Modulprüfung in Technischer Mechanik
am 16. August 2016

Festigkeitslehre

Aufgaben

Name: ____________________ Vorname: ____________________

Matr.-Nr.: ________________ Fachrichtung: ________________

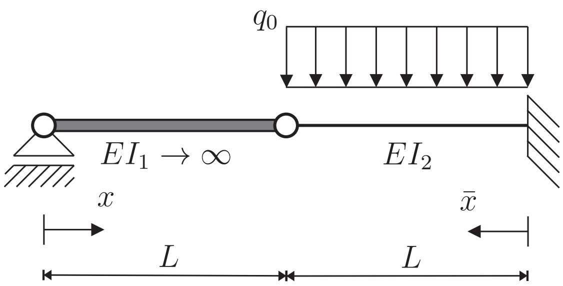
Hinweise:

- Bitte schreiben Sie deutlich lesbar. Zeichnungen müssen sauber und übersichtlich sein. Die Benutzung roter und grüner Farbstifte ist nicht zugelassen.
- Aufgaben werden nur beurteilt, wenn sie auf den ausgegebenen Blättern gelöst sind. Eventuell abgegebene Formelsammlungen werden als nicht vorhanden betrachtet. Trennen Sie die Aufgabenblätter nicht auf.
- Bei den Aufgaben muss eindeutig der Lösungsweg erkennbar sein. Ein Ergebnis ohne Lösungsweg wird nicht bewertet. Sollten für eine Aufgabe mehrere widersprüchliche Lösungen angegeben sein, so wird keine bewertet. Streichen Sie deshalb falsche Rechenschritte oder Zeichnungen durch.
- Beginnen Sie jede Aufgabe auf einem neuen Blatt.

Aufgabe	1	2	3	4	5	$\sum$
Punkte						
Korrektor						

(Eintrag erfolgt durch Institut)

1. Aufgabe (ca. 22 % der Gesamtpunktzahl)

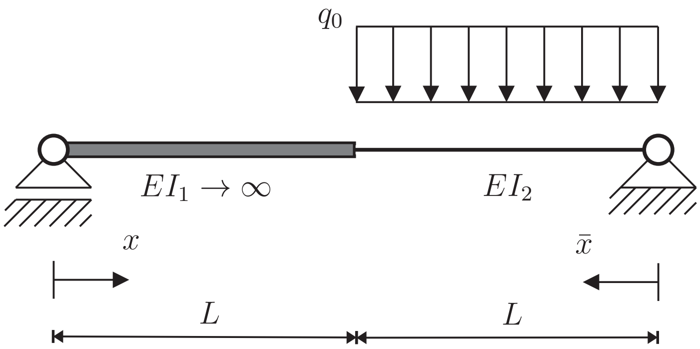


Ein aus zwei Balken mit den Biegesteifigkeiten $EI_1 \to \infty$ und EI_2 zusammengesetztes Tragwerk wird durch eine Linienlast q_0 beansprucht.

a) Ermitteln Sie die Durchbiegung $w(x)$ bzw. $w(\bar{x})$ durch Integration der Biegelinie. Verwenden Sie hiefür die vorgegebenen Koordinatensysteme.

b) Skizzieren Sie qualitativ die Biegelinie des gesamten Balkens.

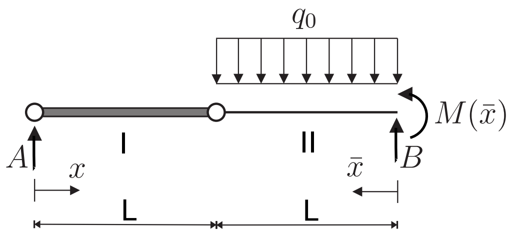
c) Das System wird durch konstruktive Maßnahmen wie unten dargestellt verändert. Geben Sie die Rand- und Übergangsbedingungen entsprechend dem vorgegebenen Koordinatensystem an.



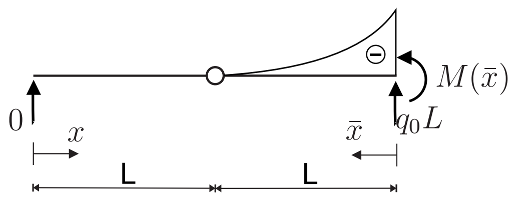
Gegeben: $L,\ q_0,\ EI_1 \to \infty,\ EI_2$.

1. Aufgabe

a) Freischnitt:



Momentenverlauf Bereich II:



$$M(\bar{x}) = q_0L\bar{x} - \frac{1}{2}q_0L^2 - \frac{1}{2}q_0\bar{x}^2$$

DGL der Biegelinie:

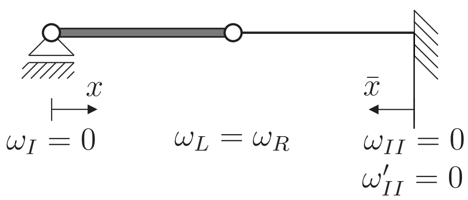
Bereich I:

$$\omega_I''(x) = 0$$
$$\omega_I'(x) = C_1$$
$$\omega_I(x) = C_1x + C_2$$

Bereich II:

$$\begin{aligned}
EI_2\omega_{II}''(\bar{x}) &= -M(\bar{x}) = \frac{1}{2}q_0\bar{x}^2 - q_0L\bar{x} + \frac{1}{2}q_0L^2 \\
EI_2\omega_{II}'(\bar{x}) &= \frac{1}{6}q_0\bar{x}^3 - q_0\frac{1}{2}L\bar{x}^2 + q_0\frac{1}{2}L^2\bar{x} + C_3 \\
EI_2\omega_{II}(\bar{x}) &= \frac{1}{24}q_0\bar{x}^4 - \frac{1}{6}q_0L\bar{x}^3 + \frac{1}{4}q_oL^2\bar{x}^2 + C_3\bar{x} + C_4
\end{aligned}$$

