# 1.0 Basics der Physik

## 1.1 Einführung

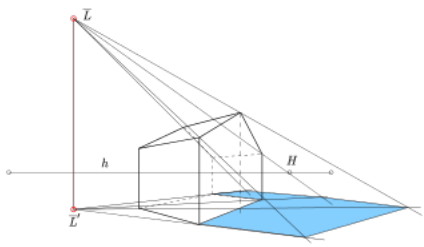
Die **Naturwissenschaft** fasst alle Wissenschaften zur Erforschung der Natur zusammen. Teilgebiete sind beispielsweise die Physik[1], Chemie und Biologie, sowie spezielle Bereiche wie Astronomie, Umweltwissenschaften oder Geologie.

Die Naturwissenschaftler beobachten, messen und analysieren die Zustände und das Verhalten der Natur. Sie verwenden standardisierte Methoden, die die Reproduzierbarkeit[2] ihrer Ergebnisse sichern sollen. Als Schüler der Oberstufe erlernen Sie im Physikunterricht die Grundzüge dieser Arbeitsweise und wenden sie zur Lösung der Übungsaufgaben und Tests an.

Die Arbeitsweise der Physik besteht in einem Zusammenspiel experimenteller Methoden und theoretischer Modellbildung. Wir Physiker verwenden dafür die Sprache der Mathematik in Form von schematischen Darstellungen, Formeln und Grafiken.

Das Verhalten der physikalischen Natur ist sehr komplex und nur unvollständig beschreibbar. Unsere Mathematischen Gesetze sind daher immer auf den zu beschreibenden Vorgang beschränkt. Manchmal verwenden wir sogar ganz verschiedene Modelle[3] für denselben Vorgang und verwenden die Gesetze die gerade besser passen.

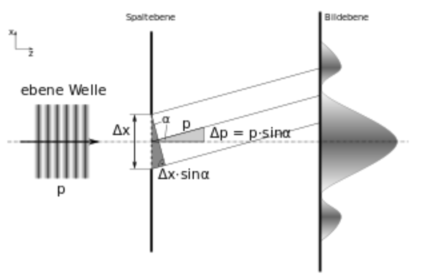
**Ein gutes Modell für Licht: Das Strahlenmodell**




Eine Lichtquelle beleuchtet einen undurchsichtigen Gegenstand und wirft einen Schatten.

1. Mit einem Blatt Papier wird der Schattenraum ausgemessen => Modell von Lichtstrahlen entsteht
2. Mit dem Modell der Lichtstrahlen kann können beliebige Schatten vorhergesagt werden.

**Ein anderes gutes Modell für Licht: Das Wellenmodell**




Ein Laserstrahl wird auf einen kleinen Spalt gerichtet

1. Die Breite des Spalts wird verändert => Modell von Wellen entsteht
2. Mit dem Model können Anordnungen von Atomen berechnet werden

---

[1] Die Physik (über lateinisch physica „Naturlehre“ ) ist eine Naturwissenschaft und untersucht die grundlegenden Phänomene in der Natur. Um deren Eigenschaften und Verhalten anhand von Modellen und Gesetzmäßigkeiten zu erklären, befasst sie sich insbesondere mit unbelebter Materie und Energie und deren Wechselwirkungen in Raum und Zeit.

[2] Reproduzierbar = Wiederholungen der Messung sind möglich und sollen möglichst das zuvor Gemessene bestätigen.

[3] Ein Modell ist ein vereinfachtes Abbild der Wirklichkeit, das bis zu einem gewissen Grad richtig ist und die Natur richtig beschreibt. Bis zu diesem Grad ist der Physiker auch mit diesem Modell zufrieden. Durch neue Experimente kann das vorliegende Modell verbessert oder verfeinert werden. Oder man entwickelt ein neues Modell zu ein und derselben Sache, das dann neben dem ersten Modell auch Gültigkeit besitzt.

Modelle müssen nicht immer durch Verbesserung des alten Modells entstehen, wodurch dann das alte Modell an Richtigkeit verliert und in den Hintergrund rückt. Es können auch mehrere Modelle gleichzeitig zu ein und demselben Phänomen existieren.

**Fazit:**

In den Naturwissenschaften gilt immer das als richtig, was die Natur durch Experimente von sich verrät (durch Messergebnis bzw. die Beobachtung). Die Modelle zur Vorhersage und Beschreibung sind von Menschen gemacht. Das was sich der Mensch also hierzu ausgedacht hat. Damit ist nur insoweit richtig, wie die Natur (also das Experiment) das bestätigt.

Naturwissenschaft ist keine Geisteswissenschaft, da die Natur die Richtlinien vorgibt.

**Aufgabe**

Recherchiere Modelle nach Galilei und Keppler zur Beschreibung unseres Sonnensystems.

**Zum Nachdenken:**

Vor allem Niels Bohr (dänischer Physiker, Nobelpreis 1922) hat seine Studenten immer wieder darauf hingewiesen:

*Kein physikalisches Modell kann uns erklären, wie die Natur funktioniert, es kann stets nur - in gewissen Grenzen - das Verhalten der Natur simulieren.*

Richard Feynman (amerikanischer Physiker, Nobelpreis 1965) wird folgendes Zitat zugeschrieben:

*Es ist unmöglich, die Schönheiten der Naturgesetze angemessen zu vermitteln, wenn jemand die Mathematik nicht versteht. Ich bedaure das, aber es ist wohl so.*

Daraus geht hervor, dass auch unsere Schüler umso besser die **Physik** verstehen und Aufgaben bearbeiten können, desto besser die **Mathematik** beherrscht wird.

## 1.2 Physikalische Größen

Naturwissenschaftler oder Physiker experimentieren und messen dabei bestimmte Größen. Diese müssen korrekt und eindeutig angegeben werden. Zu jeder korrekten Angabe einer Größe gehören eine **Maßzahl** und eine **Einheit**.

**Alltag:**

Die Kantenlänge eines Buches beträgt 22 cm bzw. 220 mm. Diese Angabe bezieht sich auf einen Stab, der genau einen Meter lang ist. 22 cm sind zweiundzwanzig 1/100tel dieses Stabes. Denn, ein Meter ist die Länge eines Stabes, der als Bezug für alle Menschen der Welt in Paris hinterlegt ist – wie umständlich! Auch für das Kilogramm gibt es eine ähnliche Lösung. Besser gesagt, gab es diese Lösungen. Diese Grundeinheiten sind heute sehr viel exakter bestimmt und ganz anders hinterlegt.

**Das Internationale Einheitensystem (SI-System):**

Das Internationale Einheitensystem oder SI (frz. Système international d'unités) ist das am weitesten verbreitete Einheitensystem für physikalische Größen.

Das SI beruht auf sieben Basiseinheiten zu entsprechenden Basisgrößen, zu denen auch die Länge bzw. das Meter gehört. Die Auswahl der Basisgrößen und die Definition der zugehörigen Basiseinheiten erfolgten vor langer Zeit nach praktischen Gesichtspunkten.

Die Einheiten des Internationalen Einheitssystems werden als SI-Einheit bezeichnet, um sie von Einheiten anderer Einheitensysteme abzugrenzen.

**Beispiel:**

Ein Objekt hat die Masse 5 kg.

| Physikalische Größe | Größensymbol | Maßzahl | Einheitenzeichen |
|---|---|---|---|
| Masse | m | {m} = 5 | [m] = kg |
| *auch Formelzeichen genannt* | | *gibt die Menge an* | *kann z.B. auch g, mg oder to sein* |

Anschaulich $m = 5\,kg$

Größe Maßzahl Einheit

## SI-Basisgrößen

Neben der Masse in Kilogramm gibt es sechs weitere Basisgrößen bzw. Einheiten in der Physik, die man einfach festlegen musste und von denen sich alle anderen Größen ableiten lassen.

| **Basisgröße** und **Dimensionsname** | Größensymbol | Einheit | Einheitenzeichen |
|---|---|---|---|
| Zeit[4] | $t$ | Sekunde | s |
| Länge[5] | $l$ | Meter | m |
| Masse | $m$ | Kilogramm | kg |
| Stromstärke | $I$ | Ampere | A |
| Thermodynamische Temperatur | $T$ | Kelvin | K |
| Stoffmenge | $n$ | Mol | mol |
| Lichtstärke | $I_v$ | Candela | cd |

Die Definitionen der Grundgrößen basieren heute auf komplexen Messungen und Annahmen. Genauere Informationen unter folgendem Link:

https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/presse_aktuelles/broschueren/intern_einheitensystem/Die_gesetztlichen_Einheiten_2019_digital.pdf

## Abgeleitete Größen

Neben den Grund- oder Basisgrößen gibt es noch eine Vielzahl **abgeleiteter Größen**, von denen Sie auch schon einige mit Sicherheit kennen (z.B. Fläche, Volumen, Ladung, Widerstand). Abgeleitete Größen werden durch physikalische Gesetzmäßigkeiten aus Grundgrößen oder anderen abgeleiteten Größen festgelegt. Alle übrigen abgeleiteten physikalischen Größen lassen sich also auf die Basisgrößen zurückführen.

