Klausur

Festigkeitslehre

18. August 2020

Name: .... Vorname: ....

Matr.-Nr: .... Studiengang: ....

Hinweise:

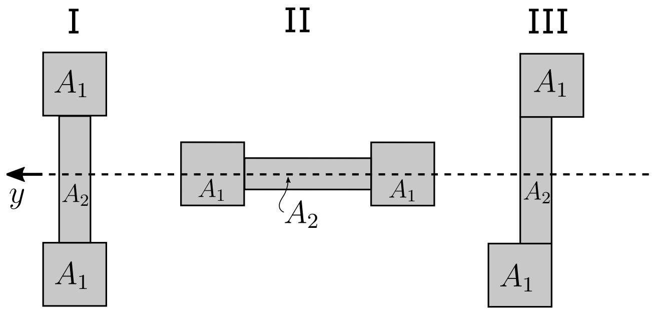
- Bitte schreiben Sie deutlich lesbar. Zeichnungen müssen sauber und übersichtlich sein. Die Benutzung roter und grüner Farbstifte ist nicht zugelassen.
- Aufgaben werden nur beurteilt, wenn sie auf den ausgegebenen Blättern gelöst sind. Eventuell abgegebene Formelsammlungen werden als nicht vorhanden 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.
- Bitte beginnen Sie jede Aufgabe auf einer neuen Seite.

Aufgabe	1	2	3	4	Σ
Punkte					
Korrektor					

(Eintrag erfolgt durch Institut)

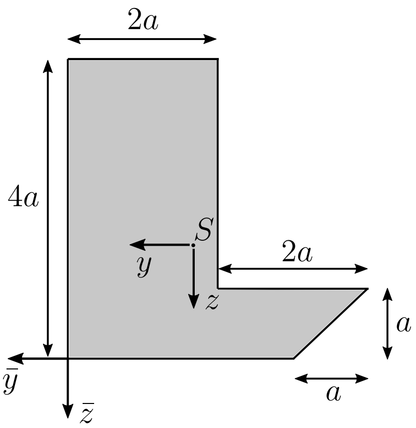
1. Aufgabe: (ca. 24 % der Gesamtpunkte)

Aufgabe 1.1
Gegeben sind die Balkenquerschnitte I, II und III, die aus den Flächen A_1 und A_2 zusammengesetzt sind. Ordnen Sie die Querschnitte nach der Größe ihrer Flächenträgheitsmomente bezüglich der y-Achse.

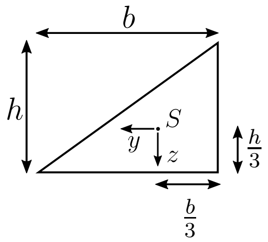


Aufgabe 1.2

a) Der folgende Balkenquerschnitt ist gegeben. Bestimmen Sie die Lage des Flächenschwerpunktes S des Querschnitts bezüglich des gegeben $(\bar{y}, \bar{z})$-Koordinatensystems.



Hinweis:



$I_y = \frac{bh^3}{36}$

$I_z = \frac{b^3 h}{36}$

$I_{yz} = -\frac{b^2 h^2}{72}$

b) Bestimmen Sie die Flächenträgheitsmomente I_y, I_z und I_{yz} des Balkenquerschnitts in a) bezüglich des (y, z)-Koordinatensystems, dessen Ursprung mit dem Flächenschwerpunkt S zusammenfällt.
Nutzen Sie im Weiteren die gerundeten Schwerpunktskoordinaten $\bar{y}_S = -4\,\text{cm}$ und $\bar{z}_S = -5\,\text{cm}$ bezüglich des $(\bar{y}, \bar{z})$-Koordinatenssystems.

c) Bestimmen Sie die Hauptflächenträgheitsmomente I_1 und I_2 sowie die Hauptachsenrichtung des in b) gegebenen Balkenquerschnitts.

Gegeben: $a = 3\,\text{cm}$

Hinweis: Alle Ergebnisse sollen auf zwei Nachkommastellen gerundet werden.

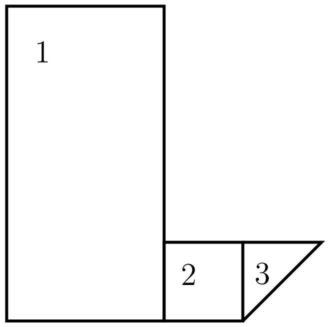
1. Aufgabe: Lösung

Aufgabe 1.1

Sortierung: I = III > II

Aufgabe 1.2

a)