Randbedingungen:



$$\begin{aligned}
\omega_I(x=0) &= 0 &&\Rightarrow & C_2 &= 0 \\
\omega_I(x=L) &= && & \omega_{II}(\bar{x}&=L) \\
\omega_{II}(\bar{x}=0) &= 0 &&\Rightarrow & C_4 &= 0 \\
\omega_{II}'(\bar{x}=0) &= 0 &&\Rightarrow & C_3 &= 0
\end{aligned}$$

Aus $\omega_I(x=L) = \omega_{II}(\bar{x}=L)$ folgt

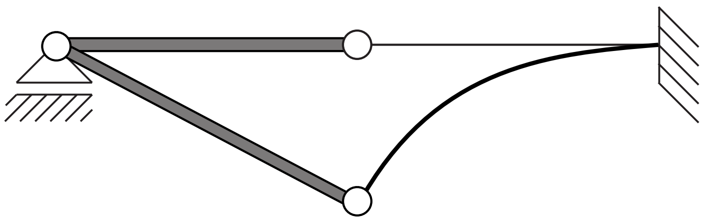
$$\begin{aligned}
C_1L &= \left(\frac{1}{24}q_0L^4 - \frac{1}{6}q_0L^4 + \frac{1}{4}q_oL^4\right)\frac{1}{EI_2} \\
&= \frac{q_0L^3}{8EI_2}
\end{aligned}$$

Ergebnis:

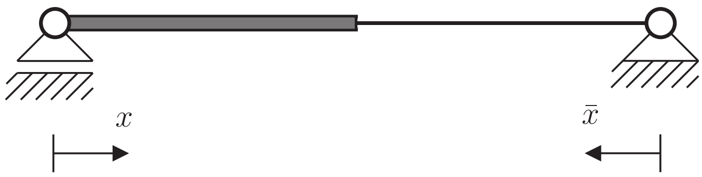
$$\omega_I(x) = \frac{q_0 L^3}{8EI_2}x$$

$$\omega_{II}(\bar{x}) = \frac{q_0}{2EI_2}\left(\frac{1}{12}\bar{x}^4 - \frac{1}{3}L\bar{x}^3 + \frac{1}{2}L^2\bar{x}^2\right)$$

b) Biegelinie:



c) Rand- und Übergangsbedingungen bei geändertem System:

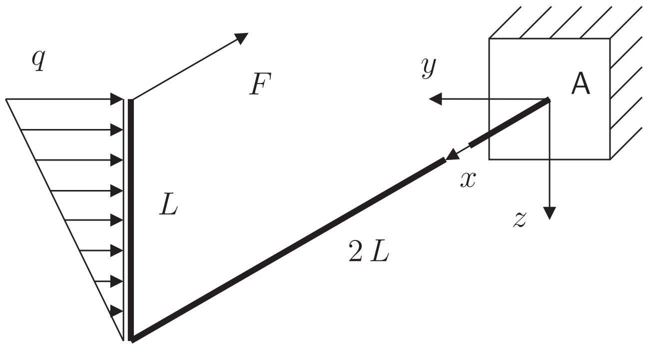


$$\omega_I(x=0) = 0 \qquad \omega_L(x=L) = \omega_R(\bar{x}=L) \qquad \omega_{II}(\bar{x}=L) = 0$$

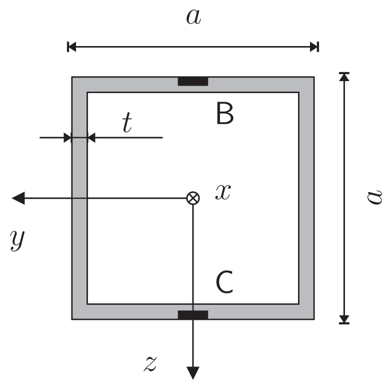
$$\omega_L'(x=L) = -\omega_R(\bar{x}=L)$$

2. Aufgabe (ca. 22 % der Gesamtpunktzahl)

System



Querschnitt bei A



Der dargestellte Kragarm ist in A eingespannt und wird durch eine Streckenlast q in negativer y-Richtung sowie eine Einzellast F in negativer x-Richtung belastet.

a) Bestimmen Sie die Schnittgrößen an der Einspannstelle A.

b) Bestimmen Sie die Schubspannungen an der Einspannstelle in den Punkten B und C.

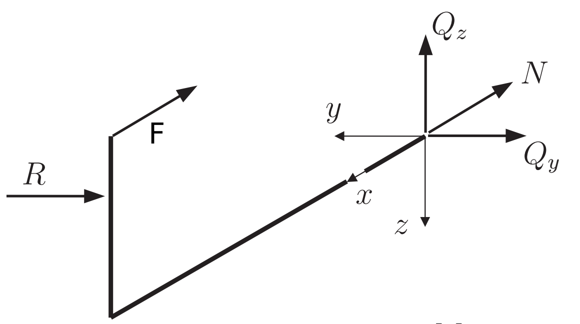
<u>Hinweis:</u> Der Querschnitt darf als dünnwandig betrachtet werden ($t << a$).

