II.A.25

Mechanik

Grundlagen der Statik – Berechnungen und Übungen

Prof. Dr. Axel Donges

© TimSiegert-batcam/iStock

Die Statik bietet einen einfachen und klaren Einstieg in die Welt der Physik. Schülerinnen und Schüler lernen, Kräfte und ihre Wirkung auf verschiedene Objekte zu verstehen. Die Statik ist ein Teilgebiet der Ingenieurwissenschaften (z. B. Maschinenbau, Bauwesen). Im Rahmen der Statik werden mithilfe von grundlegenden Gesetzen der Physik technische Probleme gelöst und Anwendungen entwickelt, indem Kräfte an ruhenden Bauteilen analysiert werden, um sie sicher und effizient zu gestalten.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe:	Sek. II
Dauer:	13–14 Unterrichtsstunden (Minimalplan: 4)
Kompetenzen:	1. Physikalische Kenntnisse anwenden, um technische Bauteile sicher und effizient bauen zu können; 2. Kenntnisse zur Lösung von Aufgaben und Problemen nutzen; 3. Kenntnisse in verschiedenen Kontexten anwenden; 4. Einfache Formen der Mathematisierung anwenden; 5. Einfache Idealisierungen vornehmen
Thematische Bereiche:	Statik, Kräfte, Momente, Drehmoment, Hebel, Flaschenzug, Gleichgewicht, Los- und Festlager, Freimachen von Bauteilen
Medien:	Taschenrechner, Geogebra, Grafiken, Internet

Grundlagen der Statik – kurz und bündig

M 1

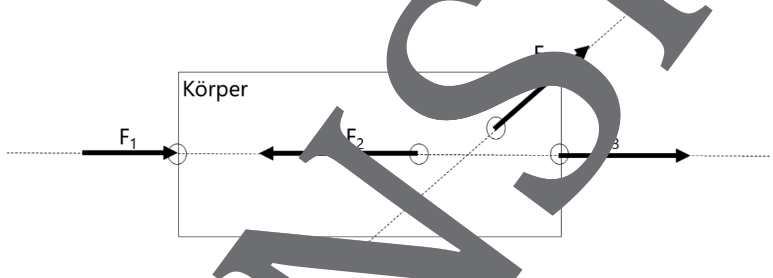
Annahmen, Definitionen und Regeln

- **Starre Körper:** Wir beschränken uns in diesem Beitrag auf **starre Körper**. Das sind idealisierte Körper, die sich durch einwirkende Kräfte nicht verformen.

- **Kräfte:** Kräfte unterscheiden sich bezüglich Richtung, Betrag, Wirkungslinie und Angriffspunkt:
  - Die Kraft ist eine **vektorielle** Größe. Das bedeutet, dass man der Kraft eine **Richtung** zuordnen kann. Wir kennzeichnen die Richtung durch einen **Pfeil**.
  - Die Kraft hat einen **Betrag**, den man über die Länge des Kraftpfeils ausdrücken kann. Wir messen die Kraft in der Einheit **Newton** (N).
  - Jede Kraft hat eine **Wirkungslinie**. Das ist die Gerade, auf der der Kraftpfeil liegt.
  - Jede Kraft hat einen **Angriffspunkt**. An diesem Punkt greift die Kraft an einem Körper an.

- **actio = reactio:** Kraft = Gegenkraft bedeutet: Wenn Körper A eine Kraft auf Körper B ausübt, übt Körper B eine gleich große, aber entgegengesetzte Kraft auf Körper A aus.

- **Lageplan:** Der **Lageplan** (siehe Beispiel) zeigt die Geometrie des Körpers und die Lage aller angreifenden Kräfte.

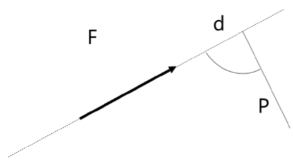


Skizze: Axel Donges

- **Ebenes Kräftesystem:** Wir betrachten in diesem Beitrag nur ebene **Kräftesysteme**, bei denen die Wirkungslinien aller Kräfte in einer Ebene (x-y-Ebene) liegen.

- **Verschiebungsaxiom der Statik:** Die Wirkung einer Kraft auf einen starren Körper ändert sich nicht, wenn die Kraft (und damit auch deren Angriffspunkt) **längs der Wirkungslinie** verschoben wird.

- **Moment einer Kraft bezüglich eines Punktes:** Das Moment M einer Kraft F bezüglich eines beliebigen Punktes P berechnet mit der Formel . Hierbei ist d der kürzeste senkrechte Abstand der Wirkungslinie vom Punkt



Skizze: Axel Donges

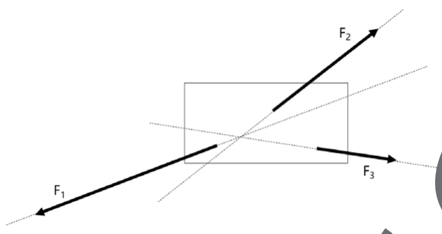
- **Gleichgewichtsbedingungen der Statik:** Ein starres statisches System ist im Gleichgewicht, wenn es sich unter Einwirkung einer Last nicht bewegt (weder translatorisch noch rotatorisch). Voraussetzung dazu ist, dass sich alle (äußeren) **Kräfte** sowie alle (äußeren) **Momente** in ihrer Wirkung aufheben:
  - Summe der Kräfte, die in x-Richtung (bzw. y-Richtung) weisen = Summe der Kräfte, die in –x-Richtung (bzw. –y-Richtung) weisen.
  - Summe der Momente, die gegen den Uhrzeigersinn drehen = Summe der Momente, die im Uhrzeigersinn drehen.

