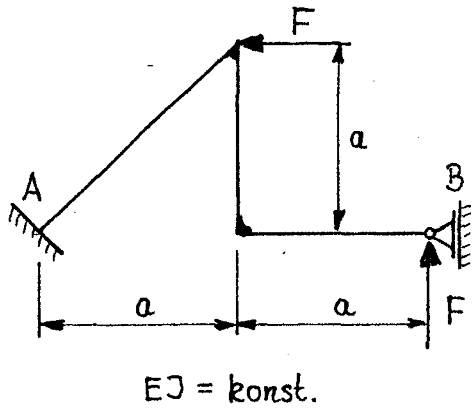


Der skizzierte Träger hat veränderliches Trägheitsmoment und ist einfach statisch unbestimmt gelagert.

a) Die Lagerreaktion in C ist zu errechnen.
b) Der Biegemomentenverlauf ist zu bestimmen und in einer Skizze (mit Eintrag der Extremwerte) darzustellen.

Lösung: a) $C_y = 2{,}32 \cdot F$ (↑)

Aufgabe F-EM 9 (Abschlussklausur WS 00/01)

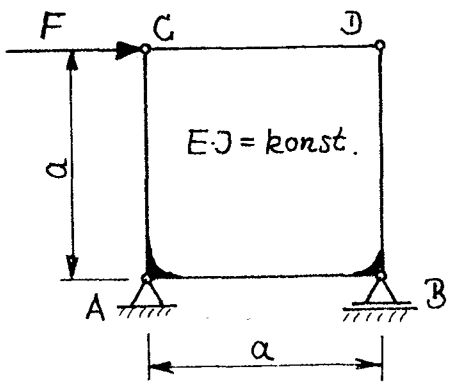


Der skizzierte Träger hat konstante Biegesteife EI und ist einfach statisch unbestimmt gelagert.

1. Man bestimme die Lagerreaktion in B mit Hilfe des Prinzips der virtuellen Kräfte.
2. Der Biegemomentenverlauf ist mit Eintrag der Extremwerte zu skizzieren.

Lösung: 1. $B = 2{,}1\ F$ (nach links)

Aufgabe F-EM 12 (Abschlussklausur SS 2002)

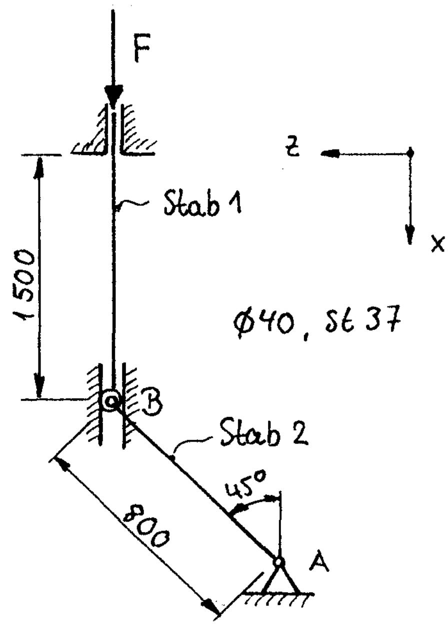


In dem skizzierten Rahmen ist zwischen den Gelenken C und D eine Pendelstütze eingebaut. Das System ist damit 1-fach innerlich statisch unbestimmt.

1. Man bestimme die Normalkraft in der Pendelstütze mit Hilfe des Prinzips der virtuellen Kräfte. Zur Schaffung des dafür notwendigen statisch bestimmten Hauptsystems entferne man die Pendelstütze.
2. Der Biegemomentenverlauf ist mit Eintrag der Extremwerte zu skizzieren.

Lösung: 1. $N = -\frac{1}{2} F$

Aufgabe F-ST 8 (Abschlussklausur WS 00/01)



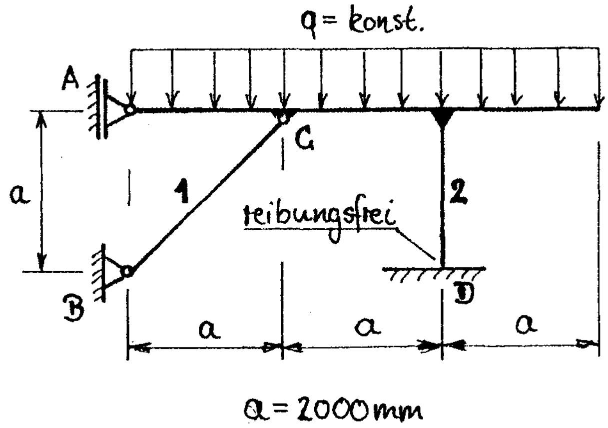
Die beiden Rundstäbe mit d=40 mm Durchmesser aus St37 sind in B gelenkig miteinander verbunden. Verschiebungen senkrecht zur dargestellten x,z-Ebene sind nicht möglich.

1. Man ermittle die Knickspannungen für die beiden Stäbe.
2. Mit welcher Kraft F darf das Stabsystem bei 3-facher Knicksicherheit belastet werden ?