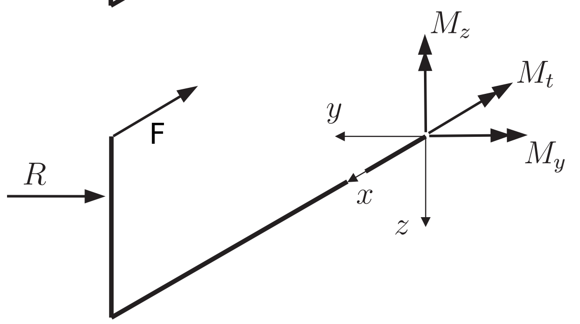
Gegeben: $L = 2\,m,\ a = 80\,mm,\ t = 5mm,\ q = 100\dfrac{N}{m},\ F = 400\,N.$

2. Aufgabe

a) Schnittgrößen an der Einspannstelle A:

mit $R = 100\frac{N}{m}\frac{2m}{2} = 100N$



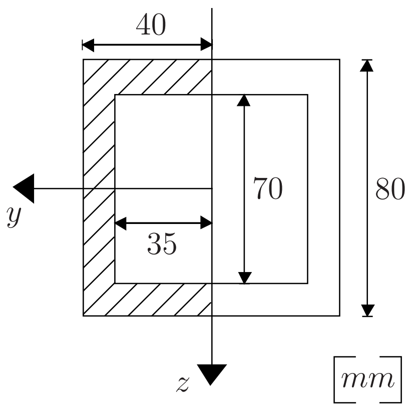


$$\sum F_{ix} = 0 : -N - F = 0$$
$$\Rightarrow N = -400N$$
$$\sum F_{iy} = 0 : -R - Q_y = 0$$
$$\Rightarrow Q_y = -100N$$
$$\sum F_{iz} = 0 : Q_z = 0$$
$$\sum M_{ix}^A = 0 : -M_T - R\frac{2}{3}L = 0$$
$$\Rightarrow M_T = -\frac{400}{3}Nm$$
$$\sum M_{iy}^A = 0 : -M_y + FL = 0$$
$$\Rightarrow M_y = 800Nm$$
$$\sum M_{iz}^A = 0 : -M_z - R \cdot 2L = 0$$
$$\Rightarrow M_z = -400Nm$$

b) Schubspannung infolge Querkräfte:
mit

$$\tau_Q = \frac{Q_y \cdot S_z}{I_z \cdot b(y)}$$

folgt



$$\begin{aligned}
S_z &= A^* \cdot y_s^* = A_1^* \cdot y_{s1}^* - A_2^* \cdot y_{s2}^* \\
&= (80mm \cdot 40mm) \cdot 20mm - (70mm \cdot 35mm) \cdot \frac{35}{2}mm \\
&= 21125m^3 \\
I_z &= \frac{1}{12}[a \cdot a^3 - (a-2t)(a-2t)^3] \\
&= 1412500mm^4 \\
b(y) &= 2t \\
&= 10mm
\end{aligned}$$

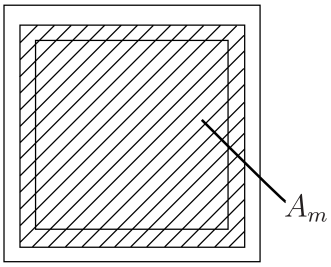
$$\Rightarrow \tau_Q = \frac{-100N \cdot 21125mm^3}{1412500mm^4 \cdot 10mm} = -0,1496\frac{N}{mm^2}$$

Schubspannung infolge Torsion:

- Dünnwändiger Querschnitt $\rightarrow$ 1.Bredtsche Formel zulässig

$$\tau_T = \frac{M_T}{2A_m \cdot t_{min}}$$

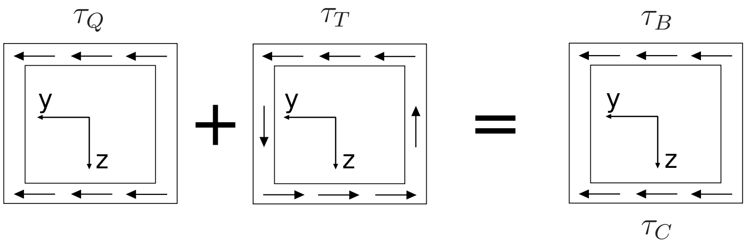
mit



$$\begin{aligned} A_m &= (a - \frac{2t}{2})^2 \\ &= (80mm - 5mm)^2 \\ &= 5625mm^2 \\ t_{min} &= 5mm \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \tau_T = \frac{-\frac{400}{3}N \cdot 10mm^3}{2 \cdot 5625mm^2 \cdot 5mm} = -2,370\frac{N}{mm^2}$$

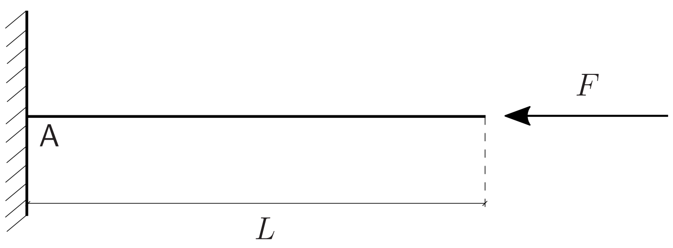
Superposition:

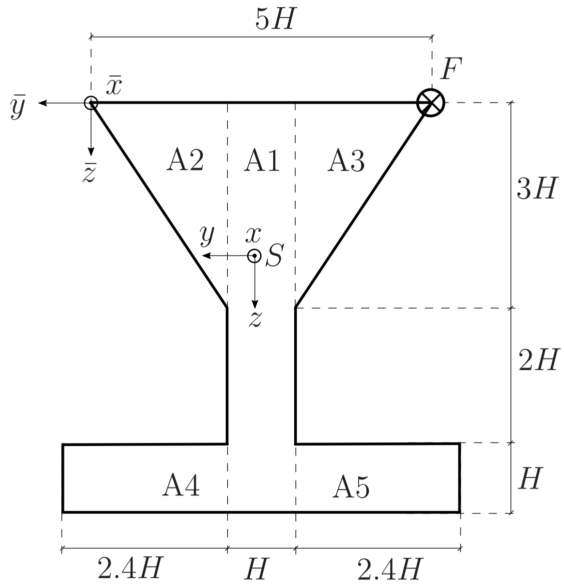


$$\tau_B = \tau_Q + \tau_T$$
$$\tau_C = \tau_Q - \tau_T$$

$$\tau_B = -0,1496\frac{N}{mm^2} - 2,370\frac{N}{mm^2} = -2,5196\frac{N}{mm^2}$$
$$\tau_C = -0,1496\frac{N}{mm^2} + 2,370\frac{N}{mm^2} = 2.2204\frac{N}{mm^2}$$

