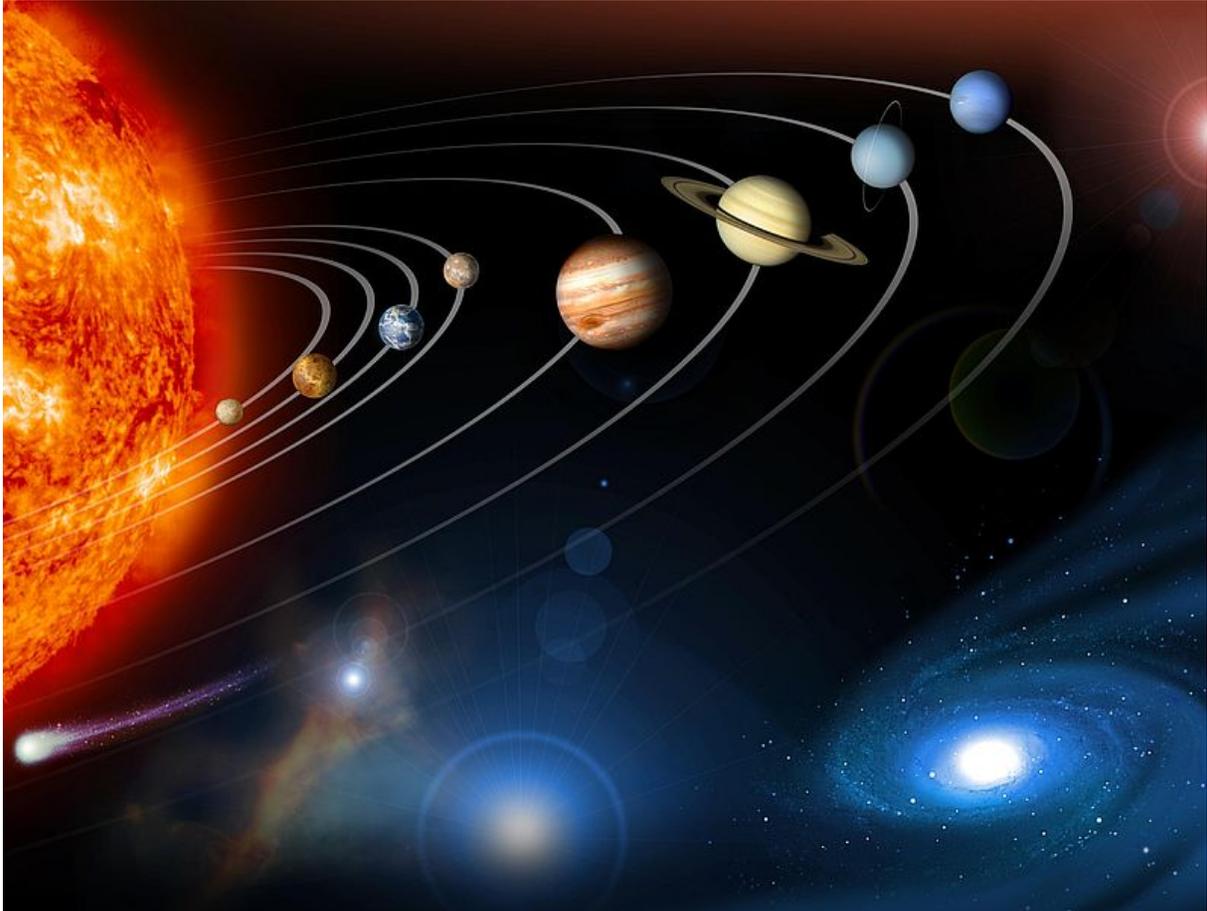


# Dynamik

Die Lehre vom Einfluss der Kräfte auf die Bewegungsvorgänge  
von Körpern



**Skript 2024/2025**

Physik – FMS1

Version 2.0

Erstellt von

Krisanth Vyithiyalingam

[www.vyk-mip.ch](http://www.vyk-mip.ch)

*fms* | THUN

Eine Institution des Kantons Bern



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Dynamik</b>	<b>2</b>
1.1	Motivation . . . . .	3
1.2	Die Newton'schen Gesetze der Mechanik . . . . .	3
1.2.1	Einleitung . . . . .	3
1.2.2	Kräfte in der Physik . . . . .	3
1.2.3	Die vier Grundkräfte . . . . .	6
1.2.4	Die Newton'schen Gesetze . . . . .	7
1.2.4.1	Das 1. Newton'sche Gesetz (Trägheitsprinzip) . . . . .	7
1.2.4.2	Das 2. Newton'sche Gesetz (Aktionsprinzip) . . . . .	7
1.2.4.3	Das 3. Newton'sche Gesetz (Wechselwirkungsprinzip) . . . . .	7
1.2.5	Zusammenwirken mehrerer Kräfte . . . . .	8
1.2.5.1	Zusammenwirken mehrerer Kräfte mit gleicher/entgegengesetzter Richtung	8
1.2.5.2	Zusammenwirken mehrerer Kräfte mit unterschiedlicher Richtung . . . . .	9
1.2.6	Zerlegung einer Kraft in Teilkräfte . . . . .	9
1.3	Einige Kräfte . . . . .	9
1.3.1	Gewichtskraft . . . . .	9
1.3.2	Kraftmessung: Das Federgesetz . . . . .	11
1.3.3	Reibungskräfte . . . . .	13
1.3.3.1	Normalkraft . . . . .	13
1.3.3.2	Haftreibung . . . . .	13
1.3.3.3	Gleitreibung . . . . .	14
1.3.3.4	Rollreibung . . . . .	14
1.4	Aufgaben . . . . .	15