Aufteilung der Geometrie

$$
\begin{aligned}
A_1 &= 8a^2 &&= 72cm^2 \\
A_2 &= a^2 &&= 9cm^2 \\
A_3 &= \frac{1}{2}a^2 &&= 4,5cm^2 \\
y_1 &= -a &&= -3cm \\
y_2 &= -\frac{5}{2}a &&= -7,5cm \\
y_3 &= -\frac{10}{3}a &&= -10cm \\
z_1 &= -2a &&= -6cm \\
z_2 &= -\frac{a}{2} &&= -1,5cm \\
z_3 &= -\frac{2}{3}a &&= -2cm
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
y_s &= \frac{\sum_{i=1}^{3} A_i y_i}{\sum_{i=1}^{3} A_i} \\
&= \frac{-a \cdot 8a^2 - \frac{5}{2}a \cdot a^2 - \frac{10}{3}a \cdot \frac{1}{2}a^2}{8a^2 + a^2 + \frac{1}{2}a^2} \\
&= -\frac{73}{57}a \approx \mathbf{-3,84cm}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
z_s &= \frac{\sum_{i=1}^{3} A_i z_i}{\sum_{i=1}^{3} A_i} \\
&= \frac{-2a \cdot 8a^2 - \frac{a}{2} \cdot a^2 - \frac{2}{3}a \cdot \frac{1}{2}a^2}{8a^2 + a^2 + \frac{1}{2}a^2} \\
&= -\frac{101}{57}a \approx \mathbf{-5,32cm}
\end{aligned}
$$

b)

$$
\begin{aligned}
I_{\bar{y}1} &= \frac{2a(4a)^3}{12} = 864cm^4 \\
I_{\bar{y}2} &= \frac{a^4}{12} = 6,75cm^4 \\
I_{\bar{y}3} &= \frac{a^4}{36} = 2,25cm^4
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
A_1 &= 8a^2 = 72cm^2\ ; & \bar{z}_1 &= (5cm - 2a) &&= -1cm \\
A_2 &= a^2 = 9cm^2\ ; & \bar{z}_2 &= \left(5cm - \frac{a}{2}\right) &&= 3,5cm \\
A_3 &= \frac{1}{2}a^2 = 4,5cm^2; & \bar{z}_3 &= \left(5cm - \frac{2}{3}a\right) &&= 3cm
\end{aligned}
$$

$$I_y = \sum_{i=1}^{3} I_{\bar{y}i} + A_i\bar{z}_i^2$$

$$
\begin{aligned}
&= 864cm^4 + 72cm^2 \cdot (-1cm)^2 + 6,75cm^4 + 9cm^2 \cdot (3,5cm)^2 + 2,25cm^4 + 4,5cm^2 \cdot (3cm)^2 \\
&= \mathbf{1095,75cm^4}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
I_{\bar{z}1} &= \frac{(2a)^3 4a}{12} = 216cm^4 \\
I_{\bar{z}2} &= \frac{a^4}{12} = 6,75cm^4 \\
I_{\bar{z}3} &= \frac{a^4}{36} = 2,25cm^4
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
A_1 &= 8a^2 = 72cm^2\ ; & \bar{y}_1 &= (4cm - a) &&= 1cm \\
A_2 &= a^2 = 9cm^2\ ; & \bar{y}_2 &= \left(4cm - \frac{5}{2}a\right) &&= -3,5cm \\
A_3 &= \frac{1}{2}a^2 = 4,5cm^2; & \bar{y}_3 &= \left(4cm - \frac{10}{3}a\right) &&= -6cm
\end{aligned}
$$

$$I_z = \sum_{i=1}^{3} I_{\bar{z}i} + A_i\bar{y}_i^2$$

$$
\begin{aligned}
&= 216cm^4 + 72cm^2 \cdot (1cm^2) + 6,75cm^4 + 9cm^2 \cdot (-3,5cm)^2 + 2,25cm^4 + 4,5cm^2 \cdot (-6cm)^2 \\
&= \mathbf{569,25cm^4}
\end{aligned}
$$

$$I_{\bar{y}\bar{z}1} = 0cm^4; \quad I_{\bar{y}\bar{z}2} = 0cm^4; \quad I_{\bar{y}\bar{z}3} = -\frac{a^4}{72} = -1,125cm^4$$

$$
\begin{aligned}
I_{yz} &= \sum_{i=1}^{3} I_{\bar{y}\bar{z}i} - A_i\bar{y}_i\bar{z}_i \\
&= 0 - 72cm^2 \cdot (1cm) \cdot (-1cm) + 0 - 9cm^2 \cdot (-3,5cm) \cdot (3,5cm) \\
&+ (-1,125cm^4) - 4,5cm^2 \cdot (-6cm) \cdot (3cm) \\
&\approx \mathbf{262,13cm^4}
\end{aligned}
$$

---

c)