3. Aufgabe (ca. 22 % der Gesamtpunktzahl)





Der dargestellte Kragarm ist in A eingespannt und wird durch eine exzentrisch angreifende Einzelkraft F belastet. Der Querschnitt des Kragarms lässt sich in ein großes Rechteck (A1), in zwei Dreiecke (A2,A3) und in zwei kleine Rechtecke (A4,A5) zerlegen.

a) Bestimmen Sie die Schwerpunktskoordinaten des Schwerpunktes S im gegebenen $\bar{x}\bar{y}\bar{z}$-Koordinatensystem.

b) Bestimmen Sie die Flächenträgheitsmomente I_y, I_z und I_{yz} bezüglich des Schwerpunktes S.

c) Bestimmen Sie die Geradengleichung der Nullspannungslinie und skizzieren Sie diese.

Gegeben: L, F, H.

3. Aufgabe

a) Schwerpunktkoordinaten der y-Achse:

$\rightarrow$ aus Symmetrie: $y_s = -2,5H$

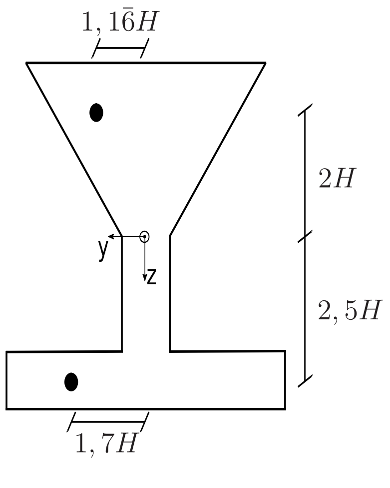
Schwerpunktkoordinaten der z-Achse:

i	A_i	$\bar{z}_i$	$A_i\bar{z}_i$
1	6	3	18
2	$\frac{1}{2}\cdot 2\cdot 3$	$\frac{1}{3}\cdot 3$	3
3	3	1	3
4	2,4	5,5	13,2
5	2,4	5,5	13,2
	$\sum\ 16,8\ [H^2]$		$\sum\ 50,4\ [H^3]$

Daraus folgt:

$$z_s = \frac{\sum A_i\bar{z}_i}{\sum A_i} = 3H$$

b) Flächenträgheitsmomente



Flächenträgheitsmoment I_y

$$\begin{aligned} I_y &= I_{y_1} + I_{y2,3} + I_{y4,5} \\ &= [\frac{1\cdot 6^3}{12} + 0 + \frac{4\cdot 3^3}{36} + 6(\frac{2}{3}\cdot 3)^2 + \frac{4,8\cdot 1^3}{12} + 4,8(3-0,5)^2]H^4 \\ &= 75,4H^4 \end{aligned}$$

Flächenträgheitsmoment I_z

$$\begin{aligned} I_z &= I_{z_1} + I_{z2}\cdot 2 + I_{z4}\cdot 2 \\ &= [\frac{6\cdot 1^3}{12} + 0 + 2(\frac{3\cdot 2^3}{36} + 3(\frac{7}{6})^2) + 2(\frac{1\cdot 2,4^3}{12} + 2,4\cdot 1,7^2)]H^4 \\ &= 26,176H^4 \end{aligned}$$

Flächenträgheitsmoment I_{yz}
$\rightarrow$ aus Symmetrie: $I_{yz} = 0$

c) Geradengleichung der Nullspannungslinie

mit $N = -F,\ M_y = 3FH,\ M_z = -2,5FH$

sowie

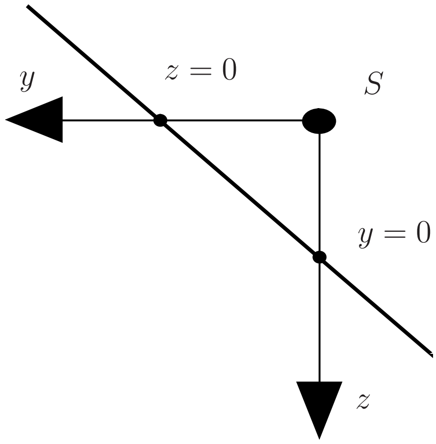
$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y}z - \frac{M_z}{I_z}y \stackrel{!}{=} 0$$