Lösung: 1. $\sigma_{K1} = 182{,}7 \frac{N}{mm^2}$; $\sigma_{K2} = 218{,}8 \frac{N}{mm^2}$

2. $F_{zul} = 64{,}8$ kN (Stab 2 gefährdet)

Aufgabe F-ST 9 (Abschlussklausur SS 01)



Der mit konstanter Streckenlast q belastete Balken ist u.a. durch die Stützen 1 und 2 (Werkstoff St60) gehalten. Die Stütze 2 stehe reibungsfrei auf dem Boden auf (einwertige Lagerung). Stütze 1 ist aus Rohr mit Außendurchmesser d_1=114,3 mm und Wandstärke s=3,6 mm (s. Tab. A 3/10, DIN 2448), Stütze 2 aus Rundmaterial mit Durchmesser d_2=84 mm.

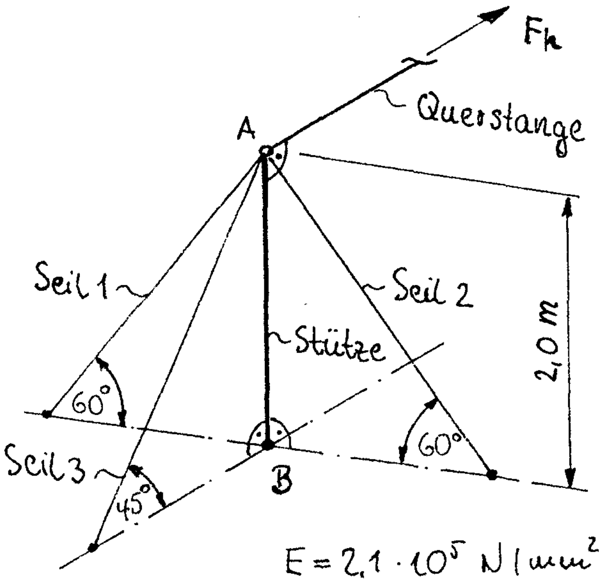
1. Man ermittle die Knicklasten der beiden Stützen.
2. Mit welcher maximalen Streckenlast q darf das System bei 5-facher Knicksicherheit belastet werden ?

Lösung: 1. $F_{K1} = 362{,}9$ kN ; $F_{K2} = 316{,}5$ kN

2. $q_{max} = 17{,}1$ kN/m (Stütze 1 gefährdet)

Aufgabe F-ST 11 (Abschlussklausur SS 2002)

Die senkrechte Stütze AB eines Zeltes besteht aus Stahlrohr E 335 (St60) mit Außendurchmesser D=18 mm und Wandstärke t=1 mm. Sie wird durch 3 gespannte dünne Seile gemäß Skizze fixiert. Die Lagerung der Stütze darf in A und B als gelenkig betrachtet werden. Die notwendige horizontale Gegenhaltekraft F_h wird über die Querstange aufgebracht.

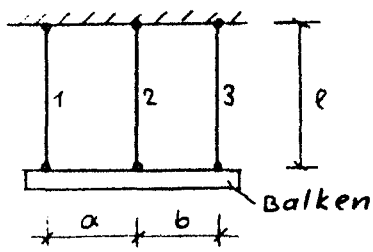


1. Man ermittle die Knicklast der Stütze.
2. Unter der Voraussetzung gleicher Seilkräfte gebe man die maximale Seilspannkraft S für eine Knicksicherheit S_K=2 an.

Lösung: 1. $F_K = 1004$ N . 2. $S = 205{,}8$ N

Aufgabe F-WS 1

Ein gewichtsloser, starrer Balken ist an 3 gleich langen Stäben befestigt. Knicken sei ausgeschlossen. Die 3 Stäbe werden um ΔT erwärmt.
Gegeben: $A_1 = A_2 = A_3$, $E_1 = E_3$, E_2 , $\alpha_1 = \alpha_3$, α_2



a) Die Stabkräfte sind für a=b zu errechnen.
b) das größte Biegemoment im Balken ist anzugeben.
c) Gleichgewicht und Verträglichkeitsbedingung sind für a ≠ b zu formulieren.

Lösung:

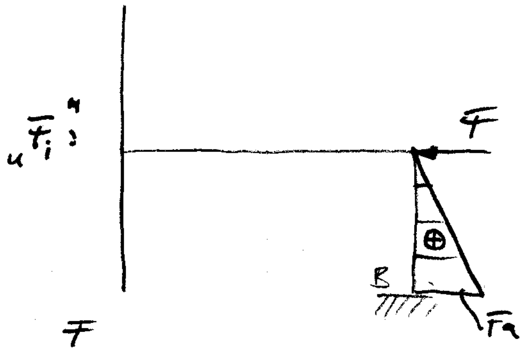
a) $S_1 = S_3 = \dfrac{A(\alpha_2 - \alpha_1)}{\frac{1}{E_1} + \frac{2}{E_2}} \Delta T$; $S_2 = -2S_1$

