

Statik

Lösung anstreichen!

Ruhe = Gleichgewichtszustand

Summe aller einwirkenden Kräfte = 0

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \dots \vec{F}_n$$

Summe aller einwirkenden Momente = 0

$$\vec{M}_R = \vec{M}_1 + \vec{M}_2 \dots \vec{M}_n$$

$$F = m \cdot a \quad \vec{F}_{A \rightarrow B} = -\vec{F}_{B \rightarrow A}$$

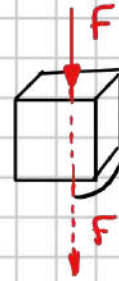
$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2 = 0$$

$$N = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ N}$$

Angriffspunkt

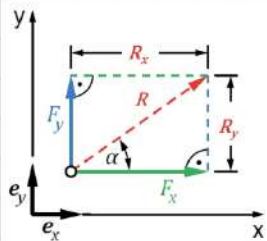
Richtung

Betrag



Wirkungslinie

Kraft darf verschoben werden!



$$F_x = R \cdot \cos(\alpha)$$

$$F_y = R \cdot \sin(\alpha)$$

Im rechtwinkligen Dreieck werden folgende trigonometrische Funktionen definiert:

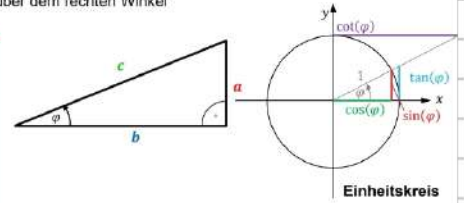
Gegenkathete a → gegenüber von φ
Ankathete b → an φ angelegt
Hypotenuse c → gegenüber dem rechten Winkel

$$\sin(\varphi) = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{a}{c}$$

$$\cos(\varphi) = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{b}{c}$$

$$\tan(\varphi) = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}} = \frac{a}{b}$$

$$\cot(\varphi) = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}} = \frac{b}{a}$$



Summe von R_x + Summe von R_y $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$ Grösse der Resultierenden

Moment

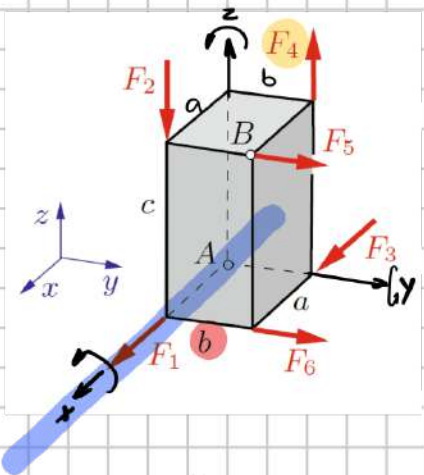
$$M = h \cdot F$$

$$M_R^x = F_4 \cdot b - F_5 \cdot c$$

$$M_R^y = F_2 \cdot a$$

$$M_R^z = F_5 \cdot a + F_6 \cdot a - F_3 \cdot b$$

Einheitsvektoren $\vec{e}_i = \frac{1}{|\vec{e}_i|} \cdot \vec{e}_i$

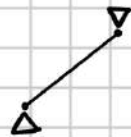


Seil, Kette und andere flexible Bauteile

Nur Zugkräfte, weg vom Angriffspunkt

Zweigelenkstab

Zug & Druckkräfte



$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \vec{e} = \frac{1}{|\vec{r}_1|} \cdot \vec{r}_1 = \frac{1}{\sqrt{26}} \begin{bmatrix} -5 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-5 \cdot \sqrt{26}}{\sqrt{26}} \\ \frac{\sqrt{26}}{\sqrt{26}} \\ 0 \end{bmatrix}$$

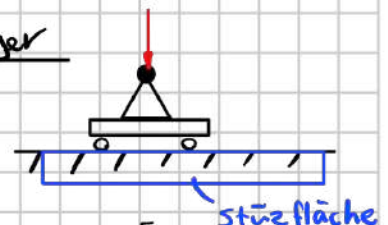
$$\vec{r}_1 = \begin{bmatrix} -5 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad |\vec{r}_1| = \sqrt{(-5)^2 + 1^2 + 0^2} = \sqrt{26}$$