[4] Die Festlegung, was 1 Sekunde ist, ist für Sie wahrscheinlich nicht nachvollziehbar. Deshalb kurz: Seit 1967 ist die Sekunde als Vielfaches der Dauer eines gewissen Prozesses in einem Cäsiumatom festgelegt und heißt daher Atomsekunde. Atomuhren basieren auf diesem Prozess. Sie gelten als die genauesten Uhren der Welt.

[5] Die Festlegung, was 1 Meter ist, hat mit der Geschwindigkeit des Lichtes zu tun. Ein Meter ist die Strecke, die das Licht in einem Bruchteil einer Sekunde, nämlich in 1/299792458 s, zurücklegt.

**Zwei Beispiele:**

Die abgeleitete Größe „Fläche“ $A = \ell \cdot b$ länge, breite

Somit ergibt sich für die Einheit der Fläche: $[A] = [\ell] \cdot [b] = m \cdot m = m^2$

Die neue Einheit ist aus der Basisgröße Meter abgeleitet.

---

Die abgeleitete Größe „Druck“ $p = F / A$ Kraft, Fläche

wobei die Kraft selbst eine abgeleitete Größe ist.

Einheit des Drucks: $[p] = \frac{[F]}{[A]} = 1\,\frac{N}{m^2}$

mit der Einheit der Kraft F (lernen Sie später): $[F] = 1N = 1\,\frac{kg\,m}{s^2}$

Demzufolge lässt sich der Druck zurückführen auf:

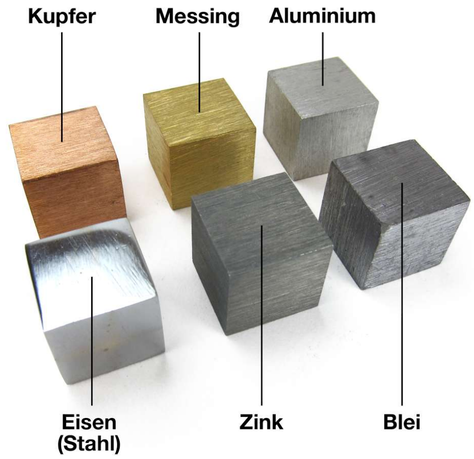
$$[p] = \frac{[F]}{[A]} = 1\frac{\frac{\text{kg m}}{\text{s}^2}}{\text{m}^2} = 1\frac{\text{kg m}}{\text{s}^2\,\text{m}^2} = 1\frac{\text{kg}}{\text{s}^2\,\text{m}}$$

zusammengefasst als neue Einheit: $[p]$=1 Pa (Pascal)

Hinweis: Pa ist keine SI-Einheit, sondern zusammengesetzt aus kg, s und m.

## Aufgaben

1. Die Dichte eines Stoffes ist definiert als Masse pro Volumeneinheit. Dabei kann man von würfelförmigen Körpern, wie rechts abgebildet[6], ausgehen.




Die Formel bzw. das Formelzeichen für die Dichte lautet:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Bestimmen Sie anhand der Formel die Einheit der Dichte in der SI-Basiseinheit.

2. Hookesches Gesetz:

Federn sind dehnbar und in Federwaagen, wie rechts abgebildet[7], enthalten.


Je größer die Masse ist, die sie anhängen, umso weiter dehnt sich die Feder. Begründung: Je größer die Masse, umso mehr zieht die Erde diese Masse an, d.h. umso größer ist die **Kraftwirkung** auf die Masse und umso mehr dehnt sich die Feder. Eine weiche Feder dehnt sich mehr als eine harte Feder. Die **Federhärte D** (physikalische Größe) ist definiert als Quotient aus:

$$D = \frac{F}{s} = \frac{\text{Gewichtskraft in Newton}}{\text{Dehnung in Meter}}$$

Die Einheit der Federhärte ist deshalb: $[D] = \frac{[F]}{[s]} = 1\,\frac{N}{m}$ und das ist völlig in Ordnung, jedoch nicht auf SI-Basiseinheiten zurückgeführt.

Führen Sie die Einheit von D auf SI-Basiseinheiten zurück.

---

[6] aus https://www.hagemann.de/physik/magnetismus/metall-wuerfel-set
[7] aus https://gida.de/testcenter/physik/phys-dvd005/aufgabe_02.htm

## 1.3 Angabe von Messgrößen

In den Naturwissenschaften ist die Darstellung von Zahlen mittels 10er-Potenzen ($3{,}4 \cdot 10^4$) oder Vorsilben (Präfixe wie Kilo, Terra, Milli) üblich und der Übersicht wegen auch notwendig.

**Beispiel:**

Die Dicke eines Kopfhaares beträgt etwa d = 0,00005 m. Die Darstellung als Dezimalzahl ist sehr unübersichtlich. Man kann mit dieser Zahl kaum etwas anfangen, es fehlt ein Vergleich. Außerdem besteht die Gefahr, dass man beim Übertragen der Zahl aufs Papier oder beim Tippen in den Taschenrechner eine Null vergisst, also einen Schreibfehler begeht.

Das Problem ist, dass die Einheit Meter eine ungünstige Einheit ist, um Haardicken zu beschreiben.

Mit Hilfe von **10er-Potenzen** kann man schreiben:

$$d = 0{,}00005\ \text{m} = 5 \cdot 0{,}00001\ \text{m} = 5 \cdot \frac{1}{100000}\ \text{m} = 5 \cdot 10^{-5}\ \text{m} = 50 \cdot 10^{-6}\ \text{m}$$

Geschickt wäre die Angabe: $d = 50 \cdot 10^{-6}$ m, siehe Aufgabe.

Darstellung mit Hilfe von **Vorsilben (Präfixe)**:

1 Kilometer = 100.000 Zentimeter = 1.000.000 Millimeter,

bzw. 1 km = 100.000 cm = 1.000.000 mm

1 Millimeter = 0,1 Zentimeter = 0,000.001 Kilometer,

bzw. 1 mm = 0,1 cm = 0,000.001 km

Manche Angaben sind hier einfach unübersichtlich. Besser 1,3 km als 1.300.000.000 µm.

Zurück zur Haardicke:

d = 0,00005 m = 0,005 cm = 0,05 mm = 50 µm (50 Mikrometer)

### Aufgabe

Diskutieren Sie mit einem Mitschüler, warum bei 10er-Potenzen die Exponenten der 3er-Reihe besonders hilfreich sind.

| Die für FOSBOS Schüler wichtigen Präfixe im SI[8] | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Symbol** | **Name** | **Wert (Potenz, Zahl, Zahlwort)** | | |
| **P** | Peta | $10^{15}$ | 1.000.000.000.000.000 | Billiarde |
| **T** | Tera | $10^{12}$ | 1.000.000.000.000 | Billion |
| **G** | Giga | $10^{9}$ | 1.000.000.000 | Milliarde |
| **M** | Mega | $10^{6}$ | 1.000.000 | Million |
| **k** | Kilo | $10^{3}$ | 1.000 | Tausend |
| **h** | Hekto | $10^{2}$ | 100 | Hundert |
| **da** | Deka | $10^{1}$ | 10 | Zehn |
| **—** | — | $10^{0}$ | 1 | Eins |
| **d** | Dezi | $10^{-1}$ | 0,1 | Zehntel |
| **c** | Zenti | $10^{-2}$ | 0,01 | Hundertstel |
| **m** | Milli | $10^{-3}$ | 0,001 | Tausendstel |
| **µ** | Mikro | $10^{-6}$ | 0,000.001 | Millionstel |
| **n** | Nano | $10^{-9}$ | 0,000.000.001 | Milliardstel |
| **p** | Piko | $10^{-12}$ | 0,000.000.000.001 | Billionstel |
| **f** | Femto | $10^{-15}$ | 0,000.000.000.000.001 | Billiardstel |
| **a** | Atto | $10^{-18}$ | 0,000.000.000.000.000.001 | Trillionstel |

Die Zeichen für Teile einer Einheit werden als Kleinbuchstaben geschrieben, während die meisten Zeichen für Vielfache einer Einheit als Großbuchstaben geschrieben werden. Ausnahmen von dieser Systematik sind aus historischen Gründen die Zeichen für Deka (da), Hekto (h) und Kilo (k).