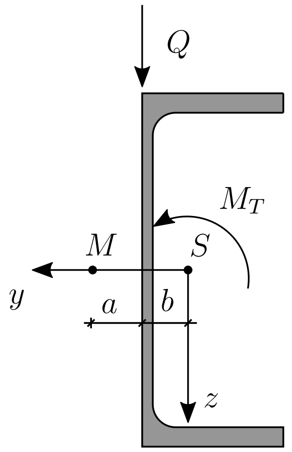
$$
\begin{aligned}
I_{1/2} &= \frac{I_y + I_z}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{I_y + I_z}{2}\right)^2 + {I_{yz}}^2} \\
&= \frac{1095,75cm^4 + 569,25cm^4}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{1095,75cm^4 + 569,25cm^4}{2}\right)^2 + (262,13cm^4)^2} \\
&= \begin{cases} \mathbf{1204cm^4} & = I_1 \\ \mathbf{461cm^4} & = I_2 \end{cases}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\tan(2\varphi^*) &= \frac{2I_{yz}}{I_y - I_z} \\
\Rightarrow \varphi^* &= \frac{1}{2}\arctan\left(\frac{2I_{yz}}{I_y - I_z}\right) = \mathbf{22,44^\circ}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&I_\eta(\varphi^*) = \frac{I_y + I_z}{2} + \frac{I_y - I_z}{2}\cos(2\varphi^*) + I_{yz}\sin(2\varphi^*) = 1204cm^4 \\
&\Rightarrow \varphi^* = \varphi_1 \\
&\quad\ \varphi_2 = \varphi_1 + 90^\circ = \mathbf{112,44^\circ}
\end{aligned}
$$

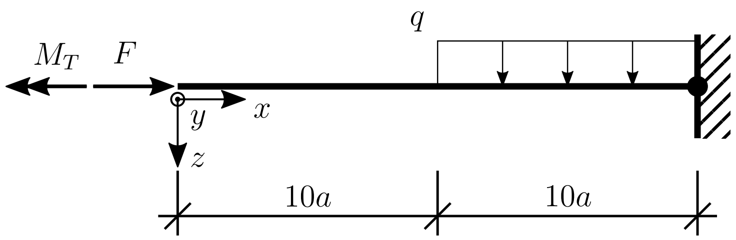
2. Aufgabe: (ca. 30 % der Gesamtpunkte)

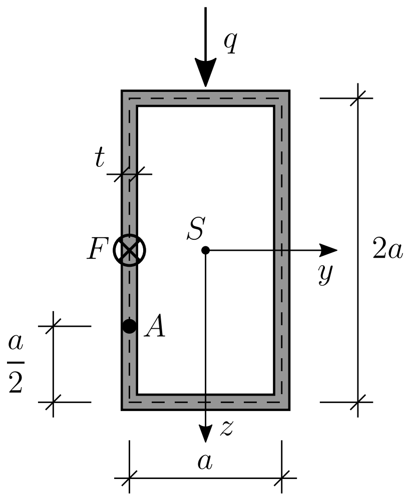
Aufgabe 2.1
Gegeben ist das dargestellte U-Profil mit Schwerpunkt S und Schubmittelpunkt M. Das Profil wird durch die Querkraft Q und das Torsionsmoment M_T wie dargestellt belastet. Wie groß ist das gesamte Torsionsmoment $M_{T,\text{ges}}$, das auf den Querschnitt wirkt? Nutzen Sie das gegebene Koordinatensystem.



Gegeben: $M_T = 2$ kNm, $Q = 100$ kN, $a = 2,85$ cm, $b = 2,56$ cm

Aufgabe 2.2





Der dargestellte Kragarm der Länge $20a$ hat den rechts dargestellten rechteckigen Hohlquerschnitt mit Wandstärke t und Schubmodul G. Das System wird durch ein Torsionsmoment M_T, eine Einzellast F und eine Streckenlast q wie dargestellt belastet. Bearbeiten Sie folgende Aufgaben:

a) Skizzieren Sie unter Angabe der maßgebenden Ordinaten alle Schnittgrößenverläufe, die im System auftreten. Nutzen Sie das gegebene Koordinatensystem.

b) Berechnen Sie alle Spannungen, die im Punkt A (Koordinaten $(x = 20a, y = -a/2, z = a/2)$) auftreten, und stellen Sie den Spannungszustand an einem geeigneten infinitesimalen Flächenelement dar.

c) Berechnen Sie die Verdrehung θ des Balkens um die x-Achse an der Stelle $x = 0$.

Gegeben: F, a, G, sowie $t = a/10$, $M_T = 2Fa$, $q = \dfrac{F}{50a}$

<u>*Hinweis:*</u> Eine Verwölbung des Querschnitts ist nicht verhindert. Es darf ein dünnwandiger Querschnitt angenommen werden.