$$x = A \setminus b;$$

$$x = \text{sym}(x);$$

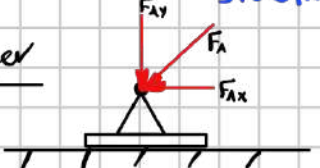
Einwertiges Lager

nur Rechtwinklig zur Stützfläche



Zweiwertiges Lager

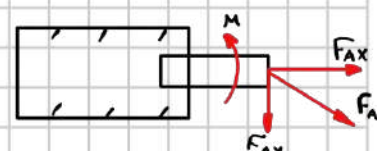
Beliebige Kräfte zur Stützfläche



Dreiwertiges Lager

Beliebige Kräfte

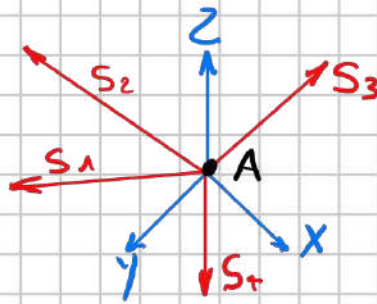
$F_{Ax}, F_{Ay}, M^{(A)}$



Zentrale Kräftegruppe

1. Freischneiden
2. Kraftvektoren

$$\vec{S}_1 = \begin{bmatrix} 2a \\ -3a \\ a \end{bmatrix}, S_2 \dots$$



3. Beträge ausrechnen

$$|\vec{S}_1| = \sqrt{(2a)^2 + (-3a)^2 + (1a)^2} = \sqrt{14}a$$

⋮

4. Einheitsvektoren $\vec{e}_1 = \frac{1}{|\vec{S}_1|} \cdot \vec{S}_1$

$$\vec{e}_1 = \frac{1}{\sqrt{14}a} \cdot \begin{bmatrix} 2a \\ -3a \\ a \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{14}} \cdot \begin{pmatrix} 2 \\ -3 \\ 1 \end{pmatrix}$$

5. Kraftvektoren

$$\vec{S}_1 = S_1 \cdot \frac{1}{\sqrt{14}} \cdot \begin{pmatrix} 2 \\ -3 \\ 1 \end{pmatrix}$$

⋮

6. Berechnen der Kraftvektoren

$$\sum F = 0 : \vec{S}_1 + \vec{S}_2 + \vec{S}_3 + \vec{S}_4 = 0$$

$$S_1 \cdot \frac{2}{\sqrt{14}} + S_2 \cdot \frac{-3}{\sqrt{14}} + S_3 \cdot \frac{1}{3} + S_4 \cdot 0 = 0$$

$$S_1 \cdot \frac{-2}{\sqrt{14}} + S_2 \cdot \frac{-3}{\sqrt{14}} + S_3 \cdot \frac{1}{3} + S_4 \cdot 0 = 0$$

$$S_1 \cdot \frac{-2}{\sqrt{14}} + S_2 \cdot \frac{2}{\sqrt{14}} + S_3 \cdot \frac{1}{3} + S_4 \cdot m \cdot g = 0$$

$$7. \text{ Gleichungssystem lösen } A = \left[\frac{2}{\sqrt{14}}, \frac{-3}{\sqrt{14}}, \frac{1}{3}, \dots \right]$$

$$b = [0, 0, -m \cdot g]$$

$$x = A \setminus b;$$

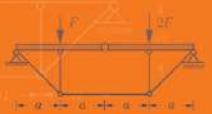
$$x = \text{sym}(x)$$

$$x = \text{simplify}(x)$$

Formeln und Aufgaben zur Technischen Mechanik 1

Statik

13. Auflage



Springer Vieweg

When in doubt →

$$S_1 \cdot \frac{1}{\sqrt{34}} \cdot \begin{bmatrix} -5 \\ 0 \\ -3 \end{bmatrix} + S_2 \cdot \frac{1}{\sqrt{26}} \cdot \begin{bmatrix} -5 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} + S_3 \cdot \frac{1}{\sqrt{26}} \cdot \begin{bmatrix} -5 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2 \\ 1 \\ 3 \end{bmatrix} N = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$(1) -S_1 \cdot \frac{1}{\sqrt{34}} \cdot 5 - S_2 \cdot \frac{1}{\sqrt{26}} \cdot 5 - S_3 \cdot \frac{1}{\sqrt{26}} \cdot 5 - 2 N = 0$$

$$(2) -S_2 \cdot \frac{1}{\sqrt{26}} \cdot 1 + S_3 \cdot \frac{1}{\sqrt{26}} \cdot 1 + 1 N = 0$$

$$(3) -S_1 \cdot \frac{1}{\sqrt{34}} \cdot 3 + 3 N = 0$$

Fachwerk

$$\text{Ebene: } f = 2k - (s + r) = 0$$

$$\text{Raum: } f = 3k - (s + r) = 0$$

2 = Gleichgewichtsbedingungen pro Knoten

k = Anz. Knoten

s = Anz. Stöbe

r = Anz. Lagerreaktionen

$$S = 2k - r \quad \text{bestimmt}$$

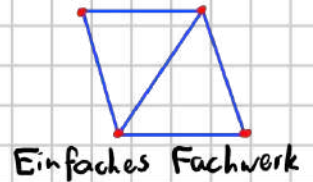
$$S > 2k - r \quad \text{unbestimmt}$$

$$S < 2k - r \quad \text{nicht tragfähig}$$

$f > 0$ nicht erfüllt

$f = 0$ bestimmt

$f < 0$ unterbestimmt

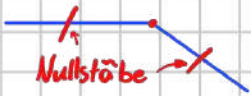


Antwortsatz aufschreiben!

Nullstäbe

Das Fachwerk wurde nach den ersten Bildungsregeln erstellt.