ergibt sich

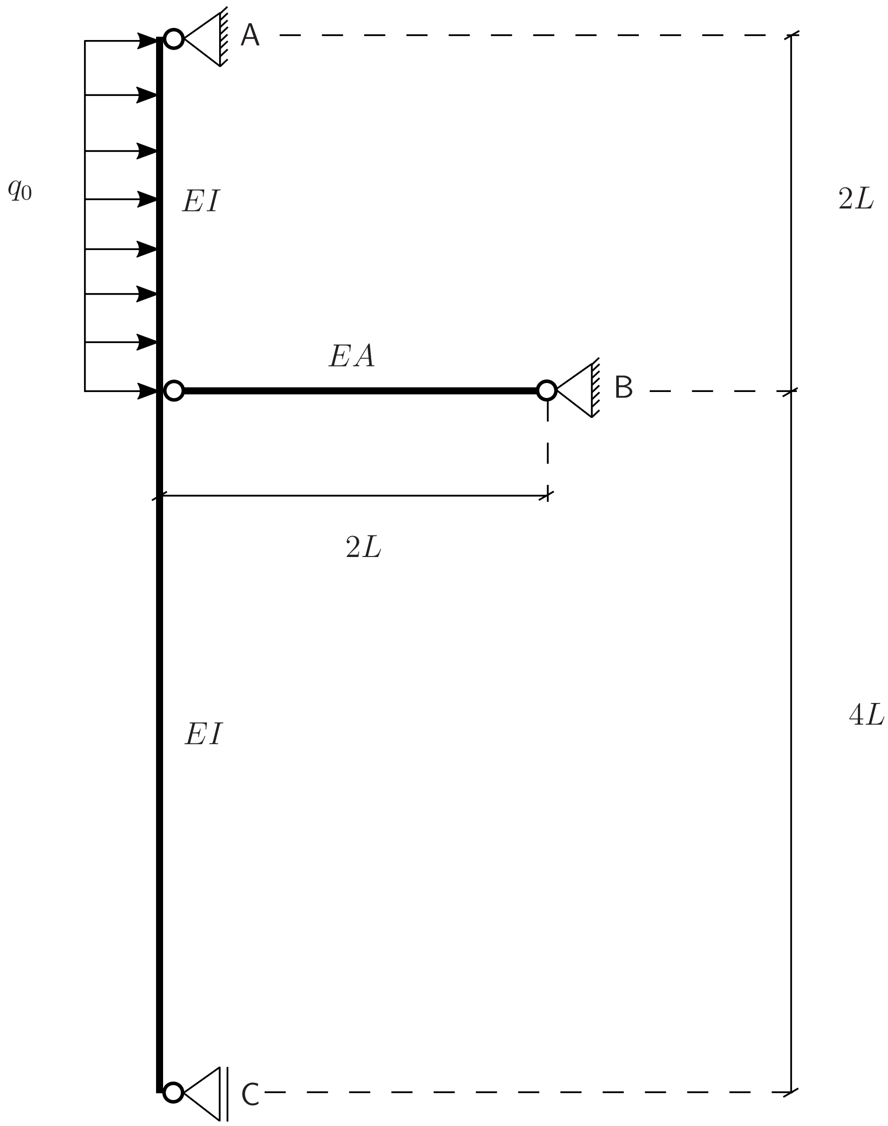
$$-\frac{F}{16,8H^2}+\frac{3FH}{75,4H^4}z+\frac{2,5FH}{26,176H^4}y=0$$

$$\begin{aligned}\Rightarrow z &= 1,49-2,4y\\ &bzw.\\ \Rightarrow y &= 0,62-0,416z\end{aligned}$$

Skizze:



4. Aufgabe (ca. 20 % der Gesamtpunktzahl)



Das dargestellte Tragwerk wird durch eine gleichmäßige Streckenlast q_0 belastet.

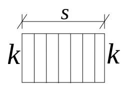
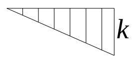
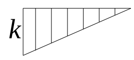
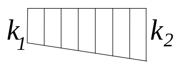
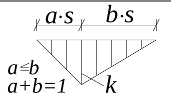
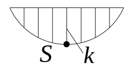
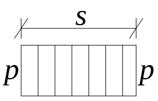
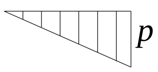
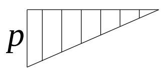
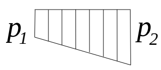
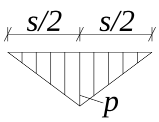
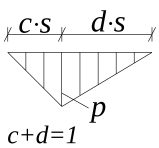
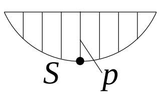
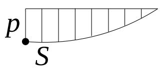
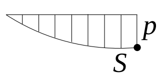
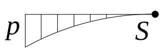
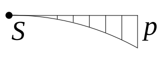
a) Bestimmen Sie die Dehnsteifigkeit EA so, dass im Punkt C keine Lagerreaktion entsteht.

b) Skizzieren Sie für diesen Fall den Momentenverlauf.

c) Bestimmen Sie für den Fall $EA \to \infty$ die Lagerreaktion in C.

Gegeben: $L,\ q_0,\ EI$.

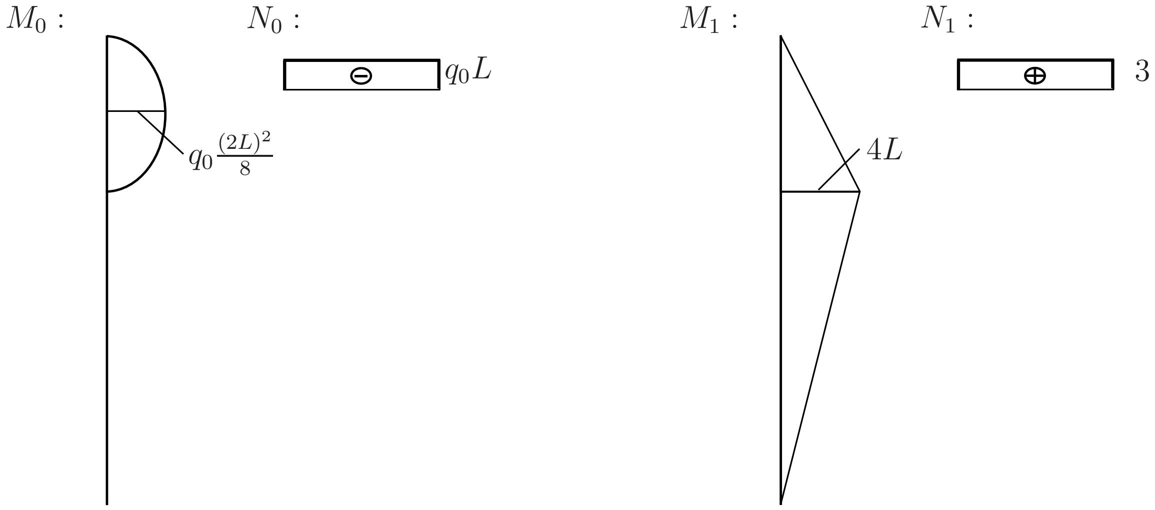
Werte der Integrale $\int_0^s P(x) \cdot K(x) \mathrm{d}x$