[8] aus https://de.wikipedia.org/wiki/Vorsätze_für_Maßeinheiten

## Aufgaben

2. Ergänzen Sie die Tabelle aus.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $10^0$ | | $10^{-2}$ | | $10^{-x}$ | $10^2$ | | $10^6$ | $1{,}2 \cdot 10^9$ |
| = | = | = | = | = | = | = | = | = |
| | 0,1 | | 1/1000 | | | 1000 | | |

3. Schreiben Sie die Zahlen als Produkt einer reellen Zahl und einer Zehnerpotenz.

a) 6.000.000 b) 445.000.000.000 c) 0,000.04

d) 0,000.52 e) $\frac{1}{0{,}005}$ f) -0,052

4. Ordnen Sie die Vorsilben Kilo-, Mega-, Milli-, Mikro-, Nano-, Dezi-, Zenti- den folgenden Maßangaben zu:

3 MHz 25 kJ 3 GW 12 mg 5 dl 25,4 cm 8 µm 2,1 ns

5. Geben Sie allen nachfolgenden Aufgaben die Größen in der gewünschten Einheit und **falls sinnvoll**, mit Zehnerpotenzschreibweise an:

4.1 400 g, 0,4 g, 40 g, 400 000 g, 0,00004 g jeweils umrechnen in kg

4.2 34500 m, 0,345 m, 34,5 m, 0,0345 m, 0,00345 m jeweils umrechnen in: cm und km.

4.3 8000 mm jeweils umrechnen in: km, m, cm, µm und nm.

4.4 25 000 µm jeweils umrechnen in: nm, mm, cm, m und km.

4.5 78 s, 2 d jeweils umrechnen in: min, h und ms.

4.6 1,25 h, 1 a jeweils umrechnen in: min, s, ms und µs .

4.7 14 $cm^2$ , 0,2 $km^2$ jeweils umrechnen in: $mm^2$, $dm^2$ und $m^2$

4.8 4,2 $m^3$, 0,06 $km^3$ jeweils umrechnen in: $dm^3$, $cm^3$ und $mm^3$

## 1.4 Messfehler und ihre Folgen

Jede Messung einer physikalischen Größe ist aus den verschiedensten Gründen mit Fehlern behaftet. Um möglichst genaue Messungen durchführen zu können bzw. um die Genauigkeit bereits durchgeführter Messungen einschätzen zu können, muss man die Ursachen für Messfehler, die Größen solcher Fehler und ihre Auswirkungen auf die **Genauigkeit des Ergebnisses** kennen.

Ursachen für Messfehler:

**a) Fehler beim Aufbau der Experimentieranordnung (Versuchsaufbau)**

**Beispiel:** Sie wollen die Geschwindigkeit eines Spielzeugautos messen. Die Startzeit des Autos stimmt, bedingt durch einen Fehler beim Aufbau des Versuches, nicht mit der Startzeit der Stoppuhr überein, was natürlich zu Fehlern in der Zeitmessung führt.

**b) Fehler in den Messgeräten oder Messmitteln**

**Beispiel:** Ein Lineal ist nur auf den Millimeter genau (Fehler +/- 0,5mm). Ein herkömmliches Thermometer ist nur auf 1° C (Fehler +/- 0,5 °C) genau. Ohne dass Sie hier einen Ablesefehler begehen, ist die Genauigkeit dadurch eingeschränkt. D.h. Wenn ein Gegenstand eine tatsächliche Länge von 2,77 mm hat, werden Sie diese Länge mit dem Lineal einfach nicht messen können. Sie erkennen vielleicht, dass sich die Länge des Gegenstands zwischen zwei Millimetermarkierungen befindet, und nehmen 2,5 mm an. Damit ist aber bereits der Fehler passiert.

**c) Fehler beim Experimentator**

**Beispiele:**

- Sie lesen am Messgerät, z.B. Spannungsmesser, falsch ab.
- Sie legen ein Lineal falsch an.
- Sie messen eine Zeit mit der Handstoppuhr und stoppen zu früh oder spät.
- Sie verwenden unzweckmäßige Messgegenstände.

**d) Fehler durch die Umgebung**

**Beispiele:**

- Umgebungstemperatur verfälscht das Ergebnis, z.B. bei Experimenten zur Wärmelehre
- Luftdruckschwankungen
- Erschütterungen (Erdvibration)
- Manche Versuche müssen wegen Luftreibung oder Oxydation im Vakuum, also im luftleeren Raum, durchgeführt werden.

**Aufgabenbeispiel:**

Sie wollen die Fläche eines Quadrates mit einem normalen Lineal durch Messen berechnen. Die Kantenlänge, die Sie nun ja erst mal messen müssen, beträgt genau 10,0 cm.

Als Fehlerquellen, die hier möglich sind, kommen in Frage:

b) Fehlerquelle durch das Messmittel: Ihr Lineal selbst, die Millimetereinteilung.

c) Ablesefehler durch sie selbst.

Ihre Messung wird also mit einem Fehler von vielleicht bis zu 1 mm behaftet sein. Sie lesen am Lineal z.B. 10,05 cm ab, obwohl die Kantenlänge genau 10,00 cm beträgt oder Sie lesen 9,95 cm ab.

Ansatz: Kantenlänge $a = 10$ cm $\pm$ 0,05 cm (Fehlerbereich 1 mm)

Berechnung: $A = A_{max} = 10{,}05^2\ cm^2 = 101\ cm^2$ bzw. $A = A_{min} = 9{,}95^2\ cm^2 = 99\ cm^2$

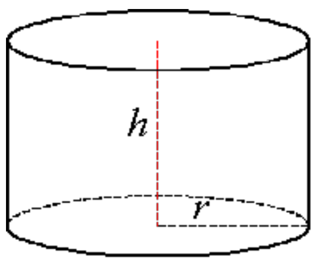
Ein Unterschied im Ergebnis, der ganz normal ist und ständig passieren wird. Auch in Ihren Aufgaben und Auswertungen werden innerhalb der Klasse in den Ergebnissen kleine Unterschiede sichtbar werden – so wie im richtigen Leben – und das ist völlig in Ordnung!

Aufgaben

1. Berechnen Sie $A_{max}$ und $A_{min}$ für einem Bereich des Messfehlers von 1 cm, also von 9,5 cm $\leq a \leq$ 10,5 cm.

2. Berechnen Sie die Auswirkungen des Fehlerbereiches aus Aufgabe 1. für das Volumen eines Würfels mit Kantenlange a, also falls gilt: 9,5 cm $\leq a \leq$ 10,5 cm

3. Das Volumen eines Kreiszylinders berechnet sich nach der Formel $V = r^2\pi\, h$. Für h und r gelte jeweils h = r = 10,0 cm.




3.1 Berechnen Sie das exakte Volumen $V_1$.

3.2 Berechnen Sie das Volumen $V_2$ wenn h um 2% zu groß und r um 5% zu groß gemessen wird.

3.3 Berechnen Sie das Volumen $V_3$, wenn h um 5% zu groß und r um 2 % zu groß gemessen wird.

3.4 Begründen Sie, warum Sie nicht dasselbe Ergebnis wie in 3.2 erhalten.

## Vereinbarung für berechnete Ergebnisse!

Um eine „Scheingenauigkeit“ von physikalischen Größen zu vermeiden, benutzen wir zur **Darstellung der Ergebnisse** gerne die Schreibweise mit Zehnerpotenzen. Für die Maßzahl der physikalischen Grüße y gilt dann:

$$\{y\} = a \cdot 10^b$$

a ist eine reelle Zahl in Bereich $1 \leq a \leq 9$ mit beliebig vielen Nachkommastellen und b ist eine ganze Zahl z.B. $5{,}76477 \cdot 10^3$ g.

Beim Rechnen mit physikalischen Größen gelten ab jetzt folgende Grundregeln für die Genauigkeit des Ergebnisses, wenn für das Ergebnis keine spezielle Fehlerrechnung durchgeführt wird oder die Anzahl der Ziffern vorgegeben ist.

a. Die Anzahl der zählenden Stellen bestimmt die Genauigkeit des Ergebnisses, dessen letzte Stelle gerundet wird.
b. Bei Summen und Differenzen ist die Zahl der zählenden Stellen selbstkritisch zu entscheiden.
c. Stellt eine physikalische Größe ein Produkt oder einen Quotienten dar, so hat der Zahlenwert des Ergebnisses höchstens so viele zählende Stellen wie der Zahlenwert mit der geringsten Anzahl zählender Stellen.

Zu a. Anzahl der zählenden Stellen.