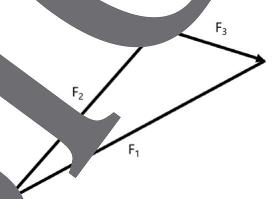
- **Gewichtskraft**: Die Gewichtskraft $m \cdot g$ (m: Masse; $g = 10\frac{N}{kg}$: Erdbeschleunigung) greift st…ts im Schwerpunkt (= Mittelpunkt bei homogenen Körpern) eines Körpers an.

- **Haftreibungskraft:** Die Haftreibungskraft verhindert das Gleiten sich berührend… Körper. Sie kann maximal den Wert $F_{H,max} = \mu_H \cdot F_N$ annehmen. F_N ist die Kraft, mit der die … Körper senkrecht zu ihren Oberflächen zusammengepresst werden.

- **Kräfteplan:** Durch Parallelverschiebung und Aneinanderreihung der (mass…lich…n) Kräfte des Lageplans ergibt sich der **Kräfteplan**. In der Statik liefert der Kr…fteplan imm… …in geschlossenes Vieleck (**Kräfteeck**).

Lageplan: Kräfteplan

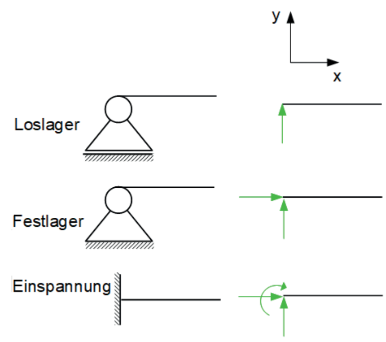




Skizzen: Axel Donges

- **Lager:** Zur Verhinderung von Bewegungsmögl…keiten nutzt man Lager, die den betrachteten Körper mit der Umgebung v…nde… … Lagern werden Kräfte und Momente auf die Umgebung übertragen. W… unterscheiden drei Arten von Lagern: **Loslager**, **Festlager** und **Einspannung**. Im Kräfteplan müss…
  – ein Loslager du… …ine Kraft
  – ein Festlager du…h zwe… …
  – eine Einspannung …rch zw…i Kr… …nd ein Moment

  (siehe Ab…ung) **ersetzt** w…den.[1] Dies wird als **Freimach…n** des K…ers bezeichn… …iese Kräfte bzw. M…ente sind …e Gegenkräft… bzw. Gegenmomente (**Lage… …ktio…en**), die der Körper auf die Lager ausübt.

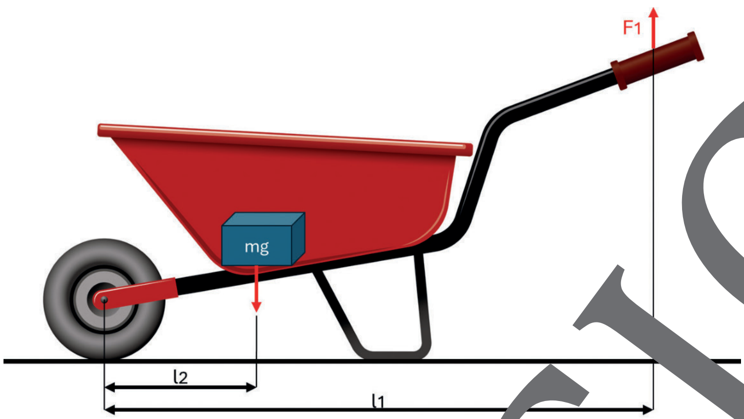


…e Abbildung: h…//www.ingenieurkurse.de/baustatik-1/kurs-baus…/auflager.htm…

1 Die Richtung der Kräfte F_x und F_y und der Drehsinn des Momentes M können beim Freimachen auch mit entgegengesetzter Richtung bzw. Drehsinn gewählt werden.

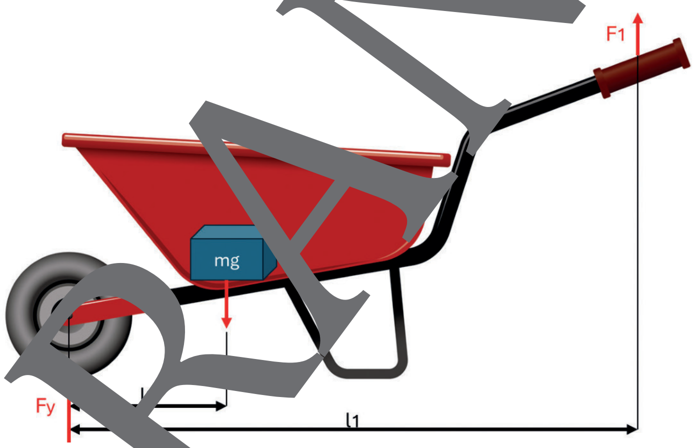
M 2 Einseitiger Hebel

Wir betrachten die skizzierte Schubkarre. Mit welcher Kraft F_1 muss man am Griff nach oben ziehen, damit die Karre im Gleichgewicht ist? Wie groß sind die Lagerkräfte im Rad? Die Gewichtskraft der Schubkarre ist $mg = 1000$ N und sie greift im Schwerpunkt an. Die relevanten Abstände sind $l_2 = 40$ cm und $l_1 = 140$ cm.