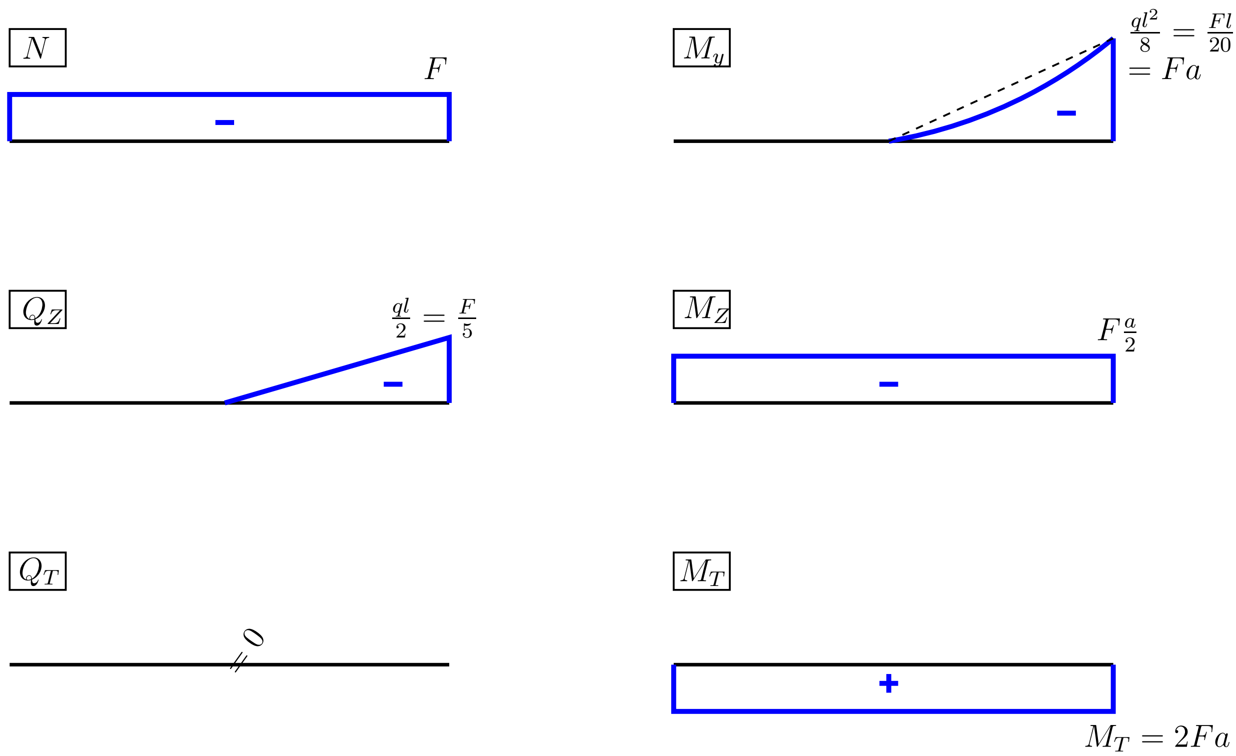
2. Aufgabe: Lösung

Aufgabe 2.1

$$M_{T,\text{ges}} = 2 \cdot 100\,kNcm - 100\,kN \cdot 2,85\,cm = \mathbf{-85kNcm}$$

Aufgabe 2.2

a)



b) Querschnittskennwerte

$$
\begin{aligned}
A =&\ (2a+t)(a+t) - (2a-t)(a-t) && = 0,6a^2 \\
I_y =&\ \frac{(a+t)(2a+t^2)}{12} - \frac{(a-t)(2a-t)^3}{12} && = 0,3345a^4 \\
I_z =&\ \frac{(a+t)^3(2a+t)}{12} - \frac{(a-t)^3(2a-t)}{12} && = 0,1175a^4 \\
S_{y,1} =&\left(\frac{a}{2}+\frac{t}{2}\right)(a+t)\left[\left(\frac{a}{2}+\frac{t}{2}\right)\frac{1}{2}+\frac{a}{2}\right] \\
&-\left(\frac{a}{2}-\frac{t}{2}\right)(a-t)\left[\left(\frac{a}{2}-\frac{t}{2}\right)\frac{1}{2}+\frac{a}{2}\right] && = 0,17525a^3 \\
W_T =&\, 2 \cdot 2a \cdot a \cdot t && = 0,4a^3
\end{aligned}
$$

Querschnittskennwerte dünnwandig (alternativ)

$$
\begin{aligned}
A =\ & 2t(2a+a) && = 0,6a^2\\
I_y =\ & 2\left(\frac{t(2a)^3}{12} + at\cdot a^2\right) && = \frac{1}{3}a^4\\
I_z =\ & 2\left(\frac{ta^3}{12} + 2at\cdot\left(\frac{a}{2}\right)^2\right) && = \frac{7}{60}a^4\\
S_{y,A} =& 2\frac{a}{2}t\cdot\frac{3}{4}a + at\cdot a && = \frac{7}{40}a^3\\
W_T =& 2\cdot 2a\cdot a\cdot t && = 0,4a^3
\end{aligned}
$$