# Kapitel 1

## Dynamik

### K A P I T E L Z I E L E :

- Sie können die Ursache für zwei Kraftwirkungen anhand von Beispielen erläutern.
- Sie wissen, welche Faktoren eine Rolle spielen, um eine Kraft zu beschreiben und können diese mithilfe einer Skizze erläutern.
- Sie kennen die vier Grundkräfte und können in 2 – 3 Sätzen deren Eigenschaften aufzählen.
- Sie können die drei Gesetze von Newton in eigenen Worten erklären, zählen je ein Beispiel auf und können diese korrekt anwenden.
- Sie wissen, wie man Kräfte zusammenaddiert und können das Prinzip zeichnerisch und rechnerisch korrekt anwenden.
- Sie können die Formel für die Gravitationskraft/Gewichtskraft korrekt anwenden und kennen die Bedeutung der Parametern.
- Sie wissen, was eine Feder ist, kennen das Federgesetz, wissen wie man aus einem  $F_F - l$  Diagramm die Federkonstante bestimmen kann und können das Federgesetz korrekt anwenden.
- Sie wissen, dass die Gesamtfederkonstante bei einer Doppelfeder nicht einfach die Addition der beiden Federkonstanten der einzelnen Federn ist und können das Federgesetz für eine Doppelfeder korrekt anwenden.
- Sie können den Unterschied zwischen der Haftreibungskraft und der Gleitreibungskraft erläutern und wissen, wie diese Kräfte definiert wurden.
- Sie sind in der Lage, die Reibungskräfte auf konkrete Probleme anzuwenden (horizontales Ziehen eines Objekts, das Ziehen eines Objekts unter einem bestimmten Winkel, gekoppeltes System.)
- Sie erkennen bei Aufgaben die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Kräften und können die Kräfte einzeichnen.
- Sie können bei der schiefen Ebene mit und ohne Reibung die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Kräften erkennen und sind in der Lage, die gesuchte Grösse anhand der geschriebenen Zusammenhänge herauszufinden.

## 1.1 Motivation

Die Suche nach der Motivation bringt einen wissenschaftlichen Grundgedanken ins Spiel: Weshalb passiert etwas? Nach der Beschäftigung mit kinematischen Zusammenhängen (also der Kunst, Bewegungen zu beschreiben) ist es an der Zeit, sich einmal genauer Gedanken darüber zu machen, weshalb es überhaupt zu einer Bewegung kommt. In diesem Kapitel beschäftigen wir uns also mit der Hauptfrage: Warum bewegt sich ein Körper – allenfalls beschleunigt?

Wollen wir diese Frage beantworten, so sind wir gezwungen, den Begriff der Kraft einzuführen und verschiedene Kräfte und ihre Effekte zu studieren.

Ein berühmter Physiker, der sich mit den Zusammenhängen von Kraft und Bewegung auseinandergesetzt hatte, war Sir Isaac Newton. Ihm verdanken wir die Grundgesetze der Mechanik.

## 1.2 Die Newton'schen Gesetze der Mechanik

### 1.2.1 Einleitung

Die drei Grundgesetze (Axiome) der Mechanik, das Trägheits-, das Bewegungs- und das Reaktionsgesetz, wurden von Isaac Newton in seinem Werk *Mathematische Prinzipien der Naturlehre* (Philosophiae Naturalis Principia Mathematica) im Jahre 1686 eingeführt. Die *Principia* sind eines der wichtigsten Werke der Naturwissenschaften überhaupt. Newton führt darin die von Galilei begonnene mathematische Behandlung der Mechanik weiter und baut sie auf der Grundlage des Trägheits-, des Bewegungs-, des Reaktions- sowie des Gravitationsgesetzes zu einer umfassenden Theorie aus. Bis zum heutigen Tag bilden diese Theorien die klassische Physik, auch eine wesentliche Grundlage der Technik, etwa für die Konstruktion von Bauwerken und Maschinen.

Die Newton'sche Physik war ausserordentlich erfolgreich. Auf ihrer Grundlage gelang es, praktisch alle mechanischen Erscheinungen des täglichen Lebens, aber auch am Sternenhimmel mathematisch zu erfassen und so zu erklären. Kein physikalisches Werk hat die Naturwissenschaft vorher so stark geprägt und verändert wie die *Principia*. Erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts zeigte sich, dass die auf den *Principia* beruhende Mechanik Grenzen hat und im Bereich der Atome, der Atomkerne und der Elementarteilchen sowie für extrem schnell bewegte Körper nicht mehr angewendet werden darf.