$P(x)$ \ $K(x)$						
	pks	$\frac{1}{2}pks$	$\frac{1}{2}pks$	$\frac{p}{2}(k_1+k_2)s$	$\frac{1}{2}pks$	$\frac{2}{3}pks$
	$\frac{1}{2}pks$	$\frac{1}{3}pks$	$\frac{1}{6}pks$	$\frac{p}{6}(k_1+2k_2)s$	$\frac{1}{6}pk(1+a)s$	$\frac{1}{3}pks$
	$\frac{1}{2}pks$	$\frac{1}{6}pks$	$\frac{1}{3}pks$	$\frac{p}{6}(2k_1+k_2)s$	$\frac{1}{6}pk(1+b)s$	$\frac{1}{3}pks$
	$\frac{k}{2}(p_1+p_2)s$	$\frac{k}{6}(p_1+2p_2)s$	$\frac{k}{6}(2p_1+p_2)s$	$[\frac{p_1}{6}(2k_1+k_2) + \frac{p_2}{6}(k_1+2k_2)]s$	$[\frac{k}{6}[p_1(1+b) + p_2(1+a)]s$	$\frac{k}{3}(p_1+p_2)s$
	$\frac{1}{2}pks$	$\frac{1}{4}pks$	$\frac{1}{4}pks$	$\frac{p}{4}(k_1+k_2)s$	$\frac{pk}{12b}(3-4a^2)s$	$\frac{5}{12}pks$
	$\frac{1}{2}pks$	$\frac{pk}{6}(1+c)s$	$\frac{pk}{6}(1+d)s$	$\frac{p}{6}[k_1(1+d) + k_2(1+c)]s$	$\frac{pk}{6bc}(2c-c^2-a^2)s$ für $c \geq a$	$\frac{pk}{3}(1+cd)s$
	$\frac{2}{3}pks$	$\frac{1}{3}pks$	$\frac{1}{3}pks$	$\frac{p}{3}(k_1+k_2)s$	$\frac{pk}{3}(1+ab)s$	$\frac{8}{15}pks$
	$\frac{2}{3}pks$	$\frac{1}{4}pks$	$\frac{5}{12}pks$	$\frac{p}{12}(5k_1+3k_2)s$	$\frac{pk}{12}(5-a-a^2)s$	$\frac{7}{15}pks$
	$\frac{2}{3}pks$	$\frac{5}{12}pks$	$\frac{1}{4}pks$	$\frac{p}{12}(3k_1+5k_2)s$	$\frac{pk}{12}(5-b-b^2)s$	$\frac{7}{15}pks$
	$\frac{1}{3}pks$	$\frac{1}{12}pks$	$\frac{1}{4}pks$	$\frac{p}{12}(3k_1+k_2)s$	$\frac{pk}{12}(1+b+b^2)s$	$\frac{1}{5}pks$
	$\frac{1}{3}pks$	$\frac{1}{4}pks$	$\frac{1}{12}pks$	$\frac{p}{12}(k_1+3k_2)s$	$\frac{pk}{12}(1+a+a^2)s$	$\frac{1}{5}pks$

$S \triangleq$ Scheitel einer quadratischen Parabel

4. Aufgabe

a) Schnittgrößenverläufe:



Koppeln liefert:

$$\alpha_{10} = \frac{2L}{EI}\frac{1}{3}q\frac{l^2}{2} \cdot 4L - \frac{2L}{EA}qL \cdot 3 \qquad = \frac{4}{3}\frac{qL^4}{EI} - 6\frac{qL^2}{EA}$$

$$\alpha_{11} = (\frac{2L}{EI} + \frac{4L}{EI})\frac{1}{3}(4L)^2 + \frac{2L}{EA}3^2 \qquad = 32\frac{L^3}{EI} + 18\frac{L}{EA}$$

Für die Kompatibilität gilt

$$\alpha_{10} + X\alpha_{11} \stackrel{!}{=} 0$$

Mit der Forderung $X \stackrel{!}{=} 0 \rightarrow \alpha_{10} \stackrel{!}{=} 0$ folgt die Dehnsteifigkeit zu

$$\frac{4}{3}\frac{qL^4}{EI} - 6\frac{qL^2}{EA} = 0$$

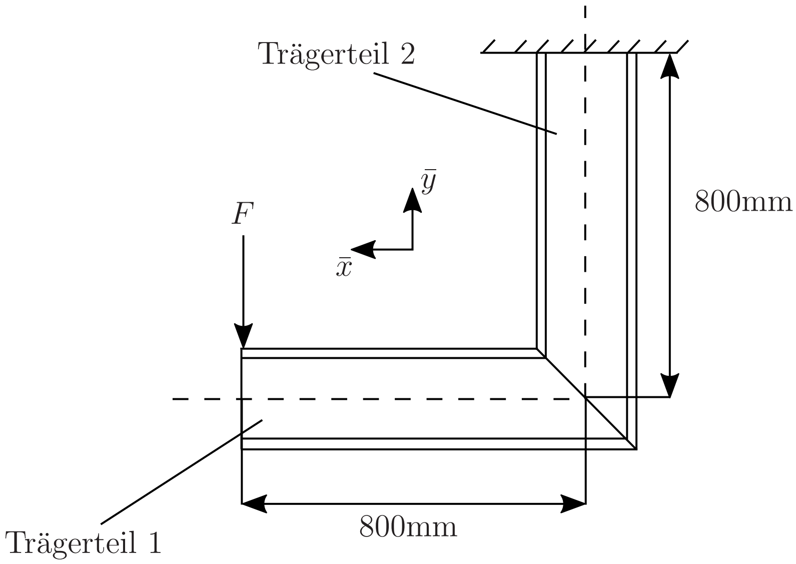
$$\Rightarrow EA = \frac{9}{2}\frac{EI}{L^2}$$