- Unbelasteter Knoten
- Stöbe nicht gleiche Richtung
- beides Nullstöbe



- Belasteter Knoten
- Kraft greift in Richtung Stab
- anderer Stab Nullstab

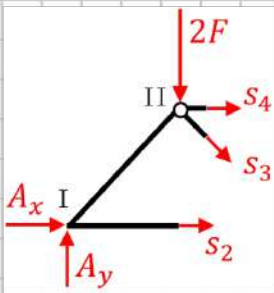


- Unbelasteter Knoten
- Zwei gleiche Richtung
- dritter Nullstab



+ Zugstab

- Druckstab



Vorbereitung:

1. Prüfen auf statische und kinematische Bestimmtheit, sofern dies in der Aufgabenstellung nicht vorausgesetzt ist $\rightarrow f = 2k - (s + r) = 0$ oder $2k = s + r$
2. Alle Stöbe, Knoten und Winkel durchnummerieren (Stöbe: arabisch, Knoten: römisch, Winkel: griechisch)
3. Geeignetes x, y - Koordinatensystem wählen (falls keines vorgegeben ist)
4. Nullstäbe bestimmen und eliminieren
5. Lagerkräfte bestimmen (Freischneiden des Fachwerks)
6. Winkel berechnen

Eigentliches Knotenpunktverfahren:

7. Alle Knoten Freischneiden
8. Stabkräfte einzeichnen (immer **positiv** angenommen als Zugkräfte $\rightarrow$ vom Knoten weg)
9. Gleichgewichtsbedingung für jeden Knoten aufstellen und Stabkräfte bestimmen (Achtung: Aktiv = Reaktiv) $\rightarrow$ Starten mit einem Knoten mit maximal zwei (bzw. für räumliche Fachwerke drei) **unbekannten Stabkräften**
10. Zusammenfassen aller Stabkräfte in einer Stabkrafttabelle

Ritterschnitt

Vorbereitung:

1. Prüfen auf statische und kinematische Bestimmtheit, sofern dies in der Aufgabenstellung nicht vorausgesetzt ist $\rightarrow 2k = s + r$
2. Auflagerkräfte bestimmen (Freischneiden des Fachwerks)

Eigentliches Rittersches Schnittverfahren

3. Zerlegen des Fachwerks durch einen gedachten Schnitt in zwei Teile.
Anforderung an Schnitt:
 $\rightarrow$ Stab mit der zu untersuchenden Stabkraft muss enthalten sein
Möglicher Schnitt:
 $\rightarrow$ Durch maximal 3 Stöbe, die nicht alle zum selben Knoten gehören dürfen
 $\rightarrow$ Durch einen Stab und ein Gelenk
3. Anwenden der drei Gleichgewichtsbedingungen auf einen der beiden Teilkörper $\rightarrow$ gesuchte Stabkräfte berechnen.
Merke: Möglichst Momentengleichungen um die Knoten von je zwei Stabkräften verwenden $\rightarrow$ Stabkräfte gehen nicht in die entsprechenden Momentengleichungen ein, und wir erhalten damit jeweils eine Gleichung für eine Stabkraft.

Freischneiden

Kräfte einzeichnen

$M_{(i)}$ berechnen

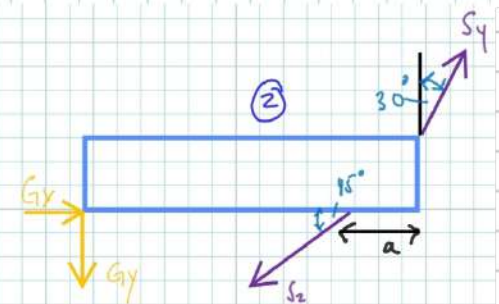
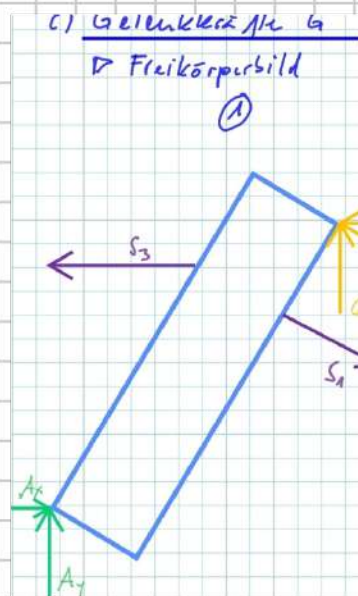
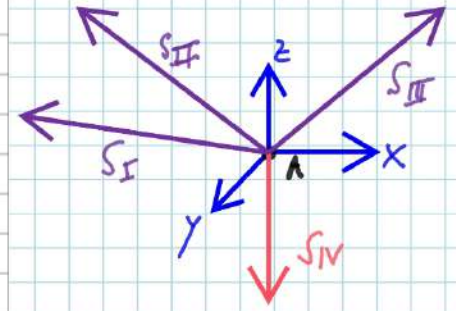
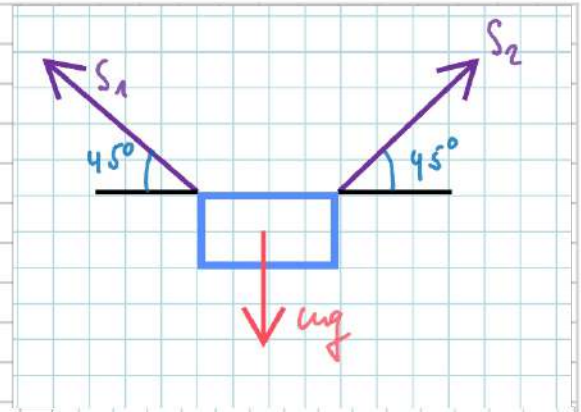
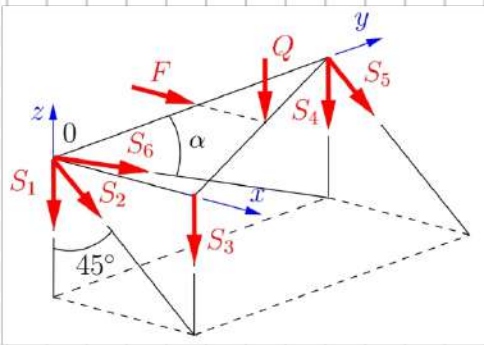
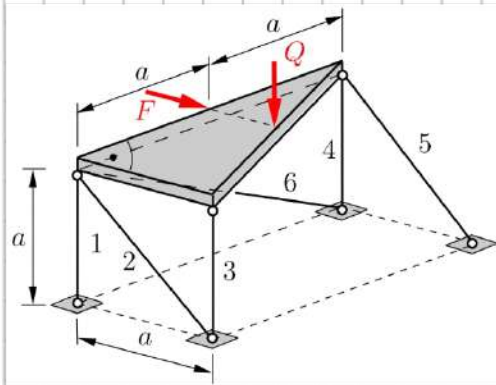
$\Sigma F_x / \Sigma F_y$