### 1.2.2 Kräfte in der Physik

Als präziser physikalischer Fachbegriff wurde die Kraft von Isaac Newton zusammen mit seinen drei Axiomen eingeführt. Noch bis ins 20. Jahrhundert benutzten auch die Physikerinnen und Physiker das Wort Kraft ungenau, etwa in der Bedeutung von Energie. Im Vergleich zum umgangssprachlichen Kraftbegriff ist die physikalische Kraft Newtons viel bedeutungsärmer und bezeichnet ausschliesslich die Ursache für zwei Kraftwirkungen, nämlich:

- für die Verformung (Deformation) eines Körpers durch die Einwirkung äusserer Kräfte, etwa eines Pfeilbogens beim Spannen der Sehne, und
- für die Änderung des sogenannten Bewegungszustands eines Körpers, d.h. seiner Geschwindigkeit, etwa beim Anstossen eines Fussballs.

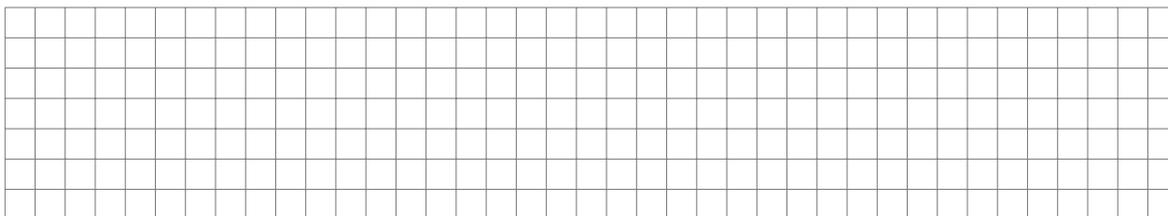
Eine physikalische Kraft  $\vec{F}$  ist nach Newton also die Ursache für eine Deformation bzw. für eine beschleunigte Bewegung eines Körpers. Die Kraft ist ein abstrakter Begriff. Eine Kraft ist, im Gegensatz zu Kraftwirkungen, nicht direkt sichtbar oder mit Sinnen wahrnehmbar.

Eine physikalische Kraft  $\vec{F}$  ist durch ihren Betrag (positiver Zahlenwert), ihre Richtung und ihren Angriffspunkt an einem Körper gegeben. Man kennt eine Kraft also erst, wenn man weiss, wie stark sie ist,

in welche Richtung sie wirkt und wo sie angreift. Die Masseinheit der Kraft heisst Newton. 1 Newton ist ungefähr gleich dem Gewicht einer Tafel Schokolade, also gleich dem Betrag derjenigen Kraft, mit der die Erde eine 100-Gramm-Tafel Schokolade anzieht.

Die Kräfte lassen sich nur anhand ihrer Wirkung erkennen: Die Kräfte können einen Körper verformen, seine Geschwindigkeit vergrössern oder verkleinern und seine Bewegungsrichtung ändern. Nun stellt sich die Frage, wovon die Kraftwirkung abhängt, wie wir oben schon ein bisschen angedeutet haben. Die Versuche zeigen, dass die Wirkung einer Kraft abhängt, wie gross die Kraft ist, aus welcher Richtung und wo sie an einem Körper angreift. Um Kräfte zu vergleichen, legt man fest:

**Zwei Kräfte, die mit gleicher Richtung am gleichen Punkt eines Körpers angreifen und die gleiche Wirkung zeigen,**



Ist der Betrag einer Kraft grösser als der einer anderen, so ist die Wirkung auf denselben Körper grösser. In Abbildung 1.1 wird zum Beispiel der Metallstreifen stärker verbogen.

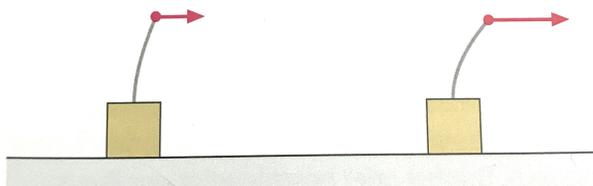
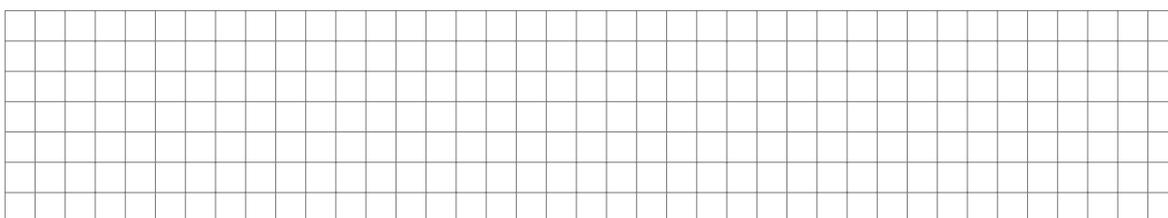


Abbildung 1.1: Unterschiedliche Beträge der Kräfte führen zu unterschiedlichen Wirkungen.

**Greifen zwei Kräfte mit gleichem Betrag am selben Punkt eines Körpers an und zeigen sie die gleiche Wirkung,**



Eine unterschiedliche Richtung der Kraft führt sonst, wie in Abbildung 1.2 zu sehen ist, zu unterschiedlicher Wirkung.