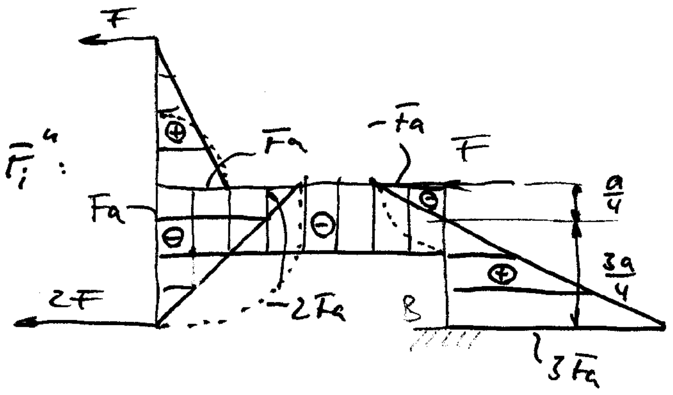
b) $M_b = S_1 \cdot a$

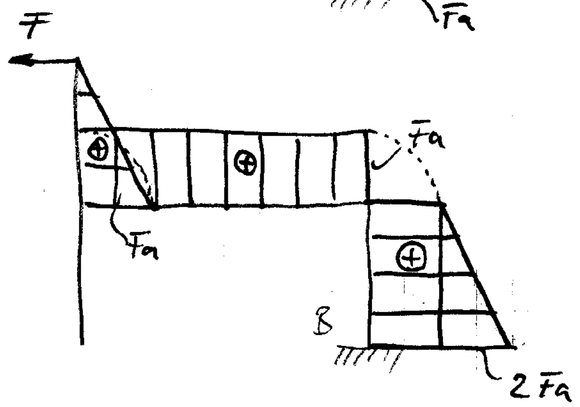
c) $S_1 + S_2 + S_3 = 0$; $S_2 b + S_1(a+b) = 0$; $a(\Delta l_2 - \Delta l_3) = b(\Delta l_1 - \Delta l_2)$

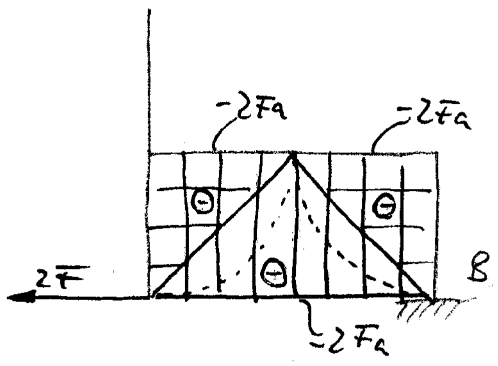
F – EM 3 :

0-System: (Lager A entfernt)

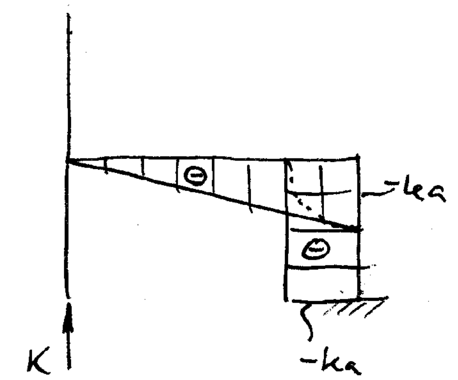








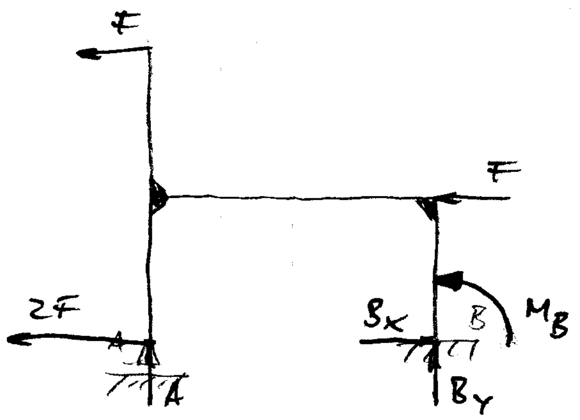
1-System:



$$f_{10} = \frac{1}{EI_k}\left(\overbrace{\frac{1}{2}\,2a\,Fa\,2ka}^{2a} + \overbrace{\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{4}a\,Fa\,2ka}^{2a} - \overbrace{\frac{1}{2}\cdot\frac{3}{4}a\,3Fa\,2ka}^{2a}\right)$$

$$= \frac{1}{EI_k}\left(2Fka^3 + \frac{1}{4}Fka^3 - \frac{9}{4}Fka^3\right)$$

$$\underline{\underline{= 0}}$$



$$A = x_1 \cdot K\,; \quad x_1 = -\frac{f_{10}}{f_{11}} = 0$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{A = 0}}$$

$$\sum F_x = 0 = -F - F - 2F + B_x \qquad (1)$$

$$\sum F_y = 0 = A + B_y \qquad (2)$$

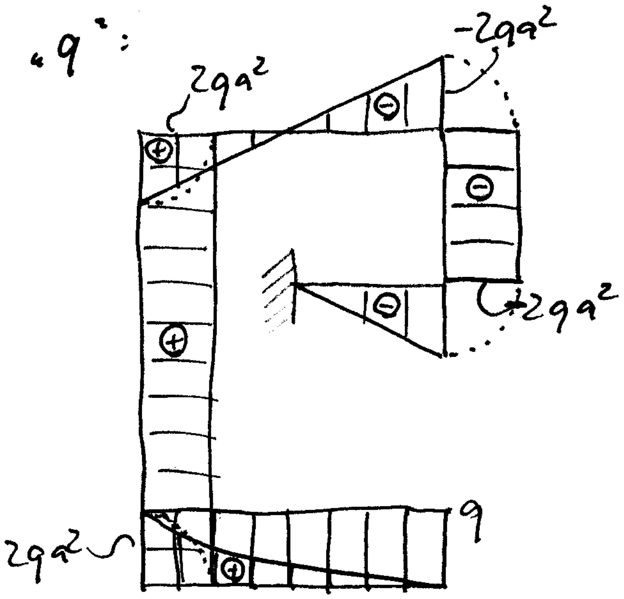
$$\sum M_B = 0 = Fa + 2Fa + M_B \qquad (3)$$