Freischneiden

Nur das was wichtig ist

Koordinatensystem

Alle Kräfte



Gleichgewichtsbedingungen aufstellen

$$\sum F_x = 0$$

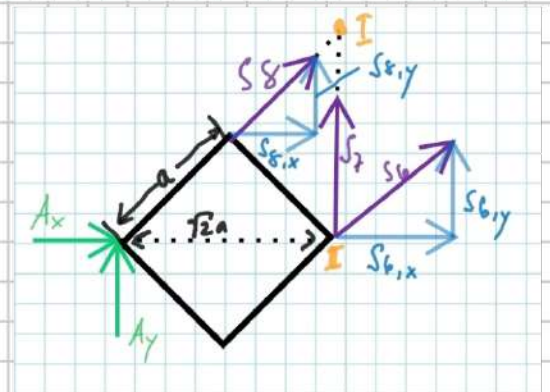
$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M_{(1)} = 0$$

Unbekannte auflösen

Lösung markieren!

$$S_8 = -0.6198 \cdot m \cdot g$$



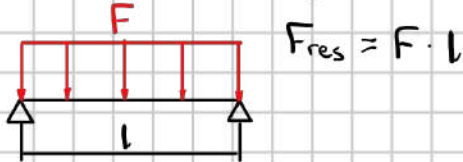
Schnittgrößen

Normalkraft N Zug/Druckspannungen

Querkraft Q Schubspannungen

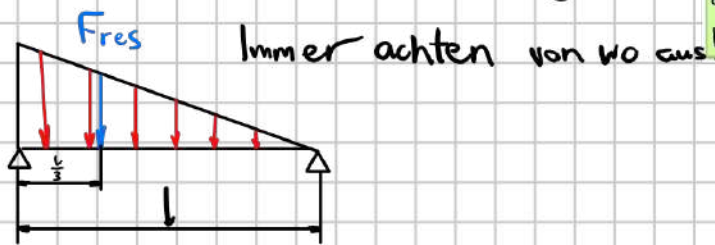
Biegemoment M

Linienverteilte Kraft



Laufvariable immer von Links nach Rechts!

Stäbe und seile immer auf Zug



Differentialgleichung

Gleichungen für die Schnittgrößen des Balkens

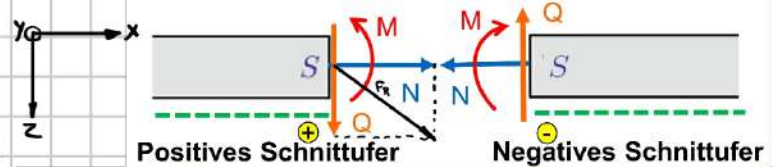
$$Q = - \int q \, dx + C_1$$

$$M = \int Q \, dx + C_2$$

Belastung	Symbol	Querkraft	Biegemoment
Einzelkraft			
Einzelmoment (Kraftpaar)			
Streckenlast $q(x) = 0$			
Streckenlast $q(x) = \text{konstant}$			