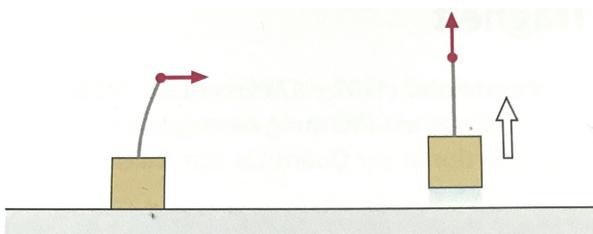
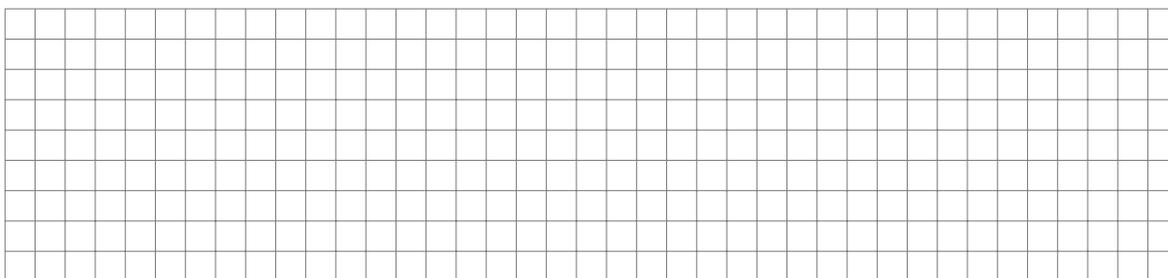


Abbildung 1.2: Unterschiedliche Richtungen der Kräfte führen zu unterschiedlichen Wirkungen.







**Wechselwirkungsprinzip:**

Ein Beispiel dazu: Ein Gewicht hängt an einem Faden. Der Faden verhindert das Fallen des Probekörpers. In ihm wirkt eine Kraft, die so gross wie das Gewicht des Körpers ist. Beide Kräfte unterscheiden sich aber durch ihre Richtung. Die Kraft im Faden und das Gewicht haben entgegengesetzte Richtungen, sie heben sich in ihrer Wirkung auf. Schneidet man den Faden durch, so führt der Körper durch die Anziehungskraft der Erde eine geradlinige Bewegung mit konstanter Beschleunigung aus (Luftwiderstand wird vernachlässigt). Da alle Kräfte wechselseitig wirken, zieht der Körper auch die Erde an. Die Erde *fällt* somit auch auf den Körper zu – die Wirkung ist allerdings so gering, dass wir davon nichts merken.

**1.2.5 Zusammenwirken mehrerer Kräfte**

Wirken mehrere Kräfte auf einen Körper ein, so kann man sich diese als zu einer Gesamtkraft zusammengesetzt denken. Die Gesamtkraft  $\vec{F}_{res}$  hat auf den Körper die gleiche Wirkung wie die gemeinsame Wirkung der  $n$  einzelnen (Teil-)Kräfte.

$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n \quad (1.2.1)$$

Möchte man die Wirkung mehrerer Kräfte auf einen Körper angeben, dann muss der Betrag und die Richtung jeder Kraft bekannt sein.

**1.2.5.1 Zusammenwirken mehrerer Kräfte mit gleicher/entgegengesetzter Richtung**

Wirken zwei Teilkräfte in die gleiche Richtung, so erhält man die Gesamtkraft, indem man die Beträge der Teilkräfte zusammenaddiert. Die Gesamtkraft zeigt in die gleiche Richtung wie die einzelnen Teilkräfte.

Ein Beispiel dazu: Die Gewichtskraft, die ein Stapel Teller auf eine Unterlage ausübt, wie in Abbildung 1.4 zu sehen ist, ist gleich der Summe der Gewichtskräfte der einzelnen Teller.

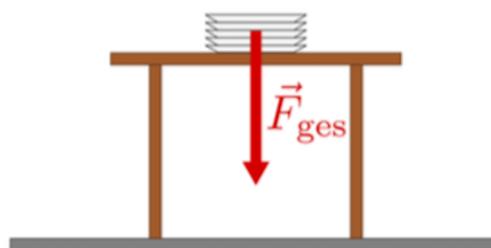


Abbildung 1.4: Addition mehrerer Teilkräfte zu einer Gesamtkraft.

Wirken zwei Teilkräfte in die entgegengesetzte Richtung, so erhält man die Gesamtkraft, indem man die Differenz aus den Beträgen der Teilkräfte bildet. Die Gesamtkraft zeigt in die Richtung der grösseren der beiden Teilkräfte.

Ein Beispiel dazu: Zieht beim Seilziehen eine Gruppe stärker als die andere, so bewegen sich alle Teilnehmer in die Richtung der stärkeren Kraft (siehe Abbildung 1.5). Die Gesamtkraft, mit der alle Teilnehmer beschleunigt werden, ist gleich dem Kraftunterschied beider Gruppen. Ziehen beide Gruppen jedoch gleich stark, so sind beide Kräfte im Gleichgewicht, und kein Körper wird beschleunigt.

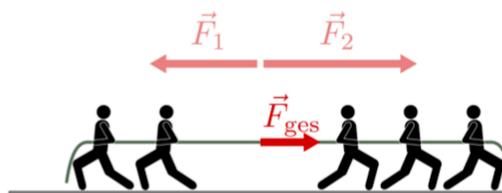


Abbildung 1.5: Addition mehrerer Kräfte mit entgegengesetzter Richtung.

### 1.2.5.2 Zusammenwirken mehrerer Kräfte mit unterschiedlicher Richtung

Wirken an einem Punkt mehrere Kräfte in unterschiedlicher Richtung, so sind für die Bestimmung der resultierenden Kraft die Beträge wie auch die Richtungen der einzelnen Teilkräfte zu berücksichtigen.