Es zählen alle Ziffern und alle nullen rechts der letzten Ziffer $\neq 0$. Ups, das ist im Beispiel etwas einfacher zu verstehen:

| | |
|---|---|
| $5{,}0\ 10^3$ kg; 13 kg; 1,2 m; 0,0020 km | immer **zwei** zählende Stellen |
| 5,00 kg; 333 A; 1,09 mm; 0,00100 K | immer **drei** zählende Stellen |
| 5000 kg; 0,01234 g; 1,000 V | **vier** zählende Stellen |
| 0,005 kg; 7 W; $2 \cdot 10^{23}$ µm | **eine** zählende Stelle |

Beispiele:

| | |
|---|---|
| $3{,}77737\ \text{kg} \cdot 9{,}81\ \text{m/s}^2 = (37{,}0559997\ \text{N}) = 37{,}1\ \text{N}$ | (6 Ziffern) · (**3** Ziffern) = (**3** Ziffern) |
| $3\ \text{m} \cdot 122{,}3\ \text{cm} \cdot 14\ 10^3\ \text{mm} = (51{,}366\ \text{m}^3) = 5\ 10^1\ \text{m}^3$ | (**1** Z) (4 Z) (2 Z) = (**1** Z) |

Keine Sorge, wir sind nicht strenger als gefordert. Die Genauigkeit des Ergebnisses darf bei den Ziffern auch mal eine mehr oder weniger haben, das ist für uns okay. (Toleranz plus/minus eine Stelle) Im Beispiel ist damit 37 N und 37,1 N und 37.06 N voll korrekt, nur für 37,055 N müssen wir einen halben BE abziehen.

## 1.5 Das Experiment

Die genaue Beschreibung von Naturvorgängen bzw. von Experimenten ist eine wesentliche Aufgabe des Physikers bzw. des Naturwissenschaftlers **und unserer Schüler**. Es kommt auf genaue Beobachtung und klare Formulierung an. Ein Experiment ist genauso zu gliedern, wie ein Deutschaufsatz und für alle Gliederungspunkte werden BEs vergeben!

Manchmal macht man Experimente und hat keine Ahnung, was herauskommt. Deshalb macht man sie ja! Manchmal ist es aber auch so, dass man eine Vermutung hat und diese eben durch Messung (Befragung der Natur) bestätigen oder widerlegen will.

**a) Ziel des Experiments:**

Wenn Sie ein Experiment beschreiben, müssen Sie zunächst erklären, welches Ziel sie verfolgen. „Ich will zeigen in welcher Weise die *Größe A* (Messgröße) von der *Größe B* (Stellgröße) abhängt. Daraus ermittle ich die *Systemgröße X*."

**b) Aufbau und Durchführung:**

**1.** Der Aufbau wird skizziert und die Teile des Versuches benannt.

**2.** Die Durchführung des Versuches wird Schritt für Schritt erklärt, insbesondere wie und in welcher Form die Stellgrößen verändert werden und wie und mit welchen Geräten die Messgröße gemessen wird. Zudem werden die Größen benannt, die konstant bleiben.

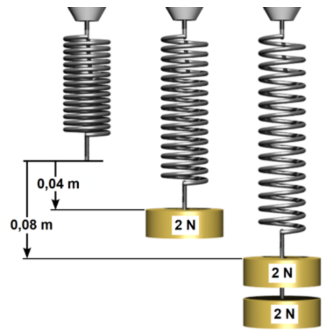
Die Messgröße ist klar zu benennen und muss zum oben genannten Ziel führen. (Anmerkung: Bei der Erklärung des Versuches hat die Beobachtung bzw. das Ergebnis des Versuches noch nichts verloren.)

**c) Beobachtung und Ergebnis:**

Bei der Erklärung eines Versuchsergebnisses kommt es darauf an die Gedankenkette, die zur Erklärung eines Versuches führt, klar und übersichtlich darzustellen. Dabei müssen sie in der Regel auf schon Gelerntes zurückgreifen. Oft muss man mit den Messergebnissen zuerst eine Rechnung anstellen, um zu einer sinnvollen Deutung zu gelangen. Oft muss man das Ergebnis erst grafisch darstellen und die Grafik auswerten.

**Beispiel: Bestimmung der Federhärte D einer Feder – Hookesches Gesetz**

a) Ziel:




Das Gesetz von HOOKE beschreibt die Wirkung einer Kraft auf elastische Körper (hier eine Feder). Die Federhärte D beschreibt die Elastizität einer Feder und ist damit eine Eigenschaft der Feder. D soll im Folgenden bestimmt werden, indem die Zugkraft verändert wird und die Längenänderung gemessen wird.

b) Versuchsaufbau und Durchführung:

Zum Versuchsaufbau (Bild rechts[9]) gehören eine Feder und vier Massestücke mit jeweils 0,2 kg, auf die jeweils eine Gewichtskraft

---

[9] aus http://scienceblogs.de/hier-wohnen-drachen/2016/05/27/die-gleichungen-der-physik-das-hookesche-gesetz/

von 2 N wirkt. Die Feder wird oben befestigt und befindet sich zunächst im entspannten Zustand. Das Ende der Feder wird mit einem waagrechten Strich markiert, so dass wir für die Dehnung s einen Bezugspunkt vorliegen haben.

Wird die entspannte Feder durch ein Massestück belastet, auf das die Gewichtskraft 2 N wirkt, so dehnt sie sich um die Strecke s = 0,04 m, die danach mit einem Lineal gemessen wird. (Bild Mitte).

Das Experiment besteht nun darin, dass nacheinander weitere Massestücke angehängt werden und die Dehnung s gemessen wird (Bild rechts). Man erhält:

| F in N | 2 | 4 | 6 | 8 |
|---|---|---|---|---|
| Dehnung s in m | 0,04 | 0,08 | 0,12 | 0,16 |

$c_1$) Beobachtungen und Ergebnis **(1. rechnerische Auswertung)**:

1. Je größer F, umso größer ist s.
2. Der Quotient $\frac{F}{s}$ ist für jede Messung konstant. Es gilt: $\frac{F}{s} = 50\ \frac{N}{m}$

| $\frac{F}{s}$ in $\frac{N}{m}$ | 50 | 50 | 50 | 50 |
|---|---|---|---|---|

Der Quotient $\frac{F}{s} = k$ ist deshalb konstant, weil bei Verdopplung (Verdreifachung) von F sich auch s verdoppelt (verdreifacht). Einen solchen Zusammenhang zwischen zwei Größen nennt man **direkte Proportionalität**. Der konstante Wert heißt **Proportionalitätskonstante k.**

Man schreibt: $F \sim s$ oder als Gleichung $F = k\,s$

Die Proportionalitätskonstante k hat immer eine physikalische Bedeutung. Hier stellt sie die Härte D der Feder dar.

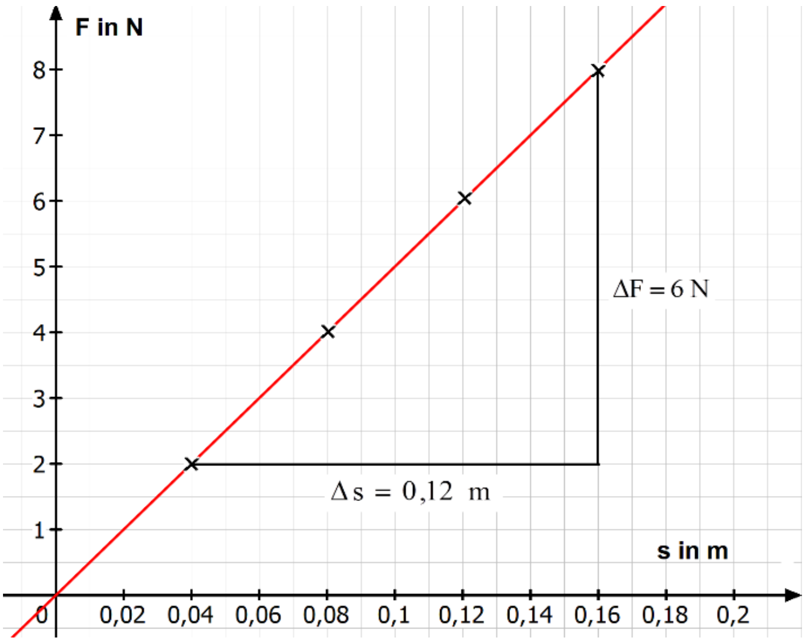
$D = \frac{F}{s}$ wobei $[D] = \frac{N}{m}$. Dieser Sachverhalt ist als Hookesches Gesetz bekannt.