© Jobalou/DigitalVision Vectors/Getty Images, Skizze: Benjamin Streit

Wir machen zunächst die Schubkarre frei. Mit anderen Worten: Wir entfernen den Boden und tragen dafür die entsprechende Lagerkraft (F_y) in den Lageplan ein. Dabei fassen wir das Rad der Schubkarre als Loslager auf und gehen davon aus, dass wir nicht schieben (keine Kraft in horizontale Richtung).[2]



© Jobalou/DigitalVision Vectors/Getty Images, Skizze: Benjamin Streit

Nun werden die Gleichgewichtsbedingungen aufgeschrieben:

Kräfte in waagerechte Richtung: keine vorhanden

Kräfte in senkrechte Richtung: $\underbrace{F_y + F_1}_{\text{Kräfte nach oben}} = \underbrace{mg}_{\text{Kräfte nach unten}}$ (a)

Momente bez. der Radachse: $\underbrace{mg \cdot l_2}_{\text{im Uhrzeiger}} = \underbrace{F_1 \cdot l_1}_{\text{gegen den Uhrzeiger}}$ (b)

---

2 Streng genommen ist eine Schubkarre kein statisches System, da sich die Karre bei Einwirkung einer horizontalen Kraft bewegt. Dies ist hier aber nicht der Fall.

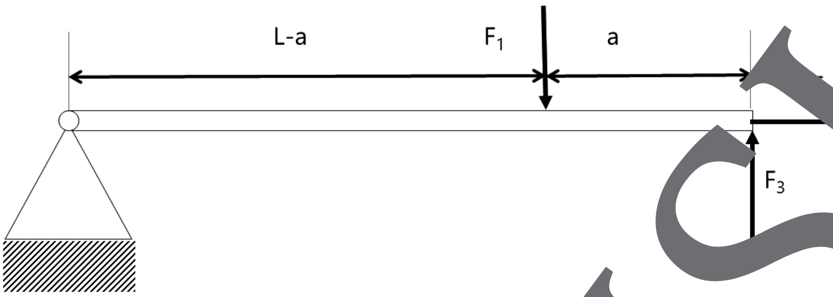
Aus (b) folgt $$F_1 = mg \cdot \frac{l_2}{l_1} = 1000\,N \cdot \frac{40\,cm}{140\,cm} = 286\,N$$

Aus (a) folgt $$F_y = mg - F_1 = 1000\,N - 286\,N = 714\,N$$

Ergebnis: Man muss eine Kraft $F_1 = 286\,N$ (= 28,6 % der Gewichtskraft) aufwenden und das Ra lager nimmt eine Kraft von $F_y = 714\,N$ (= 71,4 % der Gewichtskraft) in vertikaler Richtung auf.

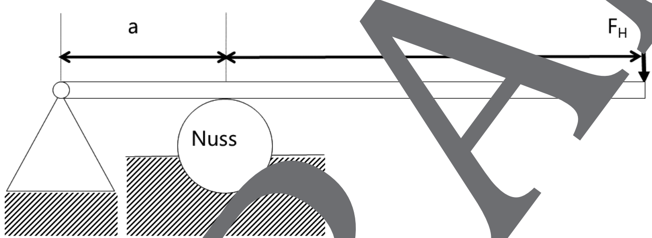
Aufgaben

1. **Berechnen** Sie für den skizzierten einseitigen masselosen Hebel die Kraft F_1, bei de in statisches Gleichgewicht vorliegt. Wie groß ist dann die Belastung des Festlagers? E gilt:
   $F_2 = 200\,N$ *und* $F_3 = 150\,N$; $L = 2\,m$ *und* $a = 0{,}5\,m$.



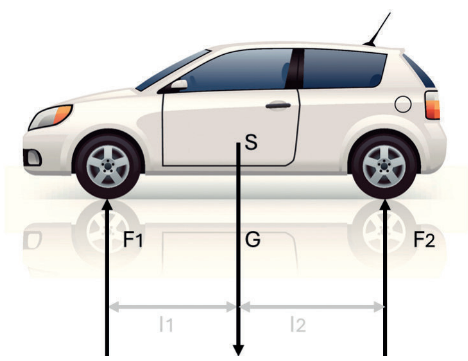
Skizze: Axel Donges

2. Mit welcher Kraft F wird die Nuss belastet, N beträgt? L = 15 cm; a = 3 cm. Der Hebel hat keine Masse.



Skizze: Axel Donges
Foto: hudiemm/E+/Getty Images

3. **Berechne** hslasten F_1 F_2 des abgebilde en (und bere eigemach en) Fahrzeugs it der Gewichtsk G = 15 kN. Es ist l = 1 m d l_2 = 2 m.