Belastung	Symbol	Querkraft	Biegemoment
Streckenlast $q(x) = \text{linear}$			
Streckenlast $q(x)$ mit Sprung			
Drehgelenk mit Einzelkraft			
Drehgelenk mit $q(x) = 0$			
Drehgelenk mit $q(x) = \text{konstant}$			
Querkraftgelenk mit $q(x) = 0$			
Querkraftgelenk mit $q(x) = \text{konstant}$			

Reibungskräfte
Querkräfte
Biegemomente
Torsionsmomente

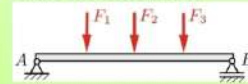


1. Festlegung des globalen Koordinatensystems, sofern dies nicht bereits vorgegeben ist.
2. Bestimmung der Auflagerreaktionen am gesamten Balken. Hier erfolgt die Betrachtung am freigeschnittenen Balken unter Berücksichtigung aller von außen wirkenden Kräfte.
3. Zerlegung (Schnitte) des Balkens in Bereiche, in denen ein **Belastungswechsel (Unstetigkeiten)** durch äußere Kräfte und Momente auftritt. Belastungswechsel können durch statische oder geometrische Unstetigkeiten hervorgerufen werden.

Statische Unstetigkeiten

→ Einzellasten

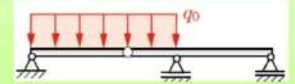
→ Knicke in Streckenlasten



Geometrische Unstetigkeit

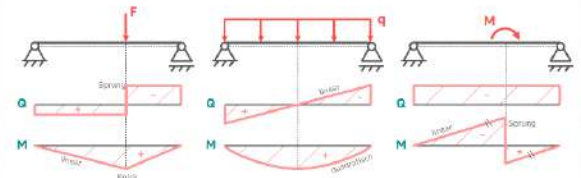
→ Knicke der Balkenachse

→ Verbindungselemente

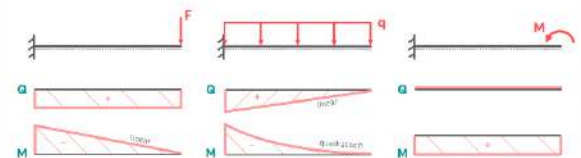


4. Einzeichnen aller Schnittgrößen am positiven (linken) und/oder negativen (rechten) Schnittufer.
5. Schnittbereiche bestimmen → Laufvariable x einführen.
6. Aufstellen der Gleichgewichtsbedingungen für den jeweiligen Teilbalken. Hierzu stehen in der Ebene die horizontale und vertikale Gleichgewichtsbedingung sowie die Momentengleichgewichtsbedingung zur Verfügung.
7. Bestimmung der Schnittgrößen aus den Gleichgewichtsbedingungen.
8. Zur Visualisierung folgt eine Übertragung der Normalkraft, Querkraft und des Biegemoments in ein Diagramm, um die Lage der höchst beanspruchten Querschnitte zu ermitteln.

Fest-Los-gelagerter Balken



Eingespannter Balken

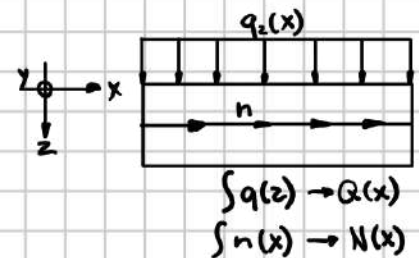


Normalkraft

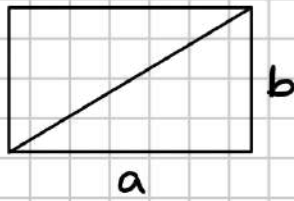
$$-n = \frac{dN}{dx} = N'$$

$$-q = \frac{dQ}{dx} = Q'$$

$$\frac{dM}{dx} = M' = Q$$



Fall	Bezeichnung	Symbol	N	Q	M
1.	Festlager				$= 0$
2.	Loslager		$= 0$		$= 0$
3.	Einspannung				
4.	Parallelführung			$= 0$	
5.	Schiebehülse		$= 0$		
6.	freies Ende		$= 0$	$= 0$	$= 0$



$$A = \frac{a \cdot b}{b}$$

$$F_{res} = \frac{l \cdot q_0}{2}$$

$$\sum F_x = 0 = A_x \quad A_x = 0$$

$$\sum M_{(A)}^{\uparrow} = B \cdot l - F_{res} \cdot \frac{2}{3}l \rightarrow B = \frac{2}{3} F_{res}$$

$$\sum F_y = 0 = A_y + B - F_{res} \rightarrow A_y = F_{res} - B$$



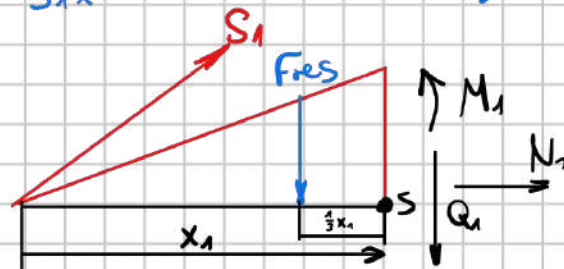
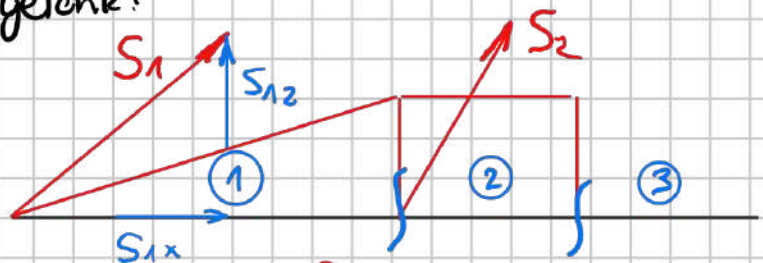
Bsp. $l = 6a$