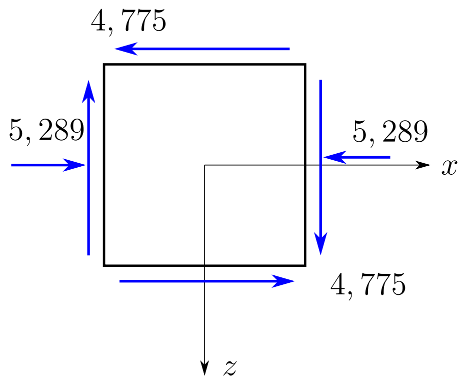
Normalspannung

$$
\begin{aligned}
\sigma_A &= \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y}z - \frac{M_z}{I_z}y\\
&= -\frac{F}{0,6a^2} + \frac{-Fa}{0,3345a^4}\frac{a}{2} - \frac{-\frac{1}{2}Fa}{0,1175a^4}\left(-\frac{a}{2}\right)\\
&= (-1,667 - 1,495 - 2,128)\frac{F}{a^2} = \mathbf{-5,289\frac{F}{a^2}}
\end{aligned}
$$

Schubspannung

$$
\begin{aligned}
\tau_A &= \frac{QS_y}{I_y b} + \frac{M_T}{W_T} = -\frac{\frac{1}{5}F\cdot 0,17525a^3}{0,3345a^4\cdot 2\frac{1}{10}a} + \frac{2Fa}{0,4a^3}\\
&= (-0,5239+5)\frac{F}{a^2} = \mathbf{4,4761\frac{F}{a^2}}
\end{aligned}
$$

Darstellung $[F/a^2]$

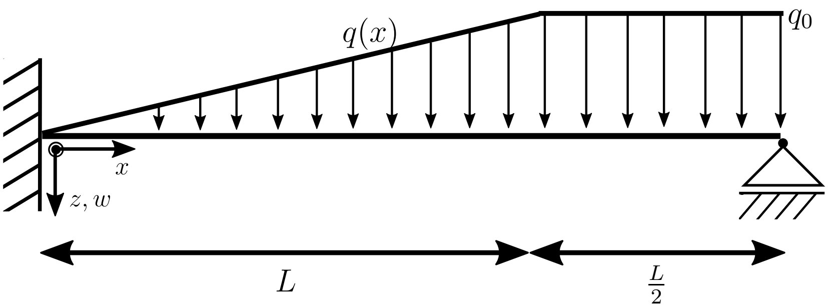


c) Verdrehung

$$
\begin{aligned}
I_T &= \frac{4A_m^2}{\oint \frac{1}{t}\,\mathrm{d}s} = \frac{4(2a^2)^2}{2(2a+a)\frac{1}{t}} = \frac{16a^4}{60} = \frac{4}{15}a^4\\
\vartheta &= \frac{M_T L}{GI_T} = \frac{2F_a\cdot 20a}{G\frac{4}{15}a^4} = 150\frac{F}{Ga^2}
\end{aligned}
$$

3. Aufgabe: (ca. 16 % der Gesamtpunkte)

Aufgabe 3.1
Der dargestellte Balken ($EI = konst.$) der Länge $\frac{3}{2}L$ wird durch eine Streckenlast $q(x)$ belastet.



a) Bestimmen Sie den Grad der statischen Unbestimmtheit des Systems.

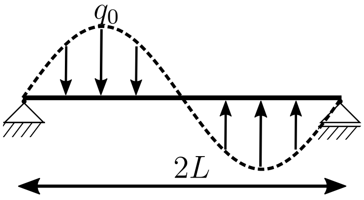
b) Bestimmen Sie den Verlauf der Streckenlast $q(x)$.

c) Geben Sie die Biegeliniendifferentialgleichung für den gesamten Balken an. Führen Sie im Anschluss die Integration der Differentialgleichung durch. Wie viele Rand- und Übergangsbedingungen werden zur Bestimmung aller Konstanten benötigt? Nutzen Sie das dargestellte Koordinatensystem.
Hinweis: Die Konstanten müssen nicht bestimmt werden.

d) Geben Sie alle benötigten Rand- und Übergangsbedingungen an, die benötigt werden um die Differentialgleichung zu lösen.

Gegeben: L, q_0, $EI =$ konst.

Aufgabe 3.2
Ein Balken wird durch eine sinusförmige Streckenlast belastet. Kreuzen Sie den daraus resultierenden Momentenverlauf an.



☐ $M(x) = \frac{L^2}{4\pi^2} q_0 \sin\left(\frac{2\pi x}{L}\right)$

☐ $M(x) = \frac{L^2}{\pi^2} q_0 \cos\left(\frac{2\pi x}{L}\right)$

☐ $M(x) = \frac{L^2}{\pi^2} q_0 \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right)$

3. Aufgabe: Lösung

Aufgabe 3.1

a) System ist 1-fach stat. unbestimmt

---

b)

$$q(x) = \begin{cases} q_0 \frac{x}{L} 0 \leq x \leq L & \text{(Bereich I)} \\ q_0 L < x \leq \frac{3}{2}L & \text{(Bereich II)} \end{cases}$$

---

c)