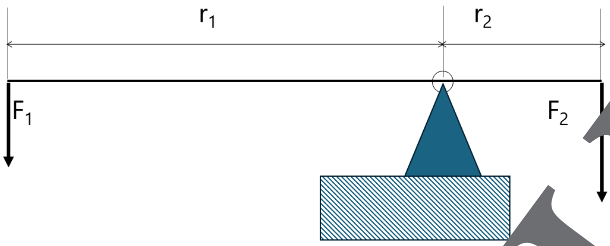


© young /DigitalVision /Getty Images, bearbeitet von Benjamin S it

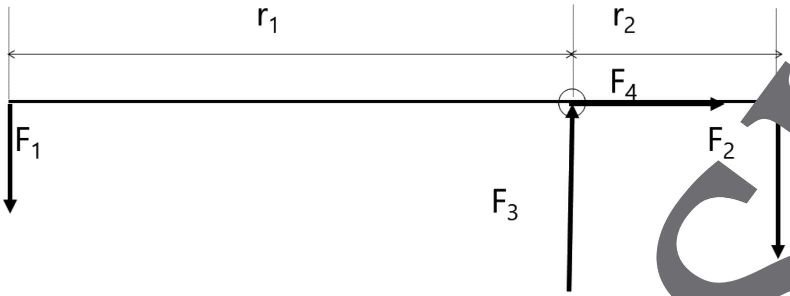
Zweiseitiger Hebel

M 3

Wir betrachten den skizzierten zweiseitigen Hebel. Unter welchen Bedingungen ist dieser im Gleichgewicht und wie groß sind dann die Lagerkräfte?



Wir machen zunächst den Hebel frei. Mit anderen Worten: Wir entfernen das Festlager und tragen die Lagerkräfte in den Lageplan ein.



Skizzen: Axel Donges, bearbeitet von Benjamin Streit

Nun werden die Gleichgewichtsbedingungen aufgeschrieben:

Kräfte in waagerechter Richtung: $\underbrace{F_4}_{\text{Kräfte nach rechts}} = \underbrace{0}_{\text{Kräfte nach links}}$ (a)

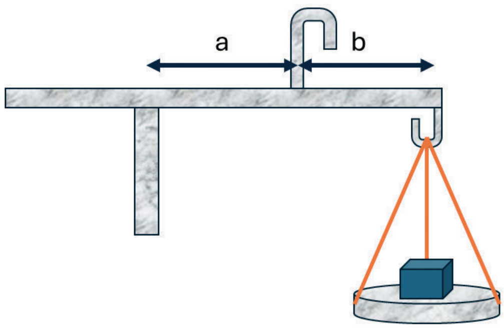
Kräfte in senkrechter Richtung: $\underbrace{F_3}_{\text{Kräfte nach oben}} = \underbrace{F_1 + F_2}_{\text{Kräfte nach unten}}$ (b)

Momente bez. der Drehachse: $\underbrace{F_2 \cdot r_2}_{\text{im Uhrzeigersinn}} = \underbrace{F_1 \cdot r_1}_{\text{gegen den Uhrzeigersinn}}$ (c)

Ergebnis: Die Gleichgewichtsbedingung für den zweiseitigen Hebel lautet $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$. Das Festlager wird nur in vertikale Richtung belastet ($F_3 = F_1 + F_2$).

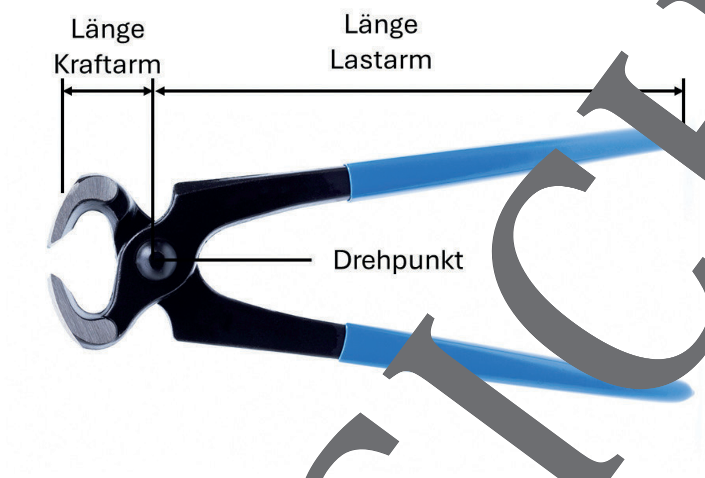
Aufgaben

1. **Berechnen** Sie das Gewicht am rechten Hebel, wenn a = 100 cm und b = 10 cm betragen. Das Gewicht links ist G_a = [illegible]0 N.