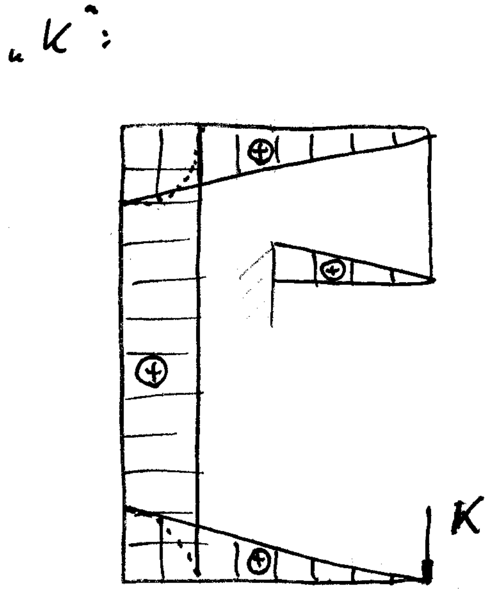
(2): $A = 0 \rightarrow \underline{\underline{B_y = 0}}$

(1): $\underline{\underline{B_x = 4F}}$

(3): $\underline{\underline{M_B = -3Fa}}$

F-EM1:





$$f = \frac{1}{kEI}\left(\overbrace{\frac{1}{4}\cdot 2a\cdot 2qa^2\cdot 2ka}^{6b} + \overbrace{3a\cdot 2qa^2\cdot 2ka}^{1a} + \overbrace{\frac{a\cdot 2qa^2}{6}(ka + 4ka)}^{2d} \overbrace{-\frac{1}{6}a\cdot 2qa^2\cdot ka}^{2c} \overbrace{-\frac{1}{6}a\cdot 2qa^2\cdot ka}^{2c}\right)$$

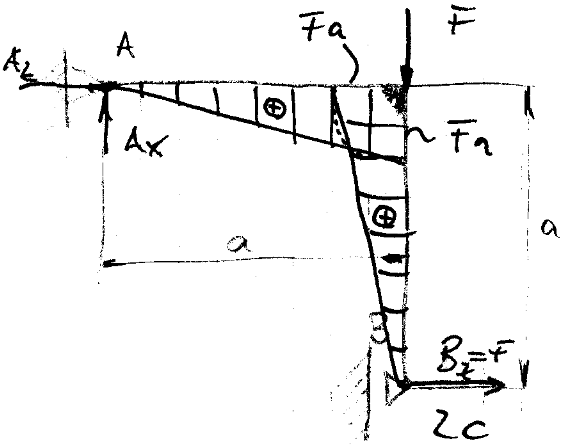
$$= \frac{1}{kEI}\left(2a^4q\cdot k + 12a^4q\cdot k + \frac{10}{6}a^4q\cdot k - \frac{1}{3}a^4q\cdot k - \frac{1}{3}a^4q\cdot k\right)$$

$$= \frac{14a^4q\cdot k + \frac{5}{3}a^4q\cdot k - \frac{2}{3}a^4q\cdot k}{kEI}$$

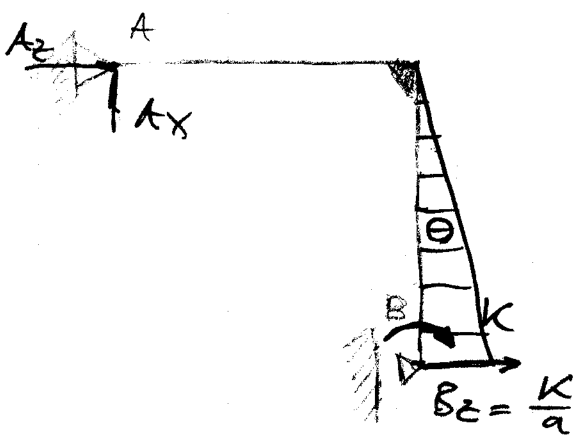
$$\Rightarrow \underline{\underline{f = \frac{15a^4q}{EI}}}$$

F - EM11:

0- System:



1- System:

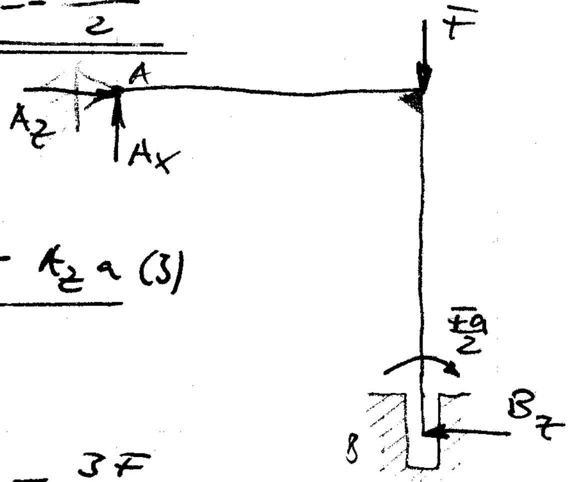


$$\delta_{10} = \frac{1}{kEI}\left(\overbrace{\frac{1}{6}(-a\,k)\cdot Fa}^{2c}\right) = -\frac{\cancel{k}\,Fa^2}{6\cancel{k}EI} = -\frac{Fa^2}{6EI}$$