In Zeichnungen lassen sich die wirkenden Teilkräfte wiederum als Vektorpfeile darstellen; dabei müssen die Längen der Vektoren zueinander in einem frei wählbaren Massstab den Beträgen der einzelnen Kräfte entsprechen. Die sich aus zwei Teilkräften ergebende Gesamtkraft kann zeichnerisch ermittelt werden, indem beide Vektorpfeile addiert werden, d.h. der Anfangspunkt des einen Vektors an die Spitze des anderen Vektors verschoben wird. Die Verbindungslinie vom gemeinsamen Angriffspunkt zum sich so ergebenden Endpunkt entspricht dann der resultierenden Gesamtkraft. Wirken an einem gemeinsamen Angriffspunkt mehr als zwei Kräfte in unterschiedliche Richtungen, so kann die resultierende Gesamtkraft graphisch ermittelt werden, indem alle Vektorpfeile durch paralleles Verschieben so miteinander verbunden werden, dass der Anfangspunkt des zweiten Vektors am Endpunkt des ersten Vektors liegt, der Anfangspunkt des dritten Vektors am Endpunkt des zweiten Vektors liegt, usw. Der Vektor vom Anfangspunkt der Vektorkette zu ihrem Endpunkt entspricht der wirkenden Gesamtkraft.

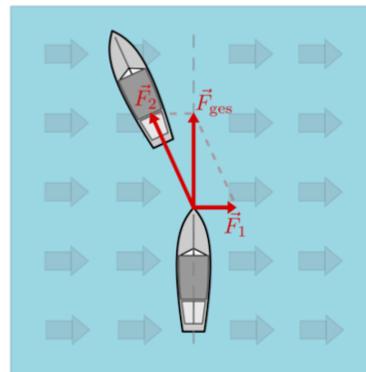


Abbildung 1.6: Addition mehrerer Kräfte mit unterschiedlichen Richtungen.

Ein Beispiel dazu: Soll ein Schiff von einem anderen Schiff ohne Abdrift über einen Fluss gezogen werden, so muss die Kraft des ziehenden Schiffs auch die Schubkraft des fließenden Wassers ausgleichen, siehe Abbildung 1.6.

### 1.2.6 Zerlegung einer Kraft in Teilkräfte

In gleicher Art und Weise, wie sich mehrere Kräfte zu einer Gesamtkraft addieren lassen, kann man eine Kraft auch in mehrere Teilkräfte zerlegen, die gemeinsam die gleiche Wirkung hervorruufen.

Ein Beispiel dazu ist in Abbildung 1.7 dargestellt. Eine Strassenlampe wird von zwei Halteseilen getragen. Diese können nur Zugkräfte vermitteln, d.h. die Teilkräfte  $\vec{F}_1$  und  $\vec{F}_2$  in den Seilen müssen entlang der Seilrichtungen verlaufen; die Summe der beiden Teilkräfte wiederum muss der Gewichtskraft  $\vec{F}_G$  der Lampe entsprechen.

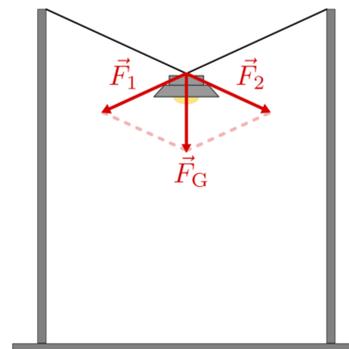


Abbildung 1.7: Zerlegung einer Kraft in zwei Teilkräfte.

## 1.3 Einige Kräfte

Ist die Kraft, die auf einen Körper wirkt, bekannt, so lässt sich mit dem Grundgesetz der Mechanik die Beschleunigung des Körpers berechnen. Aus der Beschleunigung kann seine Geschwindigkeit zu einem späteren Zeitpunkt und daraus wiederum sein Ort zu einem späteren Zeitpunkt berechnet werden. Um die Bewegung von Körpern vorherzusagen, ist es also wichtig, alle wirkenden Kräfte zu kennen.

### 1.3.1 Gewichtskraft

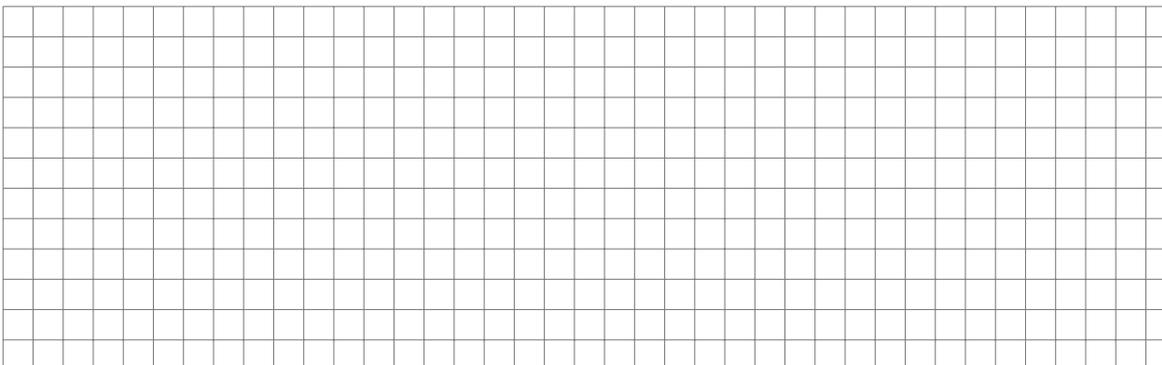
Die Gewichtskraft eines Objekts ist diejenige Kraft, mit der es von der Erde angezogen wird. Je grösser die Masse eines Objekts ist, desto stärker wird es von der Erde angezogen. Bei einer grösseren Masse ist allerdings auch eine grössere Kraft nötig, um sie zu beschleunigen; ohne Luftwiderstand werden daher alle Objekte, die sich im freien Fall befinden, gleich schnell zum Erdmittelpunkt hin beschleunigt.