Für die Feder aus dem Versuch beträgt die Federhärte $D = 50\ \frac{N}{m}$

$c_2$) Beobachtung und Ergebnis **(2. grafische Auswertung)**:

1. Je größer F, umso größer ist s.
2. Die vier Messpunkte/Wertepaare können in ein s-F-Diagramm gezeichnet werden.

| F in N | 2 | 4 | 6 | 8 |
|---|---|---|---|---|
| Dehnung s in m | 0,04 | 0,08 | 0,12 | 0,16 |




Für die Tabelle und den Grafen gilt:

1. Verwenden Sie <u>mindestens</u> eine halbe DIN A4 Seite dafür.

2. Mit Bleistift zeichnen, exakt auf dem Karo der Seite.

3. Achsen passend skalieren und beschriften.

4. Grafische Auswertung (hier Steigungsdreick) sauber einzeichnen und beschriften.

Die vier Messpunkte lassen sich in eindeutiger Weise zu einer Ursprungsgeraden verbinden.

Die Ursprungsgerade deutet auf eine direkte Proportionalität zwischen s und F hin.

Man schreibt:

$F \sim s$ oder als Gleichung $F = k\,s$ oder

$$k = \frac{F}{s} = \frac{\Delta F}{\Delta s} = \frac{6\text{ N}}{0{,}12\text{ m}} = 50\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$$

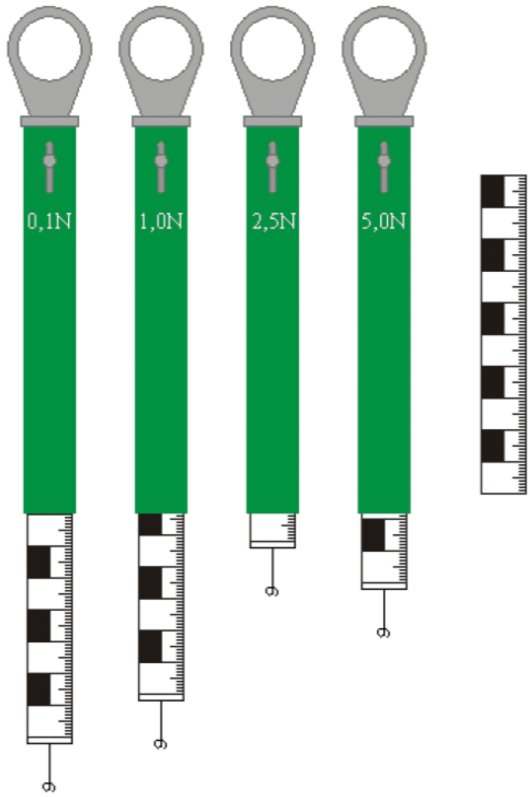
Die Proportionalitätskonstante k hat immer eine physikalische Bedeutung. Hier stellt sie die Härte D der Feder und die Steigung der Geraden im s-F-Diagramm dar.

Für die Feder aus dem Versuch beträgt die Federhärte $D = \frac{F}{s} = \frac{\Delta F}{\Delta s} = \frac{6\text{ N}}{0{,}12\text{ m}} = 50\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$

## Aufgaben

1.0 Ablesen von Kraftmessern

Ein Federkraftmesser enthält eine Feder, die mit einer Skala verbunden ist. Wirkt auf die Federkraftwaage eine Kraft F, so dehnt sich die Feder um die Strecke s und es kann, falls das Instrument richtig geeicht ist, diese Dehnung als Kraftbetrag interpretiert werden. Rechts abgebildet sehen Sie vier Federwaagen. Die Kraftbeträge, die auf dem Gehäuse stehen, sind die Maximalkräfte, die angezeigt werden können. (Aus Leifiphysik)




1.1 Bestimmen Sie damit die Kraftbeträge F, die auf die Federn wirken.

1.2 Der Hersteller der Kraftmesser gibt eine Messgenauigkeit von 0,5% vom **Endausschlag** an.

Berechnen Sie dann jeweils für die vier Kraftmesser den **absoluten** Fehler bei der Messung.

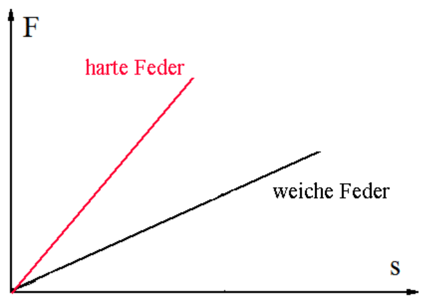
**Hinweis:** Hier gilt also für den absoluten Fehler = Messbereich $\cdot 0{,}5 \cdot 0{,}01$

1.3 Der relative Fehler stellt einen Bezug zum Messwert her. Dabei gilt:

$$\text{rel. Fehler} = \frac{\text{abs. Fehler}}{\text{Messwert}}$$

Berechnen Sie auch in allen vier Fällen den relativen Fehler und zeigen Sie auf, bei welcher Messung der relative Fehler besonders groß ist und begründen Sie das.

2. Zwei verschiedene Federn werden gedehnt. Im nebenstehenden Diagramm wird auf der horizontalen Achse die Strecke s, um die die Federn jeweils gedehnt werden, und auf der vertikalen Achse der Betrag F der Kraft, die für die jeweilige Dehnung benötigt wird, aufgetragen.




Begründen Sie, warum zur steileren Geraden der Begriff "harte Feder" und zur flacheren Geraden der Begriff "weiche Feder" geschrieben wurde. (Aus Leifiphysik)

3.0 Die Messung der Verlängerung einer Schraubenfeder ergab die folgenden Messwerte:

| F in N | 5 | 10 | 15 | 25 |
|---|---|---|---|---|
| Dehnung s in cm | 3,5 | 7,0 | 10,5 | 16 |

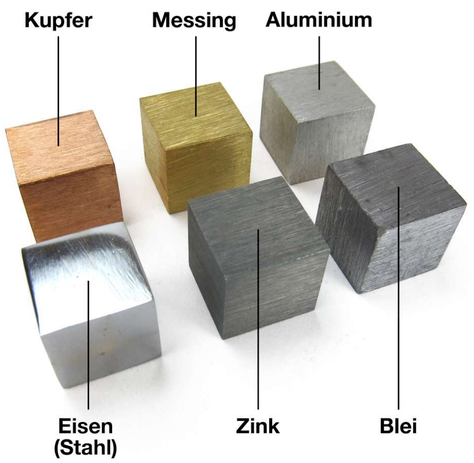
3.1 Zeichnen Sie ein s-F-Diagramm (Bezeichnung entspricht immer dem x-y-Diagramm, hier ist s an der x-Achse und F an der y-Achse anzutragen). Erklären Sie den letzten Messpunkt.

3.2 Bestimmen Sie die Federhärte D. (Notergebnis: $D = 140\ \text{N m}^{-1}$)

3.3 Berechnen Sie, welche Kraft F nötig ist, um die Feder um 8 cm zu dehnen.

3.4 Berechnen Sie, welche Dehnung eine Kraft von 8 N erzeugt.

## 1.6 Bestimmung der Dichte von Körpern




Die Dichte eines Stoffes ist definiert als Masse pro Volumeneinheit. Dabei kann man von würfelförmigen Körpern, wie rechts abgebildet, ausgehen.

Die Formel bzw. das Formelzeichen für die Dichte lautet:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Die Dichte eines Stoffes ist also seine Masse pro Volumeneinheit.

Einheit: $[\rho] = \frac{[m]}{[V]} = \frac{g}{cm^3} = \frac{kg}{dm^3}$ oder auch $\frac{kg}{m^3}$

**Verdeutlichung:** Hat ein Körper eine Dichte von $5\,\frac{g}{cm^3}$, dann heißt dies, dass ein Würfel mit 1 cm Kantenlänge ($V = 1\ cm^3$) dieses Stoffes 5 g Masse besitzt.

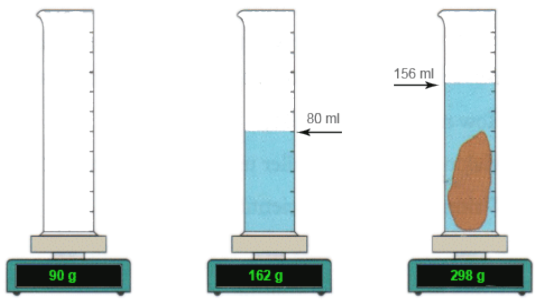
**Tabelle ausgewählter Stoffe:**

| Stoff/Element | Dichte in $\frac{g}{cm^3}$ |
|---|---|
| Schaumteile je nach Art | 0,01-0,3 |
| Holz lufttrocken | 0,4-0,8 |
| Eis bei 0°C | 0,917 |
| Wasser bei 0°C | 1,0 |
| Beton | 2,0 |
| Aluminium | 2,7 |
| Eisen | 7,8 |
| Blei | 11,3 |
| Gold | 19,3 |
| Platin | 21,5 |

Um die Dichte eines Stoffes zu bestimmen, benötigt man seine Masse und sein Volumen. Da Körper nicht immer würfelförmig sind, benötigt man für die Bestimmung des Volumens oft einfallsreiche Zusatzexperimente.