$$\delta_{11} = \frac{1}{kEI}\left(\overbrace{\frac{1}{3}a\,k\,k}^{2b}\right) = \frac{a\,k^{\cancel{2}}}{3\cancel{k}EI} = \frac{ka}{3EI}$$

$$x_1 = \frac{\delta_{10}}{\delta_{11}} = -\frac{Fa^{\cancel{2}}}{6\cancel{EI}}\cdot\frac{3\cancel{EI}}{k\cancel{a}} = -\frac{Fa}{2k}$$

$$\Rightarrow M_B = x_1\cdot k = -\frac{Fa}{2\cancel{k}}\cdot\cancel{k} = -\frac{Fa}{2}$$



$$\Sigma F_z = 0 = A_z - B_z \quad (1)$$

$$\Sigma F_x = 0 = A_x - F \quad (2)$$

$$\Sigma \overset{\curvearrowleft}{M_B} = 0 = -A_x\cdot a - \frac{Fa}{2} - A_z\,a \quad (3)$$

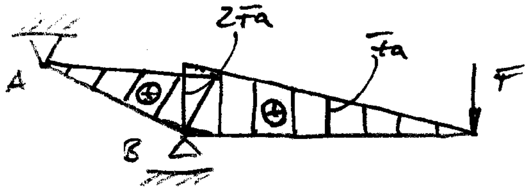
(2): $A_x = F$

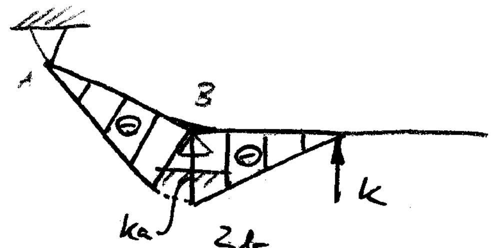
(3): $A_z = \frac{-F\cdot\cancel{a} - \frac{F}{2}\cancel{a}}{\cancel{a}} = -\frac{3F}{2}$

(1): $B_z = -\frac{3F}{2}$

F-EMY:

0-System: 1-System:





$$f_{10} = \frac{1}{kEI}\left(\overbrace{\frac{a}{6}\left(Fa + 2\cdot 2Fa\right)\cdot(-ka)}^{3b} + \frac{1}{2}\cdot\overbrace{\frac{1}{3}\cdot\frac{a}{\cos 30^\circ}\cdot 2Fa\cdot(-ka)}^{2b}\right); \quad \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$= \frac{1}{kEI}\left(-\frac{a^3}{6}\cdot 5Fk - \frac{a^3}{3\sqrt{3}}\cdot 2Fk\right) = -\frac{a^3}{EI}\left(\frac{5}{6} + \frac{2\sqrt{3}}{9}\right)F$$

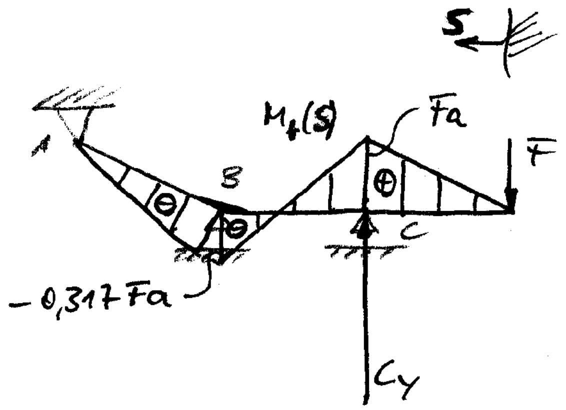
$$= \underline{\underline{-\frac{(15+4\sqrt{3})Fa^3}{18\,EI}}}$$

$$f_{11} = \frac{1}{kEI}\left(\overbrace{\frac{1}{3}a k^2 a^2}^{2b} + \frac{1}{2}\cdot\overbrace{\frac{1}{3}\cdot\frac{2a}{\sqrt{3}}\cdot k^2 a^2}^{2b}\right)$$

$$= \frac{ka^3}{3EI}\left(1 + \frac{1}{\sqrt{3}}\right) = \frac{ka^3}{3EI}\left(\frac{3+\sqrt{3}}{3}\right) = \underline{\underline{\frac{(3+\sqrt{3})ka^3}{9EI}}}$$

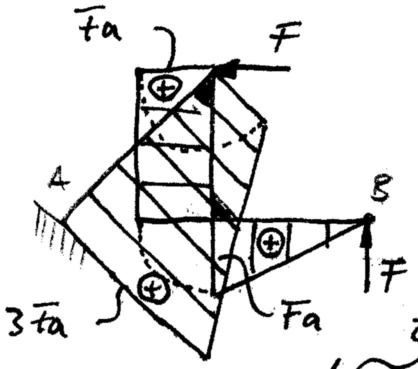
$$x = -\frac{f_{10}}{f_{11}} = -\frac{-(15+4\sqrt{3})F\cancel{a^3}\cdot\cancel{9EI}}{\cancel{18}_{2}\,\cancel{EI}\cdot(3+\sqrt{3})k\cancel{a^3}} = \underline{\underline{\frac{(15+4\sqrt{3})F}{(6+2\sqrt{3})\,k}}}$$

$$C_y = x\cdot k = \frac{15+4\sqrt{3}}{6+2\sqrt{3}}F = \underline{\underline{2{,}317F}}$$