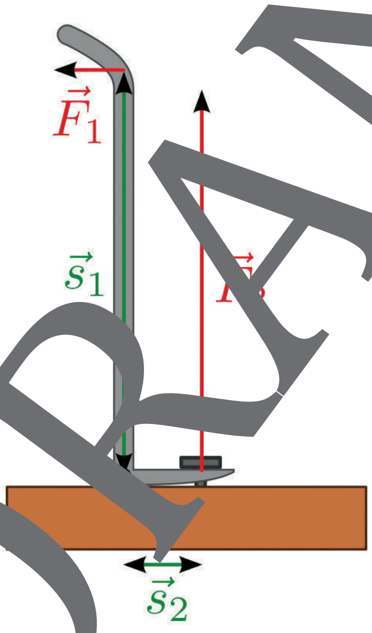


Skizze: Benjamin Streit

2. b = 13 cm vom Gelenk entfernt (Lastarm) wird eine Zange mit F = 140 N am rechten Ende zusammengedrückt. Die Schneiden der Zange (links) haben vom Gelenkbolzen einen Abstand von a = 2 cm (Kraftarm). Welche Kraft F_S wirkt auf eine Schneide? Welche Kraft F_B wirkt auf den Gelenkbolzen?



© Rallef/iStock/Getty Images Plus, bearbeitet von Benjamin Streit



© …hard Gr…z

M 4 Standfestigkeit einer Leiter

Wenn eine Leiter an einer Wand aufgestellt wird, muss darauf geachtet werden, dass die Leiter nicht zu flach aufgestellt wird. Sobald die Haftreibung am Fuß der Leiter nicht mehr ausreicht, ist keine Stabilität mehr garantiert und die Leiter rutscht auf dem Boden weg.

© PhotoAlto/Eric Audras/PhotoAlto Agency RF Collections

Wir untersuchen im Folgenden die Statik der Leiter. Dazu nehmen wir an, dass zwischen dem oberen Ende der Leiter und der Wand keine Reibung besteht (Loslager). Zwischen dem unteren Ende der Leiter und dem Boden wirkt Haftreibung (Festlager). Das folgende Bild zeigt die bereits freigemachte Leiter (Masse m_L = 10 kg, Länge L = 4 m, Winkel α = 75°), auf der eine Person (Masse m_P = 80 kg, Position x = 2,5 m) steht. Die Gleichgewichtsbedingungen lauten:

Kräfte in waagerechter Richtung:

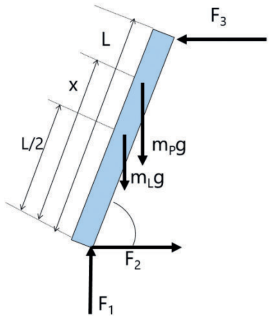
$$\underbrace{F_2}_{\text{Kräfte nach rechts}} = \underbrace{F_3}_{\text{Kräfte nach links}} \qquad \text{(a)}$$

Kräfte in senkrechter Richtung:

$$\underbrace{F_1}_{\text{Kräfte nach oben}} = \underbrace{m_P g + m_L g}_{\text{Kräfte nach unten}} = 80\,kg \cdot 10\frac{N}{kg} + 10\,kg \cdot 10\frac{N}{kg} = 900\,N \qquad \text{(b)}$$

Momente bez. des Fußpunktes:

$$\underbrace{m_L g \cdot \tfrac{L}{2} \cdot \cos\alpha + m_P g \cdot x \cdot \cos\alpha}_{\text{im Uhrzeigersinn}} = \underbrace{F_3 \cdot L \cdot \sin\alpha}_{\text{gegen den Uhrzeigersinn}} \qquad \text{(c)}$$



Aus (c) und (a) folgt:

$$F_2 = F_3 = \left(\frac{m_L L}{2} + m_P x\right) \cdot \frac{g}{L} \cdot \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} = \left(\frac{10\,kg \cdot 4\,m}{2} + 80\,kg \cdot 2{,}5\,m\right) \cdot \frac{10\frac{N}{kg}}{4\,m} \cdot \frac{\cos 75^o}{\sin 75^o} = 147\,N$$

Skizze Axel Donges, bearbeitet von Benjamin Streit

Ergebnis: Die Leiter übt auf die glatte Wand eine senkrecht wirkende Kraft von 147 N aus. Auf den Boden übt die Leiter eine horizontal wirkende Kraft von ebenfalls 147 N aus, sowie eine senkrecht wirkende Kraft von 900 N. Nur wenn zwischen Leiter und Boden eine Haftreibungskraft von 147 N wirken kann, steht die Leiter stabil.