Bereich I:

$$\begin{aligned}
EIw^{IV} &= \frac{q_0 x}{L} \\
EIw^{III} &= \frac{q_0 x^2}{2L} + c_1 \\
EIw^{II} &= \frac{q_0 x^3}{6L} + c_1 x + c_2 \\
EIw^{I} &= \frac{q_0 x^4}{24L} + c_1 \frac{x^2}{2} + c_2 x + c_3 \\
EIw &= \frac{q_0 x^5}{120L} + c_1 \frac{x^3}{6} + c_2 \frac{x^2}{2} + c_3 x + c_4
\end{aligned}$$

Bereich II:

$$\begin{aligned}
EIw^{IV} &= q_0 \\
EIw^{III} &= q_0 x + \tilde{c}_1 \\
EIw^{II} &= q_0 \frac{x^2}{2} + \tilde{c}_1 x + \tilde{c}_2 \\
EIw^{I} &= q_0 \frac{x^3}{6} + \tilde{c}_1 \frac{x^2}{2} + \tilde{c}_2 x + \tilde{c}_3 \\
EIw &= q_0 \frac{x^4}{24} + \tilde{c}_1 \frac{x^3}{6} + \tilde{c}_2 \frac{x^2}{2} + \tilde{c}_3 x + \tilde{c}_4
\end{aligned}$$

$\Rightarrow$ 8 Rand- und Übergangsbedingungen notwendig!

---

d)

$\Rightarrow$ Geometrische Randbedingungen:

$$w_I(x=0)=0 \qquad w_{II}(x=\frac{3}{2}L)=0$$
$$w_I{}'(x=0)=0$$

$\Rightarrow$ Geometrische Übergangsbedingungen:

$$w_I(x=L)=w_{II}(x=L)$$
$$w_I'(x=L)=w_{II}'(x=L)$$

$\Rightarrow$ Statische Randbedingungen:

$$EIw_{II}''(x=\frac{3}{2}L)=0$$

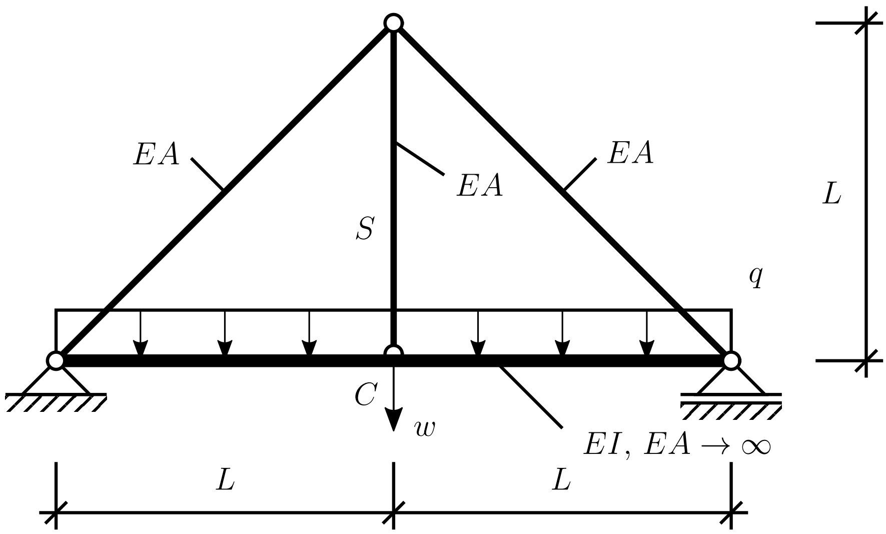
$\Rightarrow$ Statische Übergangsbedingungen:

$$EIw_I''(x=L)=EIw_{II}''(x=L)$$
$$EIw_I'''(x=L)=EIw_{II}'''(x=L)$$

Aufgabe 3.2

$$M(x)=\frac{L^2}{\pi^2}q_0\sin\left(\frac{\pi x}{L}\right)$$

4. Aufgabe: (ca. 30 % der Gesamtpunkte)



Das dargestellte System besteht aus einem Balken (Biegesteifigkeit EI, Dehnsteifigkeit $EA \to \infty$) und Stäben (Dehnsteifigkeit EA) und wird durch eine konstante Streckenlast q belastet. Unbelastet ist das System spannungsfrei. Bearbeiten Sie unter Verwendung des Prinzips der virtuellen Kräfte (PdvK) folgende Aufgabenteile:

a) Ermitteln Sie die erforderliche Dehnsteifigkeit EA damit die Normalkraft N im Stab S die Größe qL hat.

b) Wie groß ist die Absenkung w des Punktes C in diesem Fall?

Gegeben: q, L, EI

Hinweis: Eine Koppeltafel finden Sie auf der nächsten Seite.