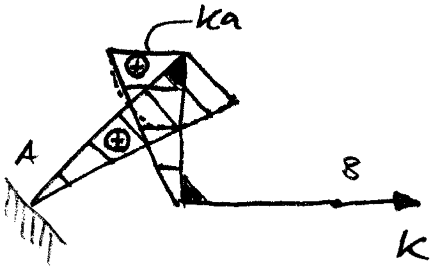


F-EM9:

0-System:



1-System:



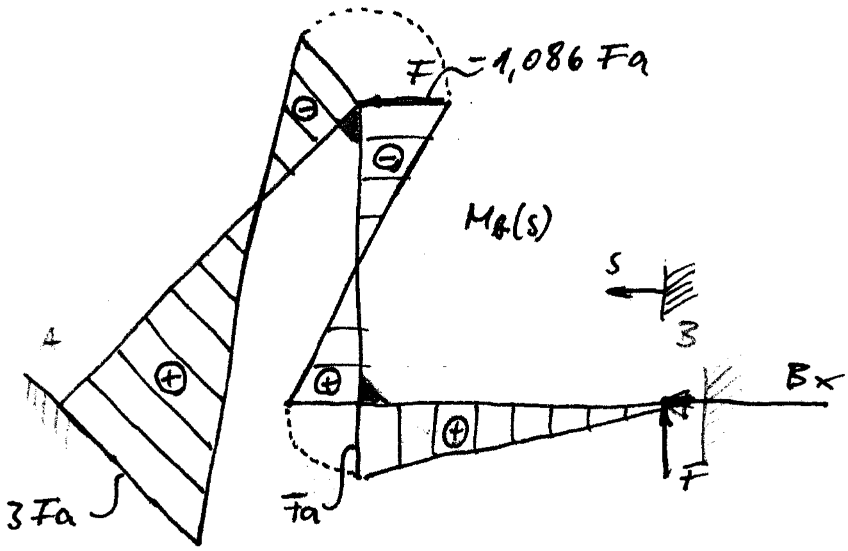
$$f_{10} = \frac{1}{kEI}\left(\overbrace{\frac{1}{2}\,a\,ka\,Fa}^{2a} + \overbrace{\frac{\sqrt{2}\,a}{6}\left(2Fa + 3Fa\right)ka}^{3c}\right)$$

$$= \frac{1}{kEI}\left(\frac{1}{2}a^3kF + \frac{5\sqrt{3}}{6}a^3kF\right) = \underline{\underline{\frac{Fa^3}{6EI}\left(3 + 5\sqrt{2}\right)}}$$

$$f_{11} = \frac{1}{kEI}\left(\overbrace{\frac{1}{3}a\,k^2a^2}^{2b} + \overbrace{\frac{1}{3}\cdot\sqrt{2}\,a\cdot k^2a^2}^{2b}\right) = \underline{\underline{\frac{ka^3}{3EI}\left(1 + \sqrt{2}\right)}}$$

$$X = -\frac{f_{10}}{f_{11}} = -\frac{Fa^{\cancel{3}}(3+5\sqrt{2})\cdot\cancel{3EI}}{{}_2\cancel{6EI}\cdot ka^{\cancel{3}}(1+\sqrt{2})} = \underline{\underline{-\frac{F\cdot(3+5\sqrt{2})}{k\cdot(2+2\sqrt{2})}}}$$

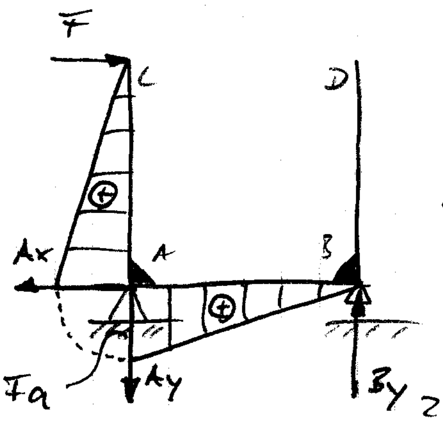
$$B_x = X\cdot k = -F\cdot\frac{3+5\sqrt{2}}{2+2\sqrt{2}} = \underline{\underline{-2{,}086\,F}}$$



F-EM12:

1) Hauptsystem:

0-System: **1-System:**



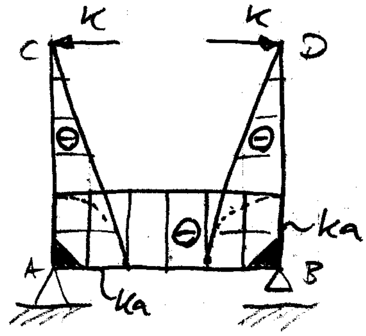
$$\sum F_x = 0 = F - A_x$$

$$\sum F_y = 0 = -A_y + B_y$$

$$\sum M_A = 0 = -Fa + B_y a$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{B_y = F}}\ ; \ \underline{\underline{A_x = F}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{A_y = F}}$$