Ort	Ortsfaktor in $\frac{m}{s^2}$	Ort	Ortsfaktor in $\frac{m}{s^2}$
Äquator	9.78	Venus	8.87
Mitteleuropa	9.81	Mars	3.69
Pole der Erde	9.83	Merkur	3.70
300 km über der Erde	8.96	Jupiter	24.79
40000 km über der Erde	0.19	Saturn	10.44
Mond der Erde	1.60	Sonne	274

Tabelle 1.1: Unterschiedliche Ortsfaktoren bei verschiedenen Orten.

**Beispiel 13:**



**1.3.2 Kraftmessung: Das Federgesetz**

Die Federn sind elastische Gegenstände, die ihre Form unter der Einwirkung äusserer Kräfte ändern, ihre ursprüngliche Form aber wieder annehmen, sobald diese Kräfte nicht mehr wirken. Je stärker man beispielsweise eine Schraubenfeder verdreht oder sie auseinander zieht, desto grösser wird die Spannkraft, mit welcher die Feder sich der Verformung widersetzt. Ist an einer Feder eine geeignete Skala vorhanden, kann die auf sie wirkende Kraft somit direkt abgelesen werden. Da eine Feder nicht beliebig gedehnt werden kann, gibt es Federkraftmesser mit verschiedenen Federhärten und Skalen, die sich für verschiedene Messbereiche eignen.

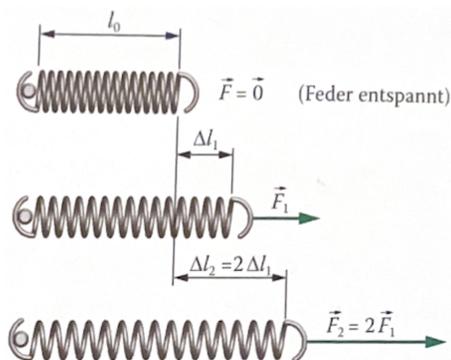
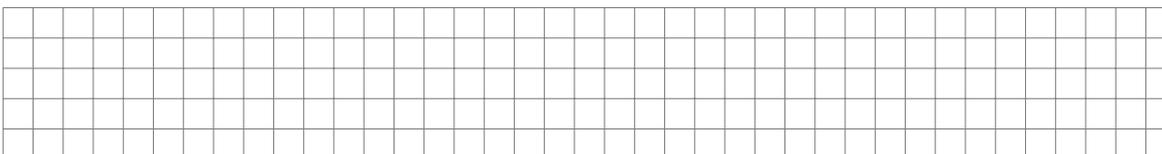


Abbildung 1.8: Schraubenfeder.

Die Grundlage des elastischen Verhaltens von Federn ist das Federgesetz, ein mathematischer Zusammenhang zwischen der Verlängerung  $l$  und der belastenden Kraft  $F$ . Für ideale Schraubenfedern verdoppelt sich die Verlängerung  $l$ , wenn der Zugkraft verdoppelt wird (Abbildung 1.8). Innerhalb eines gewissen Längenbereichs verhält sich eine solche Feder also elastisch. Ihre Verlängerung ist proportional zur wirkenden Kraft: der Graph dieser Funktion ist eine Gerade durch den Ursprung im  $F - l$ -Koordinatensystem (Abbildung 1.9).

Nun kann das Federgesetz formuliert werden:

**Federgesetz:**









## 1.4 Aufgaben

Die folgenden Aufgaben beziehen sich auf das Kapitel 1.2 *Die Newton'schen Gesetze der Mechanik*.

- 1) Eine Strassenlampe der Masse  $m = 20 \text{ kg}$  hängt an zwei Seilen, die jeweils unter  $\alpha = 45^\circ$  geneigt sind.
  - a) Welche Zugkraft tritt in einem Seil auf?
  - b) Im Winter ziehen sich die Seile etwas zusammen. Der Durchhang wird kleiner. Wird die Zugkraft dadurch kleiner oder grösser?
- 2) Ein Mast wird durch zwei Spannseile gehalten. Im Punkt A wirkt im horizontalen Seil die Zugkraft  $\vec{F}_1$  mit dem Betrag  $1.8 \text{ kN}$ . Welche Kraft  $|\vec{F}_2|$  muss am schräg angreifenden Seil wirken, damit in A eine vertikale Druckkraft entsteht? (Die untenstehende Zeichnung ist nur eine Skizze, welche nicht massstabsgetreu gezeichnet wurde!)