$$F_{res} = \frac{6a \cdot q_0}{2} = 3a \cdot q_0$$

$$M_{(A)}^{\uparrow} = -\frac{2}{3} \cdot 6a \cdot \cancel{3a} \cdot q_0 = -12a^2 \cdot q_0$$

Moment von Querkraft

- Freischneiden
- Zerlegen in Bereiche an
- Punkten, wo Lastwechsel oder Gelenk!
- Schnittufer bestimmen
- Laufvariable und Bereich einführen
- Gleichgewichtsbedingungen aufstellen für jeweiligen Bereich



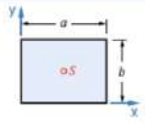
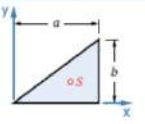
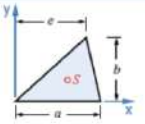
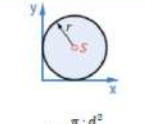
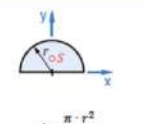
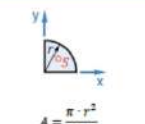
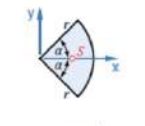
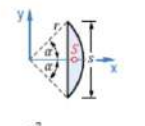
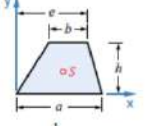
Bereich 1: $0 \leq x_1 \leq 6a$

Schwerpunkte

Vorgehensweise

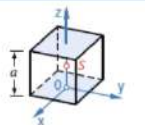
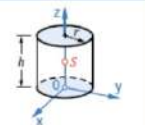
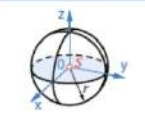
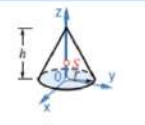
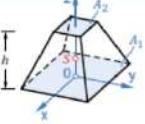
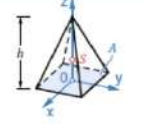
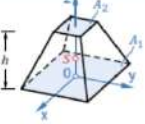
- Orientierung des Koordinatensystems festlegen.
- Identifizierung der zusammengesetzten Einzelkörper.
- Bestimmung der Schwerpunktkoordinaten für die Einzelkörper mithilfe der Formelsammlung ▶ Tab. 5-1.
- Bestimmung der Volumina für die Einzelkörper mithilfe der Formelsammlung.
- Körper mit Material erhalten ein positives Vorzeichen.
- Ausschnitte, wie z. B. Bohrungen, besitzen ein "negatives Volumen" und erhalten somit ein negatives (-) Vorzeichen.
- Bei symmetrischen Körpern liegt der Schwerpunkt auf der Symmetrieebene/-achse.
- Besitzt ein Körper mehrere Symmetrieebenen, so liegt der Schwerpunkt im Schnittpunkt der Symmetrieebenen.

Tab. 5-1 Formelsammlung Schwerpunkte

Viereck	Rechtwinkliges Dreieck	Allgemeines Dreieck
		
$A = a \cdot b$ $x_S = \frac{a}{2}$ $y_S = \frac{b}{2}$	$A = \frac{a \cdot b}{2}$ $x_S = \frac{2 \cdot a}{3}$ $y_S = \frac{b}{3}$	$A = \frac{a \cdot b}{2}$ $x_S = \frac{a}{3}$ $y_S = \frac{b}{3}$
Kreis	Halbkreis	Viertelkreis
		
$A = \pi \cdot r^2$ $x_S = r$ $y_S = r$	$A = \frac{\pi \cdot r^2}{2}$ $x_S = 0$ $y_S = \frac{4 \cdot r}{3 \cdot \pi}$	$A = \frac{\pi \cdot r^2}{4}$ $x_S = \frac{4 \cdot r}{3 \cdot \pi}$ $y_S = \frac{4 \cdot r}{3 \cdot \pi}$
Kreisausschnitt	Kreisabschnitt	Trapez
		
$A = \alpha \cdot r^2$ $x_S = \frac{2 \cdot r \cdot \sin \alpha}{3 \cdot \alpha}$ $y_S = 0$	$A = \frac{r^2}{2} \cdot (2\alpha - \sin 2\alpha)$ $x_S = \frac{4 \cdot r \cdot \sin^3 \alpha}{12 \cdot A} = \frac{4 \cdot r \cdot \sin^3 \alpha}{3 \cdot (2\alpha - \sin 2\alpha)}$ $y_S = 0$	$A = \frac{h}{2} \cdot (a + b)$ $x_S = \frac{a^2 - b^2 + e \cdot (a + 2 \cdot b)}{3 \cdot (a + b)}$ $y_S = \frac{h}{3} \cdot \frac{a + 2b}{a + b}$

Hinweis

Sollen die hier aufgeführten Körper bzw. Flächen als Ausschnitte verwendet werden, so ist das Volumen bzw. die Flächeninhalt mit einem negativen Vorzeichen zu verwenden.