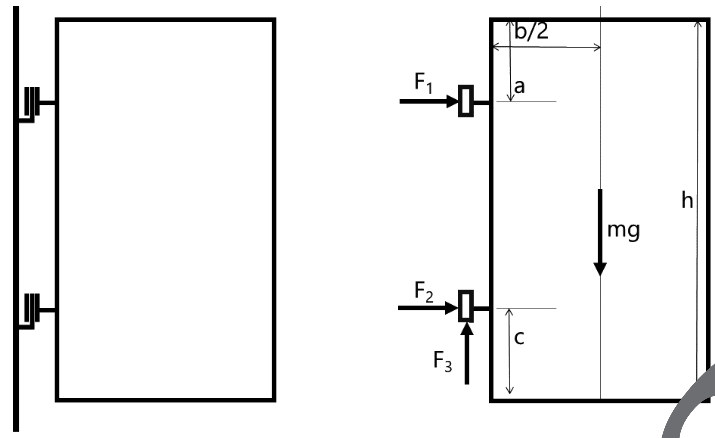
Aufgaben

1. Die maximal mögliche Haftreibungskraft wird berechnet mit der Formel $F_{H,max} = \mu_H \cdot F_N$. Hierbei ist μ_H die dimensionslose Haftreibungszahl und F_N die Normalkraft, mit der die beiden reibenden Flächen zusammengedrückt werden. Welche Haftreibungszahl zwischen Leiter und Boden ist in obigem Beispiel mindestens erforderlich, damit die Leiter nicht rutscht?
2. **Bestimmen** Sie den kleinsten Winkel α_{min} für das obige Beispiel, bei dem die Leiter gerade noch nicht rutscht, wenn die Haftreibungszahl μ_H = 0,8 ist.

Lagerung einer Tür

M 5

Eine Tür ist mit zwei Lagern an der Zarge befestigt: einem Loslager A und einem Festlager B (siehe Abbildung, links). Um die Belastung der beiden Lager zu bestimmen, wird die Tür freigemacht, d. h., die Lager werden entfernt und durch entsprechende Kräfte ersetzt (Abbildung, rechts). Es gilt: m = 50 kg, h = 2,0 m, b = 1,4 m und a = c = 0,2 m.



Skizze: Axel Donges und Benjamin Streit

Die Gleichgewichtsbedingungen lauten:

Kräfte in waagerechter Richtung: $\underbrace{F_1 + F_2}_{\text{Kräfte nach rechts}} = \underbrace{0}_{\text{Kräfte nach links}}$ (a)

Kräfte in senkrechter Richtung: $\underbrace{F_3}_{\text{Kräfte nach oben}} = \underbrace{mg}_{\text{Kräfte nach unten}} = 50\,kg \cdot 10\frac{N}{kg} = 500\,N$ (b)

Momente bez. des oberen Lagers A: $\underbrace{mg \cdot \frac{b}{2}}_{\text{im Uhrzeigersinn}} = \underbrace{F_2 \cdot (h - a - c)}_{\text{gegen den Uhrzeiger}}$ (c)

Aus (c) folgt $F_2 = \dfrac{mg \cdot \frac{b}{2}}{h - a - c} = \dfrac{50\,kg \cdot 10\frac{N}{kg}\,\frac{1{,}4\,m}{2}}{2{,}0\,m - 0{,}2\,m - 0{,}2\,m} = 219\,N.$

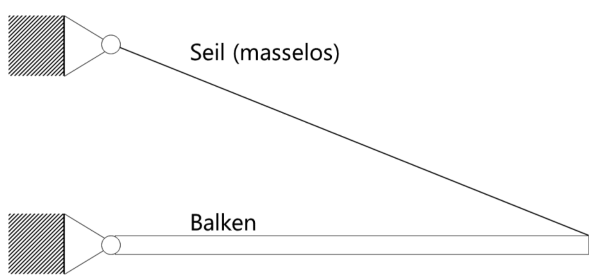
Aus (a) folgt $F_1 = -F_2 = -219\,N.$

Das Minuszeichen bei F_1 bedeutet, dass die Kraft entgegen der im Kräfteplan eingezeichneten Richtung wirkt.

Ergebnis: Oben zieht das Lager A die Tür mit 219 N horizontal nach links. Unten drückt das Lager B die Tür mit 219 N nach rechts und zusätzlich mit einer Kraft von 500 N senkrecht nach oben.

Aufgabe

Bestimmen Sie die Belastungen der Lager. Der homogene Balken hat eine Masse von m = 100 kg und eine Länge von L = 4 m. Die beiden Festlager haben einen Abstand von a = 3 m. Hinweis: Ein Seil kann nur Zugkräfte aufnehmen, d. h., die Wirkungslinien der am Seil angreifenden Kräfte müssen auf dem Seil liegen.

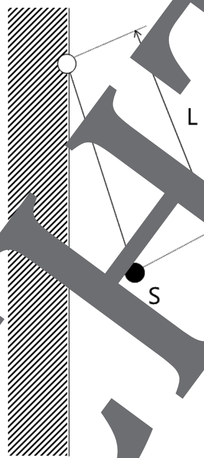


Skizze: Axel Donges

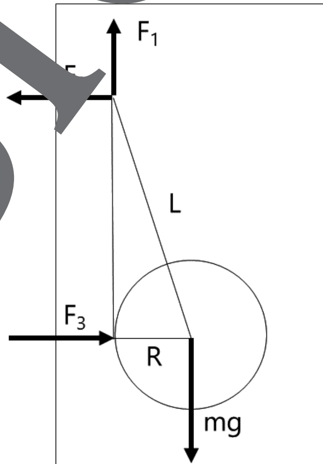
M 6 Kletterin in der Steilwand

Eine Alpinistin (Masse m = 65 kg) hängt an einem masselosen Seil (Seillänge L = 6 m) in einer Steilwand. Mit welcher Kraft drückt sie auf die Wand? Welche Kräfte wirken an der Befestigung des Seils (Festlager)? Zur Vereinfachung wird angenommen, dass die Wand senkrecht und glatt ist. Der Schwerpunkt S der Kletterin ist R = 1 m von der Wand entfernt.