4. Aufgabe: Lösung

a)

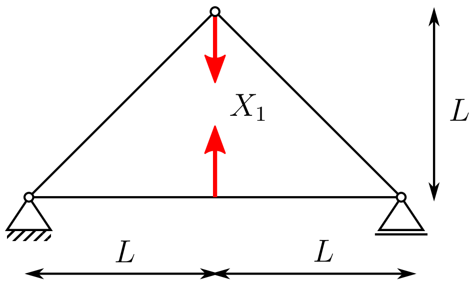
Statische Bestimmtheit

$$\left.\begin{aligned} k &= 4 \text{ Körper} \\ a &= 3 \text{ Lagerreaktionen} \\ g &= 10 \text{ Gelenkkräfte} \end{aligned}\right\} \Rightarrow n = 3 + 10 - 3 \cdot 4 = 1$$

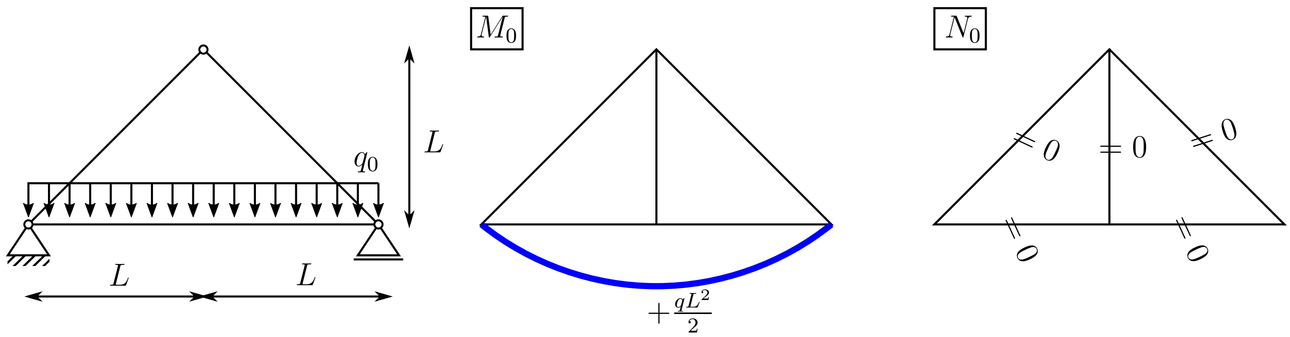
$\Rightarrow$ System ist 1-fach stat. unbest.

Stat. best. GS

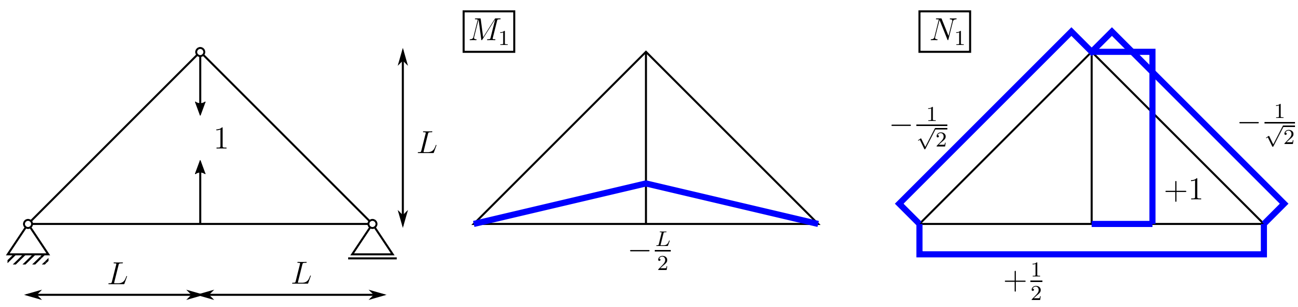
Wahl S=X_1 als stat. Unbestimmte



0-System



1-System



Kompatibiliät

$$\alpha_{10} = -\frac{1}{EI}\frac{5}{12}\frac{qL^2}{2}\frac{L}{2}2L = -\frac{5qL^4}{24EI}$$

$$\alpha_{11} = \frac{1}{EI}\frac{1}{3}\frac{L}{2}\frac{L}{2}2L + \frac{1}{EA}\left(1 \cdot 1 \cdot L + 2\frac{1}{\sqrt{2}}\frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{2}L\right) = \frac{L^3}{6EI} + (1+\sqrt{2})\frac{L}{EA}$$

$$X_1 = -\frac{\alpha_{10}}{\alpha_{11}} = \frac{\frac{5qL^4}{24EI}}{\frac{L^3}{6EI} + (1+\sqrt{2})\frac{L}{EA}} = \frac{5qL}{4 + (1+\sqrt{2})\frac{24EI}{EA \cdot L^2}}$$