Quader	Zylinder
	
$A = a^2$ $x_S = 0, y_S = 0$ $z_S = \frac{a}{2}$	$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$ $x_S = 0, y_S = 0$ $z_S = \frac{h}{2}$
Kugel	Kegel
	
$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$ $x_S = 0, y_S = 0$ $z_S = 0$	$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h$ $x_S = 0, y_S = 0$ $z_S = \frac{h}{4}$
Halbkugel	Kegelstumpf
	
$V = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot r^3$ $x_S = 0, y_S = 0$ $z_S = \frac{3}{8} \cdot r$	$V = \frac{\pi \cdot h}{12} \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2)$ $x_S = 0, y_S = 0$ $z_S = \frac{h}{4} \cdot \frac{R^2 + 2 \cdot R \cdot r + 3 \cdot r^2}{R^2 + R \cdot r + r^2}$
Pyramide	Pyramidenstumpf
	
$V = \frac{1}{3} \cdot A \cdot h$ $x_S = 0, y_S = 0$ $z_S = \frac{h}{4}$	$V = \frac{\pi \cdot h}{12} \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2)$ $x_S = 0, y_S = 0$ $z_S = \frac{h}{4} \cdot \frac{A_1 + 2 \cdot \sqrt{A_1 A_2} + 3 \cdot A_2}{A_1 + \sqrt{A_1 A_2} + A_2}$

Schwerpunkt der Gewichtskraft

$$x_S = \frac{\int x \cdot dG}{\int dG} \quad y_S = \frac{\int y \cdot dG}{\int dG} \quad z_S = \frac{\int z \cdot dG}{\int dG}$$

Massenmittelpunkt

$$x_S = \frac{\int x \cdot dm}{\int dm} \quad y_S = \frac{\int y \cdot dm}{\int dm} \quad z_S = \frac{\int z \cdot dm}{\int dm}$$

Swpt. untersch. Dichten

$$x_S = \frac{\int x \cdot \rho dV}{\int \rho dV} \quad y_S = \frac{\int y \cdot \rho dV}{\int \rho dV} \quad z_S = \frac{\int z \cdot \rho dV}{\int \rho dV}$$

Volumenmittelpunkt

$$x_S = \frac{\int x \cdot dV}{\int dV} \quad y_S = \frac{\int y \cdot dV}{\int dV} \quad z_S = \frac{\int z \cdot dV}{\int dV}$$

Massenschwerpunkt

$$x_S = \frac{\sum x_i \cdot m_i}{\sum m_i} \quad y_S = \frac{\sum y_i \cdot m_i}{\sum m_i} \quad z_S = \frac{\sum z_i \cdot m_i}{\sum m_i}$$

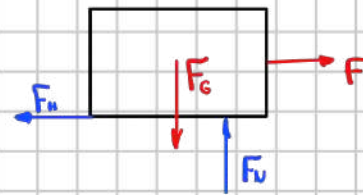
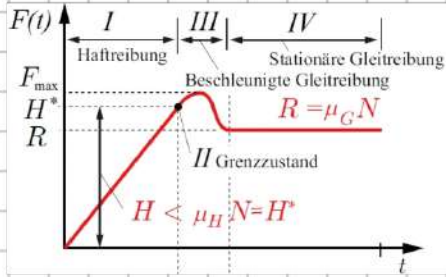
Geometrieschwerpunkt

$$x_S = \frac{\sum x_i \cdot V_i}{\sum V_i} \quad y_S = \frac{\sum y_i \cdot V_i}{\sum V_i} \quad z_S = \frac{\sum z_i \cdot V_i}{\sum V_i}$$

$$m = \rho \cdot V \quad dm = \rho \cdot dV$$

Haftung und Reibung

Gesetz von Coulomb $H^* = \mu_0 \cdot F_N$



Zustand I: Haftreibung

$$H < \mu_0 N$$

Zustand II: Grenzzustand

$$H^* = \mu_0 N$$

Zustand III: Beschleunigte Gleitreibung

$$F_{max} > H^*$$

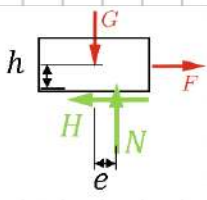
Zustand IV: Stationäre Gleitreibung

$$R = \mu N$$

Standsicherheit S_s

$$S_s = \frac{M_s}{M_k} \quad \begin{array}{l} \text{Standmoment} \\ \text{Kippmoment} \end{array}$$

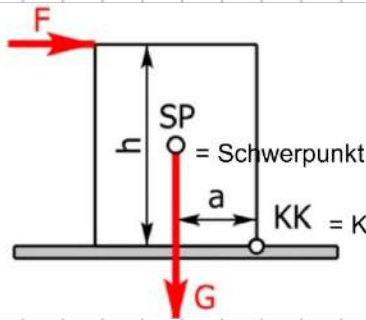
Immer mit Beträgen rechnen!