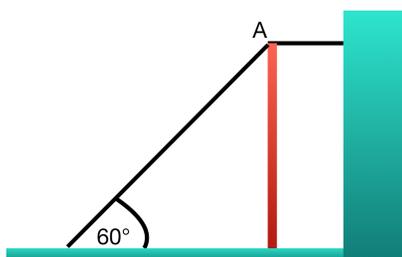


Abbildung 1.13: Abbildung zur Aufgabe 2.

- 3) Ein Kind mit einer Masse von  $m = 30 \text{ kg}$  sitzt auf einer Schaukel. Welche Kraft wirkt auf die beiden Seile der Schaukel?
- 4) Zwei Kinder ziehen einen Schlitten mit den beiden Kräften  $|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2| = 40 \text{ N}$ . Die Kräfte wirken in unterschiedlichen Richtungen, der Winkel gegenüber der zum Schlitten senkrecht verlaufenden Linie beträgt jeweils  $\phi = 30^\circ$ . Welche resultierende Gesamtkraft ergibt sich? Lösen Sie diese Aufgabe graphisch und rechnerisch.

Die folgenden Aufgaben beziehen sich auf das Kapitel 1.3 *Einige Kräfte*.

- 5) Welche Gewichtskraft entspricht einer Masse von  $1 \text{ kg}$  auf der Erde? Wie gross ist die Gewichtskraft der gleichen Masse auf dem Mond?
- 6) Die Gewichtskraft eines Astronauten beträgt auf dem Mond  $130 \text{ N}$ . Wie gross ist seine Gewichtskraft auf der Erde? Wie gross ist seine Masse?
- 7) Eine Kiste mit einer Masse von  $50 \text{ kg}$  wird auf einem waagrechten Betonboden verschoben. Dazu wird eine waagrecht angreifende Kraft von  $350 \text{ N}$  aufgewendet. Die Gleitreibungszahl zwischen der Kiste und dem Boden hat für jeden Bewegungszustand den Wert  $0.6$ . Welche Geschwindigkeit hat die Kiste nach  $10 \text{ s}$  erreicht, wenn keine Anfangsgeschwindigkeit vorlag?
- 8) Berechnen Sie die Normalkraft, die ein  $122.8 \text{ kg}$  schwerer Körper auf eine horizontale Unterlage ausübt.
- 9) Berechnen Sie die Reibungskraft, die ein ruhender Körper überwinden muss, dessen Normalkraft  $107.5 \text{ N}$  entspricht, damit er sich in Bewegung setzt, wenn der Reibungskoeffizient  $\mu_H = 1$  ist.
- 10) Berechnen Sie die Reibungskraft, die ein auf einer Unterlage gleitender Körper überwinden muss, dessen Normalkraft  $143.1 \text{ N}$  entspricht, damit sich seine Geschwindigkeit nicht ändert, wenn die Gleitreibungszahl  $\mu_G = 0.95$  ist.

- 11) Berechnen Sie die Druckkraft  $|\vec{F}_D|$ , mit der ein 14 kg schwerer Körper gegen eine Wand gedrückt werden muss, damit er nicht herunterfällt, wenn die Haftreibungszahl zwischen dem Körper und der Wand 0.45 beträgt.
- 12) Wie weit kommt eine Eisschnellläuferin, die eine Geschwindigkeit von  $69.84 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  erreicht hat, wenn sie auf dem Eis weiter gleitet, ohne zu bremsen? Wie lange dauert ihre freie Fahrt, wenn die Gleitreibungszahl ihrer Schlittschuhe auf dem Eis 0.005 beträgt?
- 13) Wie schnell kann ein 906 kg schwerer Rennwagen maximal beschleunigen, wenn die Haftreibungszahl zwischen den Reifen des Wagens und der Rennbahn 0.54 beträgt? Welche Geschwindigkeit erreicht der Rennwagen 11.8 s nach dem Start? Welche Strecke legt er in dieser Zeit zurück?
- 14) Welche Zugkraft ist erforderlich, um einen 800 N schweren Schlitten auf Eis (Haftreibungszahl für Eisen–Eis: 0.03; Gleitreibungszahl für Eisen–Eis: 0.01)
- in Bewegung zu setzen
  - in Bewegung zu halten?
- 15) Welche Zugkraft ist erforderlich, um ein 1400 kg schweres Auto in Bewegung zu setzen? (Haftreibungszahl für Autoreifen–Asphalt: 0.4)
- 16) Nennen Sie zwei Phänomene aus dem Alltag, bei denen Reibung wichtig ist, und erläutern Sie Ihre Wahl.
- 17) Bestimmen Sie bei welchem Versuch die Haftreibungskraft grösser ist.



Abbildung 1.14: Abbildung zur Aufgabe 17.

- 18) Ein auf einer waagrechten Ebene liegender Körper der Masse  $m_1 = 0.2 \text{ kg}$  wird über ein masseloses Seil an einen nach unten ziehenden Körper der Masse  $m_2 = 0.1 \text{ kg}$  angekoppelt. Wir gehen davon aus, dass sich die gesamte Anordnung in Bewegung setzt. Auf der horizontalen Fläche herrscht Reibung mit der Gleitreibungszahl  $\mu_R = 0.2$ .
- Berechnen Sie die Beschleunigung der Anordnung.
  - Nach welcher Zeit und mit welcher Geschwindigkeit setzt  $m_2$  unten auf, wenn  $h = 1 \text{ m}$  ist?
  - Welche Kraft muss das Seil übertragen (also aushalten)?