© izusek/E+



Wir entfernen zunächst die Wand und ersetzen sie durch entsprechende Kräfte (siehe Lageplan rechts). Da die Wand glatt ist, übt die Wand nur eine horizontale Kraft auf die Alpinistin (im Lageplan als Kugel dargestellt) aus. Die Gleichgewichtsbedingungen lauten:
Kräfte in waagerechter Richtung:



Skizzen: Axel Donges

$$\underbrace{F_3}_{\text{Kräfte nach rechts}} = \underbrace{F_2}_{\text{Kräfte nach links}} \qquad \text{(a)}$$

Kräfte in senkrechter Richtung:

$$\underbrace{F_1}_{\text{Kräfte nach oben}} = \underbrace{mg}_{\text{Kräfte nach unten}} = 65\,kg \cdot 10\,\frac{N}{kg} = 650\,N \qquad \text{(b)}$$

Momente bez. des oberen Festlagers:

$$\underbrace{mg \cdot R}_{\text{im Uhrzeige}} = \underbrace{F_3 \cdot L\cos\alpha}_{\text{gegen den Uhrzeiger}} \qquad \text{(c)}$$

Außerdem gilt mit dem Satz des Pythagoras

$$\cos\alpha = \frac{\sqrt{L^2 - R^2}}{L}$$

Damit folgt aus (c):

$$F_3 = \frac{mg \cdot R}{L\cos\alpha} = \frac{mg \cdot R}{L\frac{\sqrt{L^2 - R^2}}{L}} = \frac{mg \cdot R}{\sqrt{L^2 - R^2}} = \frac{65\,kg \cdot 10\frac{N}{kg} \cdot 1\,m}{\sqrt{(6\,m)^2 - (1\,m)^2}} = 110\,N$$

Aus (a) ergibt sich ebenfalls $F_2 = 110\,N$.

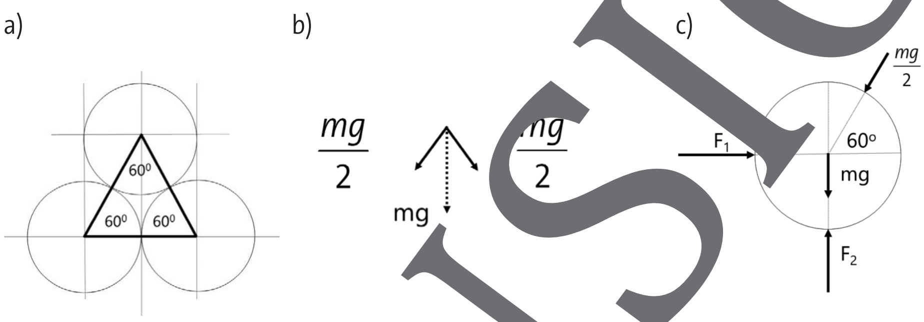
Ergebnis: Das obere Festlager zieht das Seilende mit 110 N nach links und mit 650 N nach oben. Die glatte Wand drückt die Kletterin mit einer Kraft von 110 N nach rechts.

M 8 Beladener Lkw

Auf der Ladefläche eines Lkws werden drei große Rohre – wie im Bild dargestellt – transportiert. Die Rohre haben eine Masse von jeweils m = 4000 kg und einen Rohrdurchmesser von jeweils d = 1,25 m. Welche Kräfte üben die Rohre auf den Boden und die Seitenwände aus? Die Seitenwände sind 2,5 m auseinander. Reibung ist zu vernachlässigen.

© Yuri Bizgaimer/[illegible]obe Stock

Die drei Schwerpunkte der Rohre bilden ein gleichschenkliges Dreieck. Alle Winkel in diesem Dreieck sind dann 60° (Abb. a). Das obe[illegible] Rohr übt zwei Kräfte aus, die senkrecht auf den Oberflächen [illegible]r Rohre stehen (Abb. b).



Skizzen: Axel Donges

Wir betrachten nun das **untere lin[illegible] Rohr** und machen es frei (Abb. c). Die Gleichgewichtsbedingungen lauten:

Kräfte in waagrechter [illegible]tung[3]:

$$\underbrace{F_1}_{\text{Kräfte nach rechts}} = \underbrace{\frac{mg}{2} \cdot \sin 30^o}_{\text{Kräfte nach links}} = \frac{4000\ [illegible]\ 10\,\frac{N}{[illegible]}}{2} \cdot \sin 30^o = 10\,000\,N \qquad \text{(a)}$$

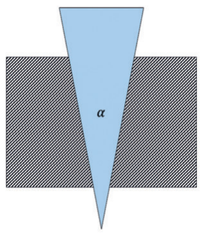
Kräfte in [illegible]enkrech[illegible] Richtung:

$$\underbrace{F_2}_{\text{Kräfte nach oben}} = \underbrace{mg + \frac{[illegible]g}{2} [illegible]}_{\text{[illegible]räfte nach unten}} = 4000\,kg \cdot 10\,\frac{N}{kg} + \frac{40\,000\,N}{2} \cdot \sin 60^o = 57321\,N \qquad \text{(b)}$$

[illegible]: Die beide[illegible] [illegible]ren Rohre üben auf die Ladefläche eine Kraft von jeweils 57 kN aus, d. h. zusamm[illegible]on 114 kN. Das entspricht fast dem Gesamtgewicht der drei Rohre (120 kN). Jedes untere Rohr belas[illegible] eine Seitenwand mit 10 000 N.