laut Aufgabenstellung $X_1 \stackrel{!}{=} qL$

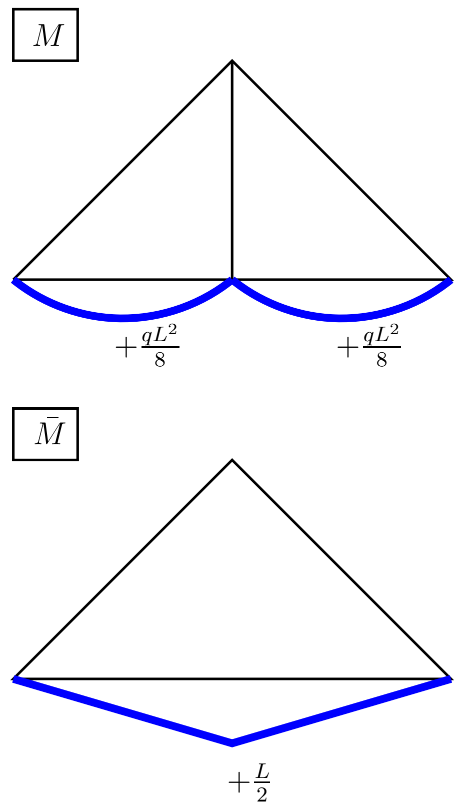
$$\Leftrightarrow \frac{5qL}{4 + (1+\sqrt{2})\frac{24EI}{EA \cdot L^2}} = qL \quad \Leftrightarrow \quad 1 = (1+\sqrt{2})\frac{24EI}{EA \cdot L^2}$$

$$\Leftrightarrow EA = \underline{\underline{24(1+\sqrt{2})\frac{EI}{L^2}}}$$

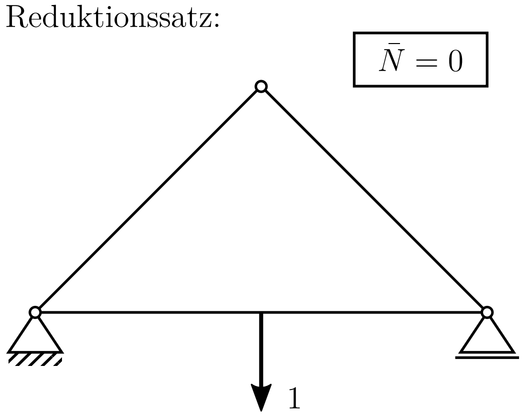
b)

Durchbiegung w

Superposition: $M = M_0 + X_1 M_1$



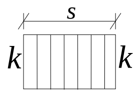
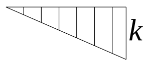
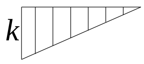
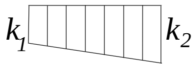
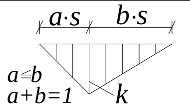
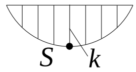
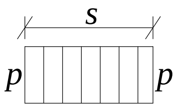
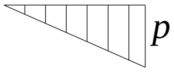
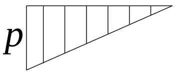
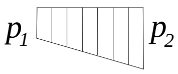
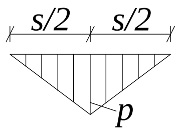
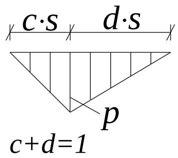
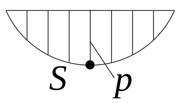
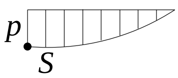
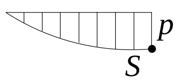
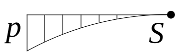
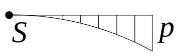
Reduktionssatz:



Durchbiegung:

$$w = \frac{1}{EI}2 \cdot \frac{1}{3}\frac{qL^2}{8} \cdot \frac{L}{2} \cdot L = \frac{qL^4}{24EI}$$

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

K(x) / P(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 $c\geq a$	$\frac{pk}{3}(1+cd)s$
	$\frac{2}{3}pks$	$\frac{1}{3}pks$	$\frac{1}{3}pks$	$\frac{p}{3}(k_1+k_2)s$	$\frac{pk}{3}(1+ab)s$	$\frac{8}{15}pks$
	$\frac{2}{3}pks$	$\frac{1}{4}pks$	$\frac{5}{12}pks$	$\frac{p}{12}(5k_1+3k_2)s$	$\frac{pk}{12}(5-a-a^2)s$	$\frac{7}{15}pks$
	$\frac{2}{3}pks$	$\frac{5}{12}pks$	$\frac{1}{4}pks$	$\frac{p}{12}(3k_1+5k_2)s$	$\frac{pk}{12}(5-b-b^2)s$	$\frac{7}{15}pks$
	$\frac{1}{3}pks$	$\frac{1}{12}pks$	$\frac{1}{4}pks$	$\frac{p}{12}(3k_1+k_2)s$	$\frac{pk}{12}(1+b+b^2)s$	$\frac{1}{5}pks$
	$\frac{1}{3}pks$	$\frac{1}{4}pks$	$\frac{1}{12}pks$	$\frac{p}{12}(k_1+3k_2)s$	$\frac{pk}{12}(1+a+a^2)s$	$\frac{1}{5}pks$

$S \stackrel{\wedge}{=}$ Scheitel einer quadratischen Parabel

Klausur
Festigkeitslehre
am 18. August 2020

Lösungsvorlage

Name: .... Vorname: ....

Matr.-Nr: .... Studiengang: ....