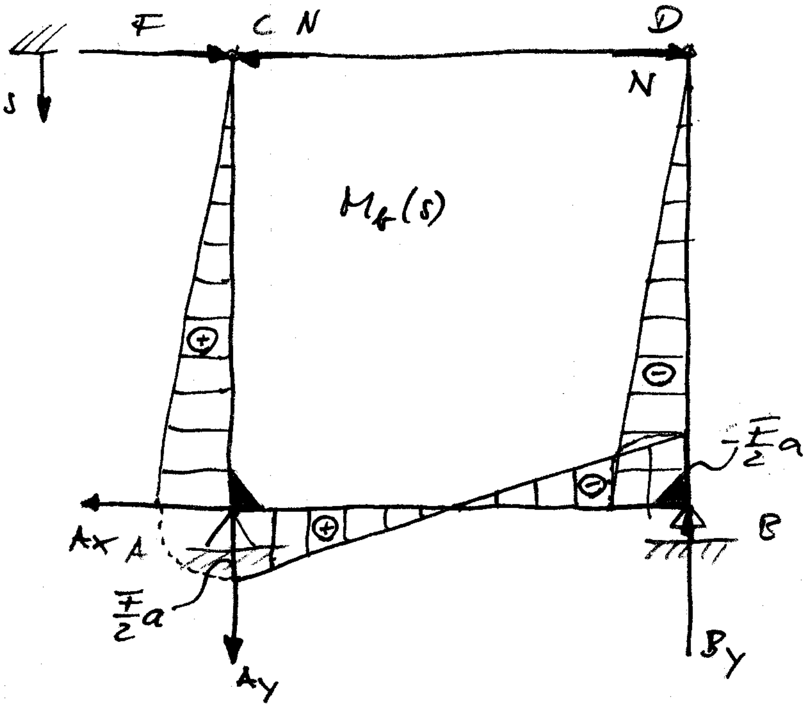
$$f_{10} = \frac{1}{kEI}\left(\overbrace{\frac{1}{3}a\,Fa(-ka)}^{2b} + \overbrace{\frac{1}{2}a(-ka)\,Fa}^{1b}\right) = \frac{Fa^3}{EI}\left(-\frac{1}{3}-\frac{1}{2}\right) = \underline{\underline{-\frac{5Fa^3}{6EI}}}$$

$$f_{11} = \frac{1}{kEI}\left(2\cdot\overbrace{\frac{1}{3}a k^2a^2}^{2b} + \overbrace{a k^2 a^2}^{1a}\right) = \frac{ka^3}{EI}\left(\frac{2}{3}+1\right) = \underline{\underline{\frac{5ka^3}{3EI}}}$$

$$X = -\frac{f_{10}}{f_{11}} = -\frac{-\cancel{5}F\cancel{a^3}\cdot\cancel{3}\cancel{EI}}{{}_2\cancel{6}\,\cancel{EI}\cdot\cancel{5}k\cancel{a^3}} = \underline{\underline{\frac{F}{2k}}}$$

$$\underbrace{C = D}_{\text{Reaktionskräfte!}} = X\cdot k = \underline{\underline{\frac{F}{2}}} \qquad \Rightarrow \underbrace{N}_{\text{Stabkraft!}} = -C = -D = \underline{\underline{-\frac{F}{2}}}$$

2) Gesamtsystem:



F - 578:

1) **Stab 1**

$\Rightarrow$ Euler 3: $l_{k_1} = 0{,}71\, l_1 = 0{,}71 \cdot 1500\,mm = \underline{\underline{1065\,mm}}$

$$i = \frac{d}{4} = \frac{40\,mm}{4} = \underline{\underline{10\,mm}}$$

$$\lambda = \frac{l_{k_1}}{i} = \frac{1065}{10} = \underline{\underline{106{,}5 > 104}}$$

$\Rightarrow$ elast. knicken: $\sigma_{k_1} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000\,N}{106{,}5^5\,mm^2} = \underline{\underline{182{,}7\,\frac{N}{mm^2}}}$

Stab 2

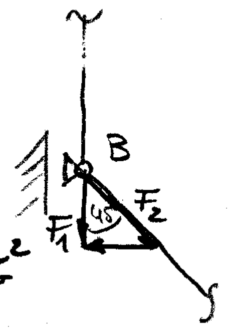
$\Rightarrow$ Euler 2: $l_{k_2} = l_2 = \underline{\underline{800\,mm}}$

$$\lambda = \frac{l_{k_2}}{i} = \frac{800}{10} = \underline{\underline{80 < 104}}$$
$$\underline{\underline{80 > 60}}$$

$\Rightarrow$ Tetmajer: $\sigma_{k_2} = (310 - 1{,}14\,\lambda)\,\frac{N}{mm^2} = (310 - 1{,}14 \cdot 80)\,\frac{N}{mm^2}$

$$= \underline{\underline{218{,}8\,\frac{N}{mm^2}}}$$

2) $F_2 = \sqrt{2}\,F_1 = \sqrt{2}\,F$



$\Rightarrow \sigma_{k_2} = \sqrt{2}\,\sigma_{k_2}'$

$\Rightarrow \sigma_{k_2}' = \frac{\sqrt{2}}{2}\,\sigma_{k_2} = \underline{\underline{154{,}71\,\frac{N}{mm^2}}}$

$\Rightarrow \sigma_{k_2}' < \sigma_{k_1} \Rightarrow$ Stab 2 zuerst gefährdet!