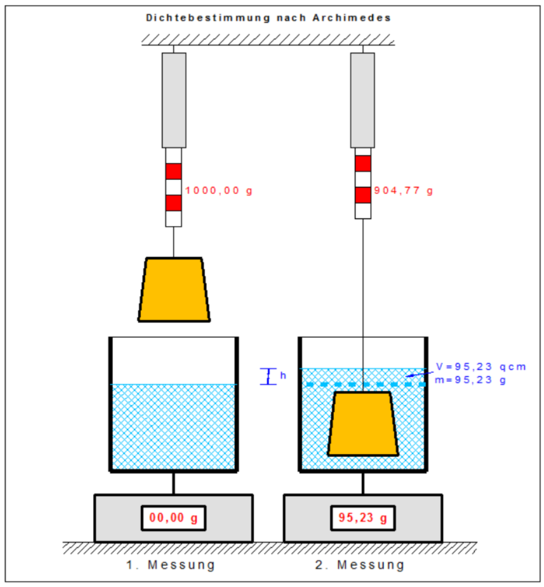
Ist die Dichte eines unregelmäßigen Körpers, dessen Volumen nicht durch gängige Formeln bestimmbar ist, zu berechnen, so kann man wie folgt vorgehen.  Die Masse des Steines lässt sich ganz normal über eine Waage bestimmen. Für das Volumen braucht man einen Trick:

a) Versenkt man den Stein in einem wassergefüllten Messbecher[10], so ergibt sich das Volumen aus dem Anstieg der Flüssigkeit.




b) Sehr genau ist auch die folgende Methode[11] zur Bestimmung des Volumens. Sie beruht auf dem Archimedischem Prinzip.

Formuliere eine Anleitung und Auswertung zu diesem Versuch!




[10] aus https://physik.cosmos-indirekt.de/physik-schule/01_messung_und_einheit/04_Bestimmung_von_Dichte_und_Volumen.php
[11] aus https://aurum-proofx.de/wissen/archimedes/

## Aufgaben

1.0 Dichte von Aluminium und Stahl

| m in g | Aluminium V in cm³ | $\frac{m}{V}$ in $\frac{g}{cm^3}$ | m in g | Stahl V in cm³ | $\frac{m}{V}$ in $\frac{g}{cm^3}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 50 | 18 | | 50 | 6,5 | |
| 100 | 36 | | 100 | 13 | |
| 150 | 54 | | 150 | 19,5 | |

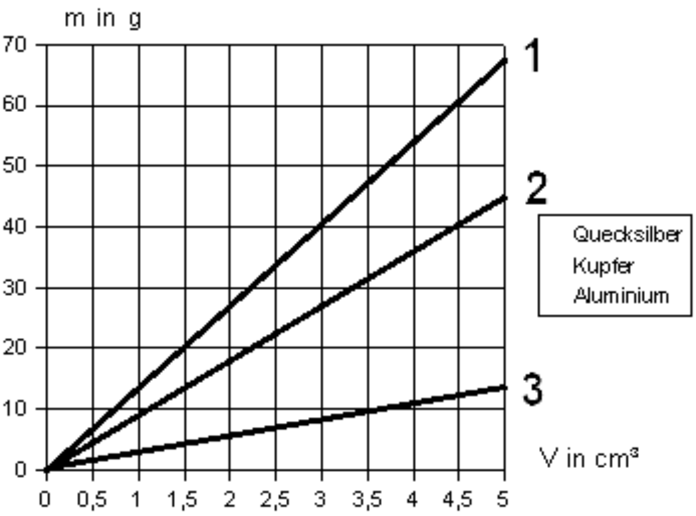
1.1 Vervollständigen Sie die Tabelle.

1.2 Zeichnen Sie ein V-m-Diagramm (x-y-Diagramm, V → x und m → y) und tragen Sie alle Werte ein. (2 cm = 10 cm³ horizontal, 4 cm = 50 g vertikal)

1.3 Erklären Sie in Worten, weshalb V und m einander direkt proportional sind.

1.4 Bestimmen Sie anhand ihrer Zeichnung die Dichte von Stahl und die von Aluminium.

2. Bestimmen Sie mit Hilfe der Geraden 1, 2 und 3 die Dichte der Metalle und ordnen Sie den Geraden die Metalle zu[12].




3. Ein Mann hat die Masse 80,0 kg. Er besitzt 5,9 ℓ Blut der Dichte $\rho = 1{,}06\ \frac{g}{cm^3}$

   Berechnen Sie, wie viel Prozent seiner Gesamtmasse das Blut ausmacht.

4. Berechnen Sie die Dichte (in $g \cdot cm^{-3}$) eines Materials, von dem ein Würfel mit der Kantenlänge 17 mm die Masse 35,2 g besitzt.

---

[12] aus http://dieter-heidorn.de/Physik/VS/Kraft/Dichte/Dichte.html

5. Berechnen Sie die Masse von 0,53 ℓ Dieselöl ($\rho = 0{,}86\ \frac{g}{cm^3}$).

6. Berechne das Volumen eines Körpers aus Aluminium ($\rho = 2{,}7\ \frac{g}{cm^3}$), dessen Masse 370g ist.

7. Die Tragfähigkeit eines Güterwagens sei 25 t, seine Ladefläche beträgt 25 m².
   Berechnen Sie, wie hoch Sand ($\rho = 1{,}5\ g{\cdot}cm^{-3}$) in den Güterwagen eingefüllt werden darf. Nehmen Sie dabei an, dass die Ladung eine Quaderform hat.

8. Sirius B ist ein Stern, der zur Klasse der "weißen Zwerge" gehört. Er hat eine Dichte von ca. $\rho = 10^6\ \frac{g}{cm^3}$ .

   Berechnen Sie das Volumen eines Menschen mit 75kg Masse, wenn er aus dem Material wie Sirius B bestünde.

Zur Vertiefung für kreative Köpfe

9. Regelmäßige Körper

   Bestimmen Sie experimentell die Dichte von festen Stoffen, die als regelmäßige Körper (Quader, Zylinder, Kugel) vorliegen. Beispiele dafür sind: Geldmünzen, Glaskugeln.

10. Unregelmäßige Körper

   Bestimmen Sie experimentell die Dichte von festen Stoffen, die ihnen als unregelmäßige Körper (Stein, Radiergummi) vorliegen.

## 1.6 Gemischte Aufgaben

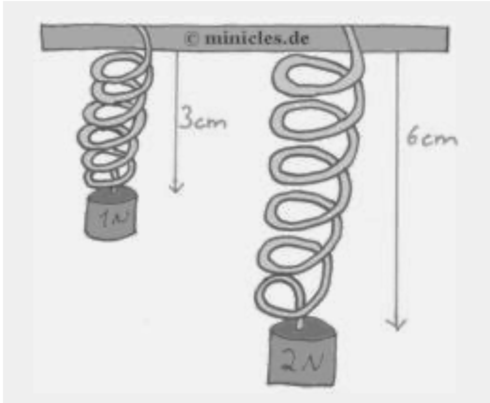
1. Aluminiumbronze ist eine Legierung, die massenmäßig etwa aus 20% Aluminium und 80% Kupfer besteht (es gibt auch andere Mengenverhältnisse). Ein Schiffspropeller hat eine Masse von einer Tonne. Berechnen Sie das Volumen des Propellers in der Einheit dm³.

2. Stellen Sie die folgende Gleichung nach x um:

$$\frac{2\,c}{3\,a\,b\,x} = \frac{8\,c}{12\,e}$$

3. Rechnen Sie $3600\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$ in $\frac{\text{mm}}{\text{s}}$ um. Erklären Sie jeden Schritt ihres Vorgehens schriftlich in Worten.

4. Zugfedern[13]




4.1 Bestimmen Sie die Federhärte der abgebildeten Feder in den Einheiten $\frac{\text{N}}{\text{m}}$, $\frac{\text{N}}{\text{cm}}$ und $\frac{\text{mN}}{\text{m}}$

4.2 Berechnen Sie die Dehnung der Feder, falls eine Kraft von $F = 18\text{ N}$ auf die Feder wirkt.

4.3 Eine andere Feder hat die Härte $D = 0{,}5\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$. Begründen Sie, ob diese Feder härter oder weicher ist als die Feder aus Aufgabe 4.1.

5.0 Die Temperatur T wird in den USA nicht in Grad Celsius °C gemessen, sondern in °F (Grad Fahrenheit). Der Zusammenhang zwischen beiden Größen ist linear. Es gilt:

$$T(x) = \frac{9}{5}x + 32$$

Dabei ist T die Temperatur in °F und x die Temperatur in °C.