[illegible]fgabe

We[illegible]te übt der Keil mit der Masse m = 20 kg und dem Winkel $\alpha = 15^o$ auf die Seitenwände der Halterung aus? Hinweis: keine Reibung.

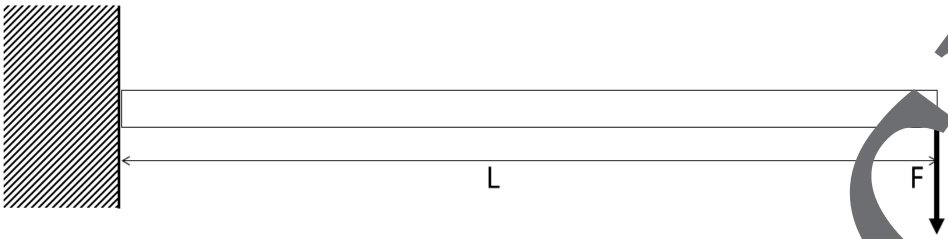


3 Das rechte untere Rohr übt keine Kraft in waagerechter Richtung auf das linke untere Rohr aus. Um das einzusehen, kann man sich zwischen den beiden unteren Rohren eine „unendlich“ kleine Lücke vorstellen.

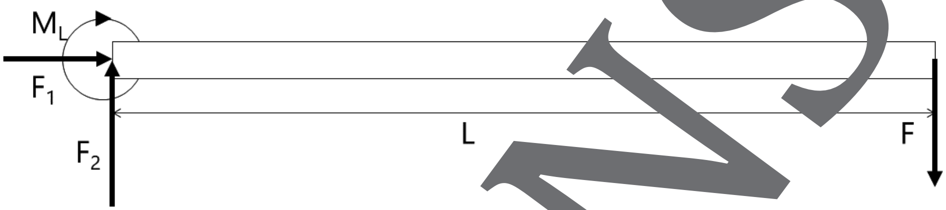
Belasteter Kragbalken

M 10

Ein masseloser starrer Kragbalken (Kragarm) der Länge L = 2 m ist auf der linken Seite fest eingespannt. Er wird an seinem rechten Ende durch eine senkrecht von oben einwirkende Kraft F = 300 N belastet (siehe Abbildung). Wir interessieren uns für die Lagerkräfte und das Lagermoment der Einspannung.



Zunächst machen wir den Balken frei, d. h., die Einspannung wird entfernt und [illegible]h entsprechende Lagerkräfte F_1 und F_2 sowie durch ein im Uhrzeigersinn drehend a[illegible]ommenes [illegible]moment M_L ersetzt.



Skizzen: Axel Donges

Nun werden die Gleichgewichtsbedingu[illegible]gen [illegible]hrieben:

Kräfte in waagerechter Richtung: $\underbrace{F_1}_{\text{Kräfte nach rechts}} = \underbrace{0}_{\text{Kräfte nach links}}$ (a)

Kräfte in senkrechter Richtu[illegible]: $\underbrace{F_2}_{\text{Kräfte [illegible]en}} = \underbrace{F}_{\text{Kräfte nach unten}} = 300\,N$ (b)

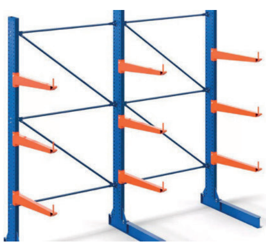
Momente bez. des lin[illegible] Balkenen[illegible]es: $\underbrace{M_L + F \cdot L}_{\text{[illegible] Uhrzeiger}} = \underbrace{0}_{\text{gegen den Uhrzeiger}}$ (c)

Aus (c) folgt $M_L = -F \cdot L = -300\,N \cdot 2\,m = -600\,Nm$

Ergebnis: Die [illegible] sind $F_1 =$ [illegible]d $F_2 = 200\,N$. Das Lagermoment ist $M_L = -600\,Nm$. Das Minuszeich[illegible]n bedeutet, [illegible] die Eins[illegible]annung gegen den Uhrzeigersinn dreht und nicht – wie im Lageplan [illegible]genommen – im [illegible]rzeigersinn.

Au[illegible]e

Ein sta[illegible]r homoge[illegible]balken mit der Masse m = 1000 kg und der Länge L = [illegible]m ist auf der linken Seite fest eingespannt. Er wird an sei[illegible]m rechten [illegible]nde durch eine senkrecht von unten einwirkende Kraft F = 7 k[illegible] **Berechnen** Sie die Lagerkräfte und das Lagermoment der Einspannung.



Kragarme eines Regals. Quelle: www.topregal.com