$\Rightarrow F_{zul} = \frac{\sqrt{2}\,\sigma_{k_2} \cdot A}{2\,S_k}$; $A = \frac{\pi}{4} d^2$

$\Rightarrow F_{zul} = \frac{\sqrt{2}\,\sigma_{k_2} \cdot \pi\, d^2}{8\,S_k} = \frac{\sqrt{2} \cdot 218{,}8\,N \cdot \pi \cdot 40^2\,\cancel{mm^2}}{8 \cdot 3\,\cancel{mm^2}}$

$$= \underline{\underline{64{,}81\,kN}}$$

F – ST9:

1) Stab 1:

$\Rightarrow$ Euler 2: $l_{k1} = l_1 = \underline{\underline{\sqrt{2}a}}$

$i_1 = \sqrt{\frac{I_1}{A_1}}$; $I_1 = \frac{\pi}{64}(d_1^4 - d_i^4)$; $A = \frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_i^2)$

$\Rightarrow i_1 = \frac{1}{4}\sqrt{\frac{d_1^4 - d_i^4}{d_1^2 - d_i^2}} = \frac{1}{4}\sqrt{\frac{114{,}3^4 - 107{,}1^4}{114{,}3^2 - 107{,}1^2}}$ mm

$\underline{\underline{i_1 = 39{,}159 \text{ mm}}}$

$\lambda_1 = \frac{l_{k1}}{i_1} = \frac{\sqrt{2}a}{i_1} = \frac{\sqrt{2}\cdot 2000}{39{,}159} = \underline{\underline{72{,}229}}$

St60 $\Rightarrow$ $60 < \lambda_1 < 88$

$\Rightarrow$ Tetmajer: $\sigma_{K1} = (335 - 0{,}62\,\lambda_1)\frac{N}{mm^2}$

$= (335 - 0{,}62\cdot 72{,}229)\frac{N}{mm^2} = \underline{\underline{290{,}218 \frac{N}{mm^2}}}$

$F_{K1} = \sigma_{K1}\cdot A_1 = F_{K1}\cdot\frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_i^2)$

$= 290{,}218\frac{N}{mm^2}\cdot\frac{\pi}{4}(114{,}3^2 - 107{,}1^2)\,mm^2$

$\underline{\underline{= 363{,}349 \text{ kN}}}$

Stab 2:

$\Rightarrow$ Euler 1: $l_{k2} = 2l_2 = \underline{\underline{2a}}$

$i_2 = \frac{d_2}{4} = \frac{84 \text{ mm}}{4} = \underline{\underline{21 \text{ mm}}}$

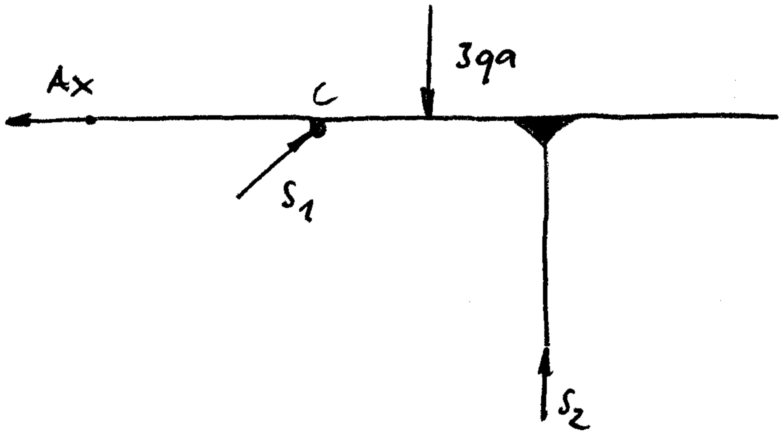
$\lambda_2 = \frac{l_{k2}}{i_2} = \frac{2a}{i_2} = \frac{2\cdot 2000}{21} = \underline{\underline{190{,}476}}$

$\Rightarrow \lambda_2 > 88$

$\Rightarrow F_{k2} = \frac{\pi^2 E I_2}{l_{k2}^2} = \frac{\pi^3 E d_2^4}{256 a^2} = \frac{\pi^3\cdot 210000\,N\cdot 84^4\,\cancel{mm^4}}{256\cdot 2000^2\cdot\cancel{mm^2}\,mm^2}$

$\underline{\underline{= 316{,}582 \text{ kN}}}$

2)



$$\Sigma F_y = 0 = \frac{\sqrt{2}}{2} S_1 - 3qa + S_2 \qquad (1)$$

$$\Sigma M_c = 0 = -3qa \cdot \frac{a}{2} + S_2 a \qquad (2)$$

aus (2): $\underline{\underline{S_2 = \frac{3}{2} qa}}$; (2) in (1): $S_1 = \sqrt{2}\left(3qa - \frac{3}{2}qa\right) = \underline{\underline{\frac{3\sqrt{2}}{2} qa}}$

$$S_{1zul} = \frac{F_{k1}}{S_k} \Rightarrow \frac{3\sqrt{2}}{2} q_{1zul} \cdot a = \frac{F_{k1}}{S_k}$$

$$\Rightarrow q_{1zul} = \frac{\sqrt{2} F_{k1}}{3 S_k \cdot a} = \frac{\sqrt{2} \cdot 363{,}349 \text{ kN}}{3 \cdot 5 \cdot 2 \text{ m}} = \underline{\underline{17{,}128 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}}$$

$$S_{2zul} = \frac{F_{k2}}{S_k} \Rightarrow \frac{3}{2} q_{2zul} \cdot a = \frac{F_{k2}}{S_k}$$

$$\Rightarrow q_{2zul} = \frac{2 F_{k2}}{3 S_k \cdot a} = \frac{2 \cdot 316{,}582 \text{ kN}}{3 \cdot 5 \cdot 2 \text{ m}} = \underline{\underline{21{,}105 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}}$$

$$q_{max} = \text{Min}(q_{1zul}, q_{2zul}) = q_{1zul} = \underline{\underline{17{,}128 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}}$$

$\Rightarrow$ <u>Stütze 1 zuerst gefährdet!</u>