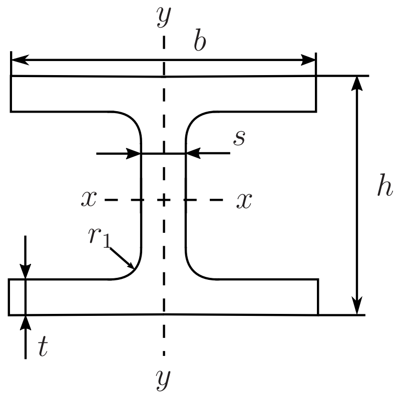
b) siehe M_0 und N_0

c) Die Lagerreaktion für $EA \rightarrow \infty$ folgt mit $\alpha_{10} = \frac{4}{3}\frac{qL^4}{EI}$ und $\alpha_{11} = 32\frac{L^3}{EI}$ zu

$$X = -\frac{\alpha_{10}}{\alpha_{11}} = -\frac{1}{24}qL$$

5. Aufgabe (ca. 14 % der Gesamtpunktzahl)





Das skizzierte Tragwerk in L-förmiger Anordnung aus zwei warmgewalzten I-Trägern nach DIN 1025 T2 (breite I-Träger, Kurzzeichen IPB140, siehe Tabelle) wird in der dargestellten Weise mit einer Kraft $F = 45\text{kN}$ belastet.

a) Berechnen Sie die Lagerreaktionen.

b) Berechnen Sie die Maximalwerte der Schnittgrößen (Biegemoment M_b, Querkraft Q und Normalkraft N) und skizzieren Sie diese.

c) Für die weitere Bemessung ist der Einfluss der Schubspannungen infolge Querkraft zu vernachlässigen. Berechnen Sie den Normalspannungsverlauf und skizzieren Sie diesen. Benutzen Sie für das Widerstandsmoment und die Querschnittsfläche des I-Profils die Angaben aus der nachfolgenden Tabelle. Das E-Modul der beiden Trägerteile beträgt $2.1 \cdot 10^5$ MPa.

d) Erbringen Sie anschließend den Festigkeitsnachweis für das skizzierte Tragwerk. Die zulässige Vergleichsspannung beträgt $\sigma_{\text{v,zul}} = 140.9\ \text{N/mm}^2$.

Hinweise:

Für die Berechnung ist der Steifigkeitssprung im Übergangsbereich der beiden Tragwerksteile zu vernachlässigen.

Tabelle 1: Breite I-Träger mit parallelen Flanschflächen, IPB-Reihe) Maße in Millimeter

Kurzzeichen*)	Maße für					Querschnitt	Masse	Mantelfläche	Für die Biegeachse¹)						S_x²)	s_x³)
									x–x			y–y				
	h	b	s	t	r_1				I_x	W_x	i_x	I_y	W_y	i_y		
IPB						cm^2	kg/m	m^2/m	cm^4	cm^3	cm	cm^4	cm^3	cm	cm^3	cm
100	100	100	6	10	12	26,0	20,4	0,567	450	89,9	4,16	167	33,5	2,53	52,1	8,63
120	120	120	6,5	11	12	34,0	26,7	0,686	864	144	5,04	318	52,9	3,06	82,6	10,5
140	140	140	7	12	12	43,0	33,7	0,805	1 510	216	5,93	550	78,5	3,58	123	12,3
160	160	160	8	13	15	54,3	42,6	0,918	2 490	311	6,78	889	111	4,05	177	14,1
180	180	180	8,5	14	15	65,3	51,2	1,04	3 830	426	7,66	1 360	151	4,57	241	15,9
200	200	200	9	15	18	78,1	61,3	1,15	5 700	570	8,54	2 000	200	5,07	321	17,7
220	220	220	9,5	16	18	91,0	71,5	1,27	8 090	736	9,43	2 840	258	5,59	414	19,6
240	240	240	10	17	21	106	83,2	1,38	11 260	938	10,3	3 920	327	6,08	527	21,4
260	260	260	10	17,5	24	118	93,0	1,50	14 920	1 150	11,2	5 130	395	6,58	641	23,3
280	280	280	10,5	18	24	131	103	1,62	19 270	1 380	12,1	6 590	471	7,09	767	25,1
300	300	300	11	19	27	149	117	1,73	25 170	1 680	13,0	8 560	571	7,58	934	26,9
320	320	300	11,5	20,5	27	161	127	1,77	30 820	1 930	13,8	9 240	616	7,57	1 070	28,7
340	340	300	12	21,5	27	171	134	1,81	36 660	2 160	14,6	9 690	646	7,53	1 200	30,4
360	360	300	12,5	22,5	27	181	142	1,85	43 190	2 400	15,5	10 140	676	7,49	1 340	32,2
400	400	300	13,5	24	27	198	155	1,93	57 680	2 880	17,1	10 820	721	7,40	1 620	35,7
450	450	300	14	26	27	218	171	2,03	79 890	3 550	19,1	11 720	781	7,33	1 990	40,1
500	500	300	14,5	28	27	239	187	2,12	107 200	4 290	21,2	12 620	842	7,27	2 410	44,5
550	550	300	15	29	27	254	199	2,22	136 700	4 970	23,2	13 080	872	7,17	2 800	48,9
600	600	300	15,5	30	27	270	212	2,32	171 000	5 700	25,2	13 530	902	7,08	3 210	53,2
650	650	300	16	31	27	286	225	2,42	210 600	6 480	27,1	13 980	932	6,99	3 660	57,5
700	700	300	17	32	27	306	241	2,52	256 900	7 340	29,0	14 400	963	6,87	4 160	61,7
800	800	300	17,5	33	30	334	262	2,71	359 100	8 980	32,8	14 900	994	6,68	5 110	70,2
900	900	300	18,5	35	30	371	291	2,91	494 100	10 980	36,5	15 820	1 050	6,53	6 290	78,5
1 000	1 000	300	19	36	30	400	314	3,11	644 700	12 890	40,1	16 280	1 090	6,38	7 430	86,8