5.1 Zeichnen Sie ein x-T-Diagramm, so dass gängige mitteleuropäische Temperaturen abgelesen werden können.

5.2 Rechnen Sie exakt $x = 30$°C in °F um und überprüfen Sie ihre Rechnung mit Hilfe des Diagramms.

5.3 Rechnen Sie exakt 212°F in °C um und prüfen Sie ihre Rechnung mit Hilfe des Diagramms.

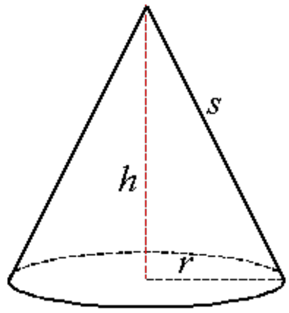
6. Prüfen Sie, welche Maßzahl {y} und welche Einheit [y] für die Größe y bei dem folgenden Durcheinander am Schluss herauskommt.

$$y = \frac{16 \cdot \text{kg}^2 \cdot \frac{2}{3}\text{s}^2}{\frac{1}{3} \cdot \text{dm}^3 \cdot 2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^2}$$

---

[13] aus http://www.minicles.de/physik/kraft/hookesche%20gesetz.htm

7. Ein Kreiskegel[14] besitzt den Radius r = 5 cm, besteht aus Platin und besitzt eine Masse von 3 kg.




7.1 Berechnen Sie seine Höhe h in cm.

7.2 Bei gleicher Grundfläche, also für r = 5cm, soll nun die Höhe h* so gewählt werden, dass ein Kreiskegel aus Gold dieselbe Masse hat. Berechnen Sie h*.

7.3 Berechnen Sie die Kantenlänge a eines Würfels aus Gold, der dieselbe Masse wie der Kegel aus 7.2 besitzt.

7.4 Bestimmen Sie, wie sich die Masse des Würfels aus 7.3 verändert, falls man die Kantenlänge a verdoppelt.

7.5 Bestimmen Sie, wie sich die Masse des Würfels aus 7.3 verändert, falls man die Kantenlänge a und 10% vergrößert.

[14] aus https://ssl.gymnasium-zwettl.ac.at/fachwissen/physik/vorlesung/PHYSIK/repetitorium/mathematik/6/06.html

## 1.7 Der Kraftbegriff

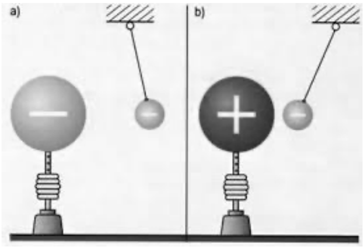
In unserem Sprachgebrauch verwenden wir den Begriff „Kraft“ oftmals anders als die Physik ihn versteht. Sprechen wir von Waschkraft, Kraftakt oder Überzeugungskraft hat das nichts mit Physik zu tun, anders bei Gewichtskraft, Reibungskraft oder Anziehungskraft.

Auch sprechen wir Physiker nicht davon, dass jemand Kraft hat, sondern wir erkennen an verschiedenen Wirkungen das Auftreten einer Kraft.

Kräfte treten in der Wechselwirkung zwischen mehreren Körpern oder Objekten auf. Beispielsweise:

1. Eine Hantel selbst hat eine Masse und wird von der Erde angezogen, ebenso zieht die Hantel auf die gleiche Weise die Erde an (Wechselwirkung, ***Gravitationskraft***).

2. Ungleichnamige elektrische Ladungen ziehen sich an, gleichnamige Ladungen stoßen sich ab. Rechts abgebildet[15] sehen sie die wechselseitigen Kräfte elektrischer Ladungen. Eine Ladung allein hat keine Kraft. Sie braucht mindestens eine weitere Ladung zur Wechselwirkung. (***elektrische Kräfte***)




3. Bei Magneten ziehen sich ungleichnamige Pole an, gleichnamige Pole stoßen sich ab. Ein Magnet alleine hat keine Kraft. Sie brauchen mindestens einen weiteren Magneten oder ferromagnetischen Werkstoff zur Wechselwirkung. (***magnetische Kraft***)

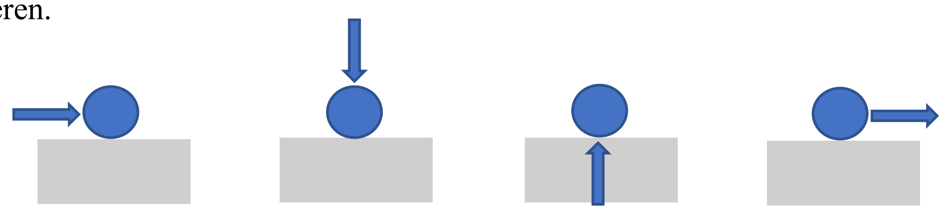
### Einheit und Formelzeichen

Die Kraft wird in der Physik mit dem Größensymbol F bezeichnet (engl.: force). Die Einheit der Kraft ist das Newton.

$$[F] = 1\ \mathrm{N}$$

### Die Kraft ist eine vektorielle Größe

Je nachdem, in welcher Richtung eine Kraft auf einen Körper einwirkt, wird er unterschiedlich darauf reagieren.



Vektorielle Größen bestehen aus einem Betrag (Zahlenwert) und aus einer Richtung mit Angriffspunkt.

---

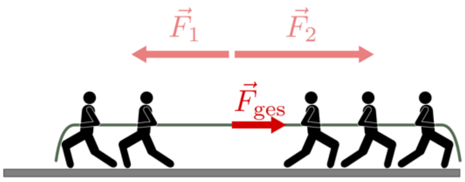
[15] aus http://schulphysik.com/inline/html/Atome/

**Beispiel:**

Eine Kraft von 3 N wirkt auf die Mitte der Kugel nach rechts, dabei wird die Kugel nach rechts gerollt.

Eine Kraft von 10,5 N wirkt senkrecht von oben auf eine Kugel. Die Unterlage wird nun ein wenig stärker eingedrückt.

Im Bild[16] rechts findet ein Tauziehen statt.

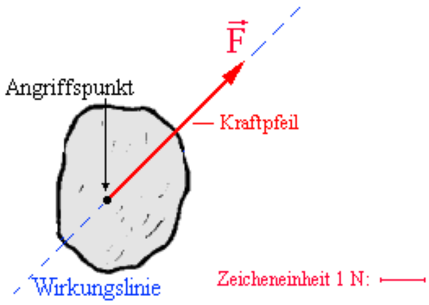



Jede der fünf Personen zieht mit demselben Kraftbetrag, z.B. F = 500 N. Völlig einleuchtend ist, dass es hier darauf ankommt, wie viele Personen in welche Richtung ziehen.

Sie sehen im Bild, dass eine resultierende Kraft $F_{ges}$ nach rechts übrigbleibt, einfach deshalb, weil nach rechts eine Person mehr zieht.

Erläutern Sie wie die Kraft $F_{ges}$ möglichst genau 1.) aus dem Bild und 2.) aus den Zahlenangaben ermittelt werden kann.

Vektorielle Größen werden mit einem Pfeil nach rechts über dem Formelzeichen gekennzeichnet: $\vec{F}$




Die Pfeillänge stellt dabei die Größe bzw. den Betrag dar. Wie viele Newton einem Zentimeter Pfeillänge entsprechen, muss man vorher festlegen (Zeicheneinheit).

Rechts abgebildet[17] Sehen Sie, dass speziell für Kräfte zusätzlich noch der Angriffspunkt der Kraft wichtig ist.

Ein häufiger Fehler in der Schreibweise ist:

| falsch | richtig |
|---|---|
| $\vec{F} = 100\ \text{N}$ | $\lvert\vec{F}\rvert = 100\ \text{N}$ oder $F = 100\ \text{N}$ |
| $\overleftarrow{F}$ | |

**Bemerkung:**

Weitere vektorielle Größen sind beispielsweise,

die Wegstrecke s, x, y, z, h oder ähnliches, die Geschwindigkeit v, die Beschleunigung a und weitere Größen, die Sie noch kennenlernen werden.

---

[16] aus https://www.grund-wissen.de/physik/_images/kraftaddition-entgegengesetzte-richtung.png
[17] aus https://www.leifiphysik.de/mechanik/kraft-und-kraftarten/grundwissen/beschreibung-von-kraeften

Im Gegensatz zu den vektoriellen Größen stehen die **Skalare** oder skalare Größen, die nur einen Betrag besitzen und die Angabe einer Richtung einfach sinnlos wäre.

Dazu gehören beispielsweise: die Temperatur T, die Zeit t, die Energie E und sogar der elektrische Strom I (dazu später mehr).