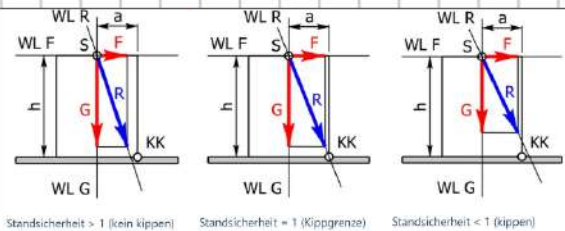
$$e = h \frac{F}{N}$$

Grenzlast $F = H_0$

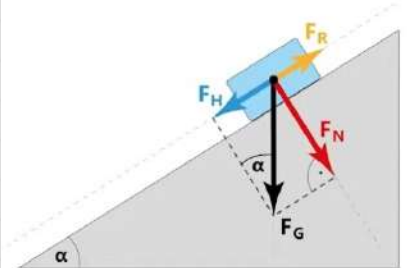
$S_s < 1$ kippen
 $S_s = 1$ Kippgrenze
 $S_s > 1$ kein Kippen



$$S_s = \frac{G \cdot a}{F \cdot h}$$



Schiefe Ebene



$$F_H = F_G \cdot \sin(\alpha)$$

$$F_N = F_G \cdot \cos(\alpha)$$

$$F_G = m \cdot g$$

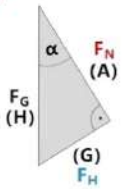
Reibungskraft

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

Kräftezerlegung

$$\vec{F}_G = \vec{F}_H + \vec{F}_N$$

sin cos tan cot
GAGA
HHAG



Seilhaftung und Seilreibung

Annahme $S_2 > S_1$

$$S_2 = S_1 \cdot e^{\mu_0 \cdot \alpha} \quad \text{wenn } S_2 > S_1$$

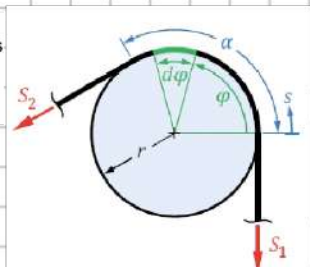
$$S_2 = S_1 \cdot e^{-\mu_0 \cdot \alpha} \quad \text{wenn } S_2 < S_1$$

- > S_1, S_2 : Seilkraft
- > α : Umschlingungswinkel → Winkel, entlang dem das Seil auf dem zylindrischen Körper anliegt (α [Rad])
- > φ : Öffnungswinkel (Laufvariable)
- > s : Länge im Bogenmaß (Laufvariable)

$$\alpha = 2\pi n \text{ [rad]}$$

$$\mu_0 = 0,3 \approx \frac{1}{\pi}$$

$$\alpha = \alpha^\circ \cdot \frac{2\pi}{360^\circ}$$



Zylindrischer Körper, um den ein Seil gewickelt ist.

Tragwerke

Ebene Tragwerke:

3 Freiheitsgrade:

2 Translation + 1 Rotation
 x, y - Richtung z - Achse

Räumliche Tragwerke:

6 Freiheitsgrade

3 Translation + 3 Rotation
 x, y, z - Richtung x, y, z - Achse

Verbindung von Tragwerken mit

Umgebung sind **Lager**

Freiheitsgrade f

durch Lager eingeschränkt,

entstehen Kräfte (**Lagerreaktionen** r)

in Ebene r n Teilkörper

im Raum v v Verbindungselemente

Statische Bestimmtheit

Ebene Tragwerke $f = 3 - r > 0$ Statisch unterbestimmt (beweglich)

Räumliche Tragwerke $f = 3 - r < 0$ Statisch überbestimmt

Mehrteilige Tragwerke $f = 3n - (r + v) = 0$
 (in der Ebene)

Ziel: Ebene Tragwerke $f = 3 - r = 0$

Ebene Tragwerke

Bezeichnung	Symbol	Freiheitsgrade	Lagerreaktionen	f	r
verschiebliches Gelenklager, Loslager, Rollenlager				2	1
festes Gelenklager, Festlager				1	2
(feste) Einspannung				0	3
längs verschiebbliche Einspannung (Schiebehülse)				1	2
quer verschiebbliche Einspannung (Parallelführung)				1	2
freies Ende				3	0
				$f + r = 3$	

Lagerreaktion

Bezeichnung	Symbol	Freiheitsgrade	Zwischenreaktionen	f	v
(Momenten-) Gelenk				1	2
Normalkraftgelenk				1	2
Querkraftgelenk				1	2
gerader Pendelstab				2	1
vollständige Verbindung				0	3
<u>Verbindungselemente</u>				$f + v = 3$	