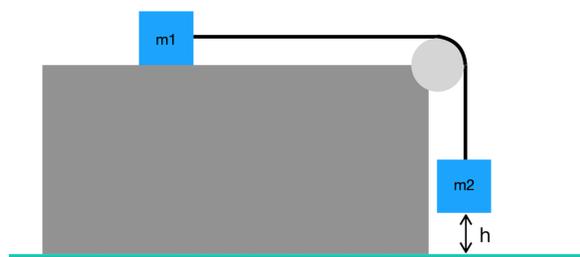


Abbildung 1.15: Abbildung zur Aufgabe 18.

- 19) Ein auf einer waagrecht Ebene liegender Körper der Masse  $m_1 = 1 \text{ kg}$  wird über ein masseloses Seil an einen nach unten ziehenden Körper der Masse  $m_2 = 0.5 \text{ kg}$  angekoppelt. Wir gehen davon aus, dass sich die gesamte Anordnung in Bewegung setzt. Auf der horizontalen Fläche herrscht Reibung mit der Gleitreibungszahl  $\mu_G = 0.2$ .
- Wie gross darf der Haftreibungskoeffizient  $\mu_H$  höchstens sein, damit sich die Anordnung in Bewegung setzt?
  - Nun sei  $\mu_G = 0.4$ . Berechnen Sie die Geschwindigkeit, mit der  $m_2$  in  $h = 3 \text{ m}$  Tiefe aufsetzt.
  - Welche Geschwindigkeit haben die Körper, wenn  $m_2$  in der halben Höhe ist? Wie weit sind sie in der halben Fahrzeit gekommen?
  - Wie gross ist die Seilkraft, solange die Körper noch gekoppelt fahren?
- 20) Ein Block der Masse  $8 \text{ kg}$  wird mit einem Seil unter einem Winkel von  $35^\circ$  über dem Boden gezogen. Der Reibungskoeffizient beträgt  $0.2$ . Wie gross muss die Kraft am Seil sein, damit der Block die Geschwindigkeit behält?
- 21) Ein Block der Masse  $10 \text{ kg}$  wird mit einem Seil unter einem Winkel von  $20^\circ$  über dem Boden gezogen. Die Geschwindigkeit soll dabei konstant bleiben. Die benötigte Kraft beträgt  $12 \text{ N}$ . Wie gross ist der Reibungskoeffizient?
- 22) Ein Block der Masse  $5 \text{ kg}$  wird mithilfe eines Seils auf einem horizontalen reibungsfreien Fussboden entlanggezogen. Das Seil übt unter einem Winkel von  $\alpha = 25^\circ$  oberhalb der Horizontalen eine Kraft mit dem Betrag  $|\vec{F}| = 15 \text{ N}$  aus.
- Wie gross ist der Betrag der Beschleunigung des Blocks?
  - Der Betrag der Kraft wird langsam erhöht. Wie gross ist dieser Betrag, kurz bevor der Block (vollständig) vom Boden abhebt?
  - Wie gross ist der Betrag der Beschleunigung des Blocks, kurz bevor er vom Boden abhebt?
- 23) Eine Kraft von  $9 \text{ N}$  dehnt eine Feder um  $20 \text{ cm}$ .
- Berechnen Sie die Federkonstante.
  - Um wie viel wird diese Feder durch eine Kraft von  $15 \text{ N}$  gedehnt?
- 24) Ein Gewicht von  $7 \text{ N}$  dehnt eine Feder um  $5.6 \text{ cm}$ . Nun werden zusätzliche  $500 \text{ g}$  an die Feder gehängt. Berechnen Sie die Federkonstante und die gesamte Dehnung der Feder.
- 25) Eine Lokomotive stösst einen Güterwagen mit einer Kraft von  $35 \text{ kN}$ . Um wie viel werden die beiden Puffer des Wagens zusammengedrückt, wenn sie je eine Federkonstante von  $2.5 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  aufweisen und von der Lokomotive gleich stark zusammengedrückt werden?
- 26) Ein Trampolin kann für Lasten unter  $1000 \text{ N}$  als lineare Feder betrachtet werden.
- Wenn der Turnlehrer ( $m = 76 \text{ kg}$ ) auf dem Trampolin steht, senkt sich das Tuch um  $17 \text{ cm}$ . Wie gross ist die Federkonstante dieses Trampolins?
  - Sobald Mirjam auf das Tuch steigt, senkt es sich um  $12 \text{ cm}$ . Wie schwer ist Mirjam?
- 27) Wie bei allen Autos, sind bei einem Smart bei allen vier Rädern Stossdämpfer eingebaut um Unebenheiten der Strasse auszugleichen. Welche Federkonstante muss ein solcher Stossdämpfer mindestens haben, damit der Smart bei einer Vollbelastung (zusätzlich  $260 \text{ kg}$ ) nicht weiter als  $5.0 \text{ Zentimeter}$  absinkt?
- 28) Zwei (masselose) Federn ( $16 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  und  $24 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ ) werden aneinandergehängt und mit  $6 \text{ N}$  belastet. Berechnen Sie die Gesamtdehnung und die Federkonstante der Kombination.