**Erkennungsmerkmal von Kräften**

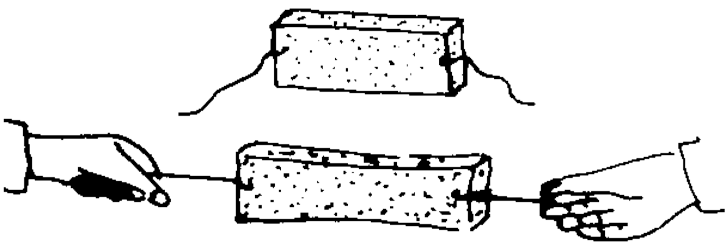
Kräfte erkennt man daran, dass sie Körper verformen und/oder ihren Bewegungszustand ändern.

Verformungen können sehr klein sein und für unser Auge nicht erkennbar (atomarer Bereich) oder durchaus eindrucksvoll zu beobachten sein, wenn eine Schrottkarre in einer Presse gefaltet wird.
Unter Änderung des Bewegungszustandes versteht man die Änderung der Geschwindigkeit in ihrem Betrag und auch die Änderung der Bewegungsrichtung.

**Kräftegleichgewicht**

Wirken auf einen Körper **zwei entgegengesetzt gerichtete Kräfte von gleichem Betrag**, dann herrscht am Körper Kräftegleichgewicht.

In Kräftegleichgewicht bleibt dieser Körper im Zustand der Ruhe (v = 0 m/s) oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung (v = konstant). Im Gegensatz zum Fall völliger Kräftefreiheit, wird der Körper allerdings bei Kräftegleichgewicht oftmals verformt[18].



## 1.8 Gewichtskraft und Masse

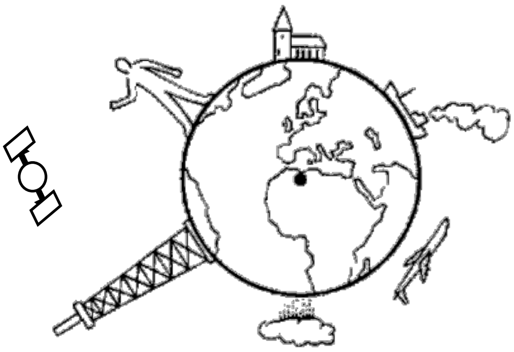
a) Die Gewichtskraft

Beliebige Körper ziehen sich (aufgrund ihrer Masse) gegenseitig an. Die Anziehungskraft wird größer, wenn sie sich näherkommen. **Die Gravitationskraft kann niemals abstoßend wirken.**

Die Anziehungskraft, die ein Körper auf der Erde erfährt, nennt man seine **Gewichtskraft** auf der Erde.

---

[18] aus https://docplayer.org/20851410-Kraft-grundbegriffe.html



Die Gewichtskraft auf der Erde ist stets zum Erdmittelpunkt hin gerichtet[19]. Das gilt auch für Flugzeuge und Satelliten und auch für den Mond.

Symbol für die Gewichtskraft: $F_G$ , G oder $\vec{F}_G$

speziell für die Erde auch: $F_g$

Einheit [F] = N

Symbol/Einheit für die Masse: m mit [m] = kg

**Experiment:**

(a) Mittels einer Balkenwaage soll untersucht werden, in welcher Weise die beteiligten Massen auf die Gewichtskraft Einfluss nehmen.

(b) Gleich schwere Massestücke $m_l$ mit $m_l$ = 1 kg werden nach und nach an eine Federwaage gehängt und die Gewichtskraft gemessen.

| $m_{ges}$ in kg | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| $F_g$ in N | 10 | 20 | 30 | 40 |

Wir reisen **zum Mond** und wiederholen das Experiment:

| $m_{ges}$ in kg | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| $F_G$ in N | 1,6 | 3,2 | 4,8 | 6,4 |

(c)

Ergebnisse:

1. Gleiche Massestücke z.B. $m_{ges}$ = 1 $m_l$ , erfahren an verschiedenen Orten verschiedene $F_G$.
   $F_G$ ist **ortsabhängig.** (**Besser**: Abhängig von den beiden Anziehungspartnern. $m_l$ und Erde bzw. $m_l$ und Mond)

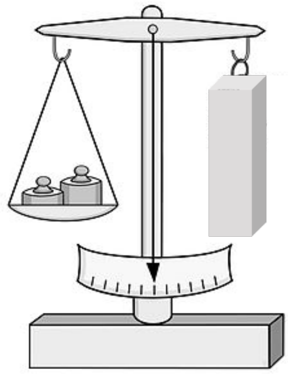
$$=> F_G \sim \text{Ortsfaktor}$$

2. Je größer m ist, desto größer ist $F_G$. Bleibt der eine Anziehungspartner konstant (wir messen z.B. <u>nur</u> auf dem Mond), dann hängt $F_G$ davon ab wie groß m ist. $F_G$ ist also masseabhängig.

$$=> F_G \sim \text{m}$$

[19] aus http://chimie.lgk.lu/8ST_2009/cours/10aufgaben/physik/exophgew.htm

Wir können davon ausgehen, dass die Masse m unabhängig von Ort, immer die selbe Größe ist. Wir erkennen keinen Unterschied, ob sie sich auf der Erde oder dem Mond befindet, einzig die Anziehungskraft ändert sich.



Die Masse ist daher orts**un**abhängig. Man kann die Masse mit einer Balkenwaage[20] und einem geeichten Wägesatz (viele verschiedene Massestücke) bestimmen.

Eine Tüte Milch wird auch auf dem Mond (bzw. überall wo Anziehung herrscht) mit der Masse m = 1 kg die Waage halten.

Auswertung der beiden Experimente:

aus $\boldsymbol{F_G} \sim \textbf{Ortsfaktor}$ und aus $\boldsymbol{F_G} \sim \mathbf{m}$ folgt die mathematische Schlussfolgerung:

$$F_G = \text{Ortsfaktor} \cdot m$$

bzw.

$$\frac{F_G}{m} = \text{Ortsfaktor}$$

Wir berechnen für die Erde (aus allen Messwerten, hier nur aus 3.):

$$\frac{F_g}{m} = \frac{30}{3}\frac{N}{kg} = 10\frac{N}{kg} = 10\frac{kg\,m}{s^2\,kg} = 10\frac{m}{s^2} = g_E$$

Wir berechnen für den Mond (aus allen Messwerten, hier nur aus 2.):

$$\frac{F_G}{m} = \frac{3{,}2}{2}\frac{N}{kg} = 1{,}6\frac{N}{kg} = 1{,}6\frac{kg\,m}{s^2\,kg} = 1{,}6\frac{m}{s^2} = g_M$$

Die Konstanten g heißen Ortsfaktoren oder Fallbeschleunigungen. Ihre Werte hängen von der Masse und dem Radius des Planeten ab!

**Bemerkungen:**

1.) Genau genommen bewegt sich der Ortsfaktor auf der Erde zwischen g = 9,83 $m \cdot s^{-2}$ an den Polen und 9,78 $m \cdot s^{-2}$ am Äquator auf höheren Bergen (also noch weiter weg vom Erdmittelpunkt). Als Durchschnitt wird gerne der Wert: 9,81 $m \cdot s^{-2}$ angegeben. Vereinfacht überschlägt man mit g = 10 $m \cdot s^{-2}$.

2.) Es gilt in etwa $g_M = \frac{1}{6} g_E$

[20] aus https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Versuch_Waage_1.jpg

Aufgaben

1. Auf einem unbekannten Planeten wird das Gewicht von vier Massestücken bestimmt und notiert.

| $m_{ges}$ in kg | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| $F_G$ in N | 3,7 | 7,6 | 11 | 14,8 |

Fertigen Sie ein m-$F_G$-Diagramm an und bestimmen Sie mit Hilfe des Grafen den Ortsfaktor g des unbekannten Planeten.

2.0 Ein Astronaut hat vor dem Start zum Mond ($g = 1{,}64\ m\cdot s^{-2}$) die Masse 72,0 kg. Durch die Anstrengung des Fluges nimmt er ab. Mit der Federwaage stellt er auf dem Mond ein Körpergewicht von 115 N fest.

2.1 Berechnen Sie, wie viele Kilogramm er abgenommen hat.

2.2 Der Astronaut belastet eine Feder der Härte D= $3{,}0\ \frac{N}{cm}$ mit einem Massestück der Masse 5,0 kg. Berechnen Sie, um wie viele cm sich die Feder verlängert.

3. Ein Gewichtheber kann eine Kraft F aufbringen, um auf der Erde ($g_E = 10\ \frac{m}{s^2}$) eine Masse von m= 250 kg anzuheben. Berechnen Sie, welche Masse er auf Jupiter ($g_J = 25\frac{m}{s^2}$) und welche Masse er auf dem Mond ($g_M = 1{,}64\frac{m}{s^2}$) zur Hochstrecke bringen würde.