*) In EURONORM 53-62 lautet das Kurzzeichen für breite I-Träger dieser Reihe HE . . . B, wobei die Kennzahl die gleiche ist wie im DIN-Kurzzeichen, z. B. HE 300 B entspricht IPB 300.

¹) I = Flächenmoment 2. Grades, W = Widerstandsmoment, i = Trägheitshalbmesser, jeweils bezogen auf die zugehörige Biegeachse.

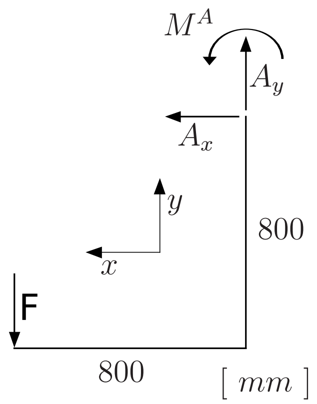
²) S_x = statisches Moment des halben Querschnittes

³) $s_x = I_x : S_x$ = Abstand der Druck- und Zugmittelpunkte

Die Querschnitte, Massen, Mantelflächen und statischen Werte sind aus den in der Tabelle angegebenen Maßen errechnet.

5. Aufgabe

a) Für die Gleichgewichtsbedingungen gilt:

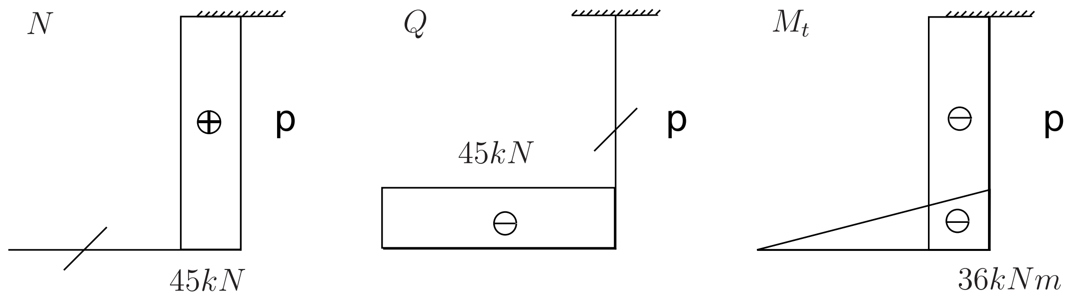


$$\sum F_{ix} = 0: \qquad A_x = 0$$

$$\sum F_{iy} = 0: \qquad A_y = F \qquad \Rightarrow A_y = 45kN$$

$$\sum M^B = 0: \qquad M^A + F \cdot 800mm = 0 \qquad \Rightarrow M^A = -36kNm$$

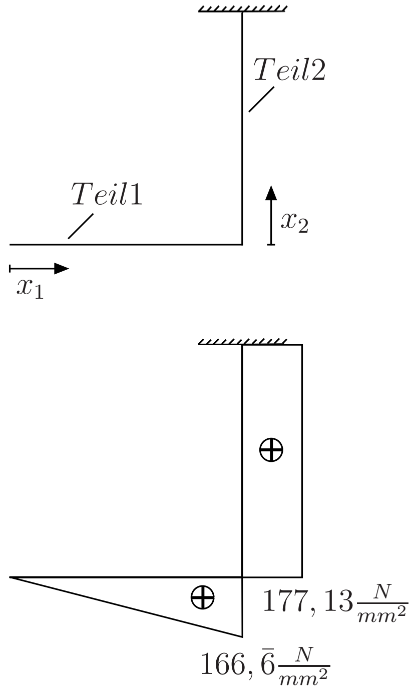
b) Schnittkraftverläufe



c) $IPB140 : I_x = 1510cm^4\ ,\ W_x = 216cm^3\ ,\ 43cm^2$

mit

$$\sigma_{ni} = \frac{N}{A} + \frac{M_b}{W_b}$$



Teil 1:

$$\sigma_{n1} = \frac{N}{A} + \frac{F \cdot x_1}{W_b}$$
$$= 0 + \frac{45kN \cdot x_1}{216 \cdot 10^3 mm^3}$$

$\Rightarrow \sigma_{n1}(x_1 = 0) = 0\ ;\ \sigma_{n1}(x_1 = 800mm) = 166,\bar{6}$

Teil 2:

$$\sigma_{n2} = \frac{N}{A} + \frac{M_b}{W_b}$$
$$= \frac{45kN}{4300mm^2} + \frac{36000kNmm}{216 \cdot 10^3 mm^3}$$

$$= 177,13\frac{N}{mm^2}$$

d) Nennspannungskonzept:

$$\sigma_v = \sqrt{(\sigma_b + \sigma_{zd})^2 + 3\tau_t^2} = 177,13\frac{N}{mm^2}$$

Festigkeitsnachweis:

$$\sigma_v \le \sigma_{v,zul}$$

$$\Rightarrow \qquad 177,13\frac{N}{mm^2} > 140,9\frac{N}{mm^2}$$

$\Rightarrow$ Festigkeit nicht gewährleistet