

Elisabeth Dietrich – Margit Luisser – Jürgen Neuwirth –  
Mario Pitschmann – Gabriela Prior-Matkovits – Walpurga Scheibstock

# SPANNENDE PHYSIK – BAND 1

(Aktualisierte Auflage 2017)

Lehrbuch der Physik für die 2. Klasse  
der allgemein bildenden höheren Schulen und der Neuen Mittelschulen

SBNr. 135623 (Buch) und 181662 (Buch + ebook)

ISBN 978-385253-578-4

Die aktualisierte Fassung wurde mit Bescheid des Bundesministeriums für Bildung, ZI. BMBF-5.040/0004-IT/3/2016 vom 28. Juli 2017 als für den Unterrichtsgebrauch an allgemein bildenden höheren Schulen und an Neuen Mittelschulen für die 2. Klasse im Unterrichtsgegenstand Physik geeignet erklärt.

Illustrationen: Rebecca Abe, Walter Weber  
Herstellung: Eva Huber

© 2017 E. Weber Verlag GmbH, A – 7000 Eisenstadt  
Gedruckt in der EU.

Alle Rechte vorbehalten: Nachdruck sowie auszugsweise Vervielfältigung, Übertragung auf Ton-, Bild- und Datenträgern nur mit Genehmigung des Verlages.

	Seite im Lehrbuch	Seite im Arbeitsteil
<b>Kapitel 1: Physik bestimmt unser Leben</b>		
1. Womit beschäftigt sich die Physik?	Seite 4	Seite 3
2. Physikalische Errungenschaften bereichern unseren Alltag	Seite 6	
<b>Kapitel 2: So machen wir unsere Welt begreifbar</b>		
1. Vom Messen	Seite 8	Seite 5
2. Geschwindigkeit und Arten der Bewegung	Seite 10	Seite 6
3. Masse und Dichte	Seite 12	Seite 8
4. Die Arbeit in der Physik	Seite 14	Seite 10
5. Energie und ihre Umwandlungen	Seite 16	Seite 11
6. Der Hebel	Seite 18	Seite 12
7. Rollen und Wellräder	Seite 20	Seite 14
8. Schwerpunkt – Gleichgewicht – Standfestigkeit	Seite 22	Seite 15
<b>Kapitel 3: Von den Kräften</b>		
1. Kräfte und ihre Wirkungen	Seite 24	Seite 16
2. Arten von Kräften und Gegenkräfte	Seite 26	Seite 17
3. Die Gewichtskraft	Seite 28	Seite 19
4. Die Reibungskraft	Seite 30	Seite 21
<b>Kapitel 4: Alle Stoffe bestehen aus Teilchen</b>		
1. Der Aufbau von Stoffen	Seite 32	Seite 22
2. Aggregatzustände von Stoffen	Seite 34	Seite 23
3. Eigenschaften von festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen	Seite 36	Seite 24
4. Temperatur und Temperaturskalen	Seite 38	Seite 26
5. Temperatur und Aggregatzustände	Seite 40	Seite 27
<b>Kapitel 5: Druck und Auftrieb in Flüssigkeiten</b>		
1. Kräfte üben einen Druck aus	Seite 42	Seite 28
2. Druckübertragung in eingeschlossenen Flüssigkeiten	Seite 44	Seite 30
3. Gewichtsdruck in ruhenden Flüssigkeiten	Seite 46	Seite 31
4. Verbundene Gefäße	Seite 48	Seite 33
5. Auftrieb in Flüssigkeiten	Seite 50	Seite 34
6. Schwimmen, Schweben, Sinken	Seite 52	Seite 35
<b>Kapitel 6: Druck und Auftrieb in Gasen</b>		
1. Wie verhalten sich Gase?	Seite 54	Seite 36
2. Wirkung und Ursache des Luftdrucks	Seite 56	Seite 37
3. Die Messung des Luftdrucks	Seite 58	Seite 38
4. Geräte, die mit Hilfe von Luft Kräfte übertragen	Seite 60	Seite 39
5. Der Auftrieb in ruhender Luft	Seite 62	Seite 40
<b>Kapitel 7: Der Traum vom Fliegen</b>		
1. Der Auftrieb in strömender Luft	Seite 64	Seite 41
<b>Kapitel 8: Entstehung und Ausbreitung des Schalls</b>		
1. Der Schall und seine Ausbreitung	Seite 66	Seite 43
2. Tonhöhe und Lautstärke	Seite 68	Seite 45
<b>Lernzielkontrollen</b>	Seite 70	
<b>Summary and glossary</b>	Seite 84	
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	Seite 87	
<b>Lösungen zu den Lernzielkontrollen</b>	Seite 88	
<b>Index</b>	Seite 92	

Das Lern- und Lehrpaket "Spannende Physik" besteht aus zwei Büchern. Im **Lehrbuch** werden die Wissensgrundlagen bereitgestellt und mit Versuchen und Rechercheaufgaben gemäß den Anforderungen der Inhaltsdimension des Kompetenzmodells Naturwissenschaften erarbeitet. Die im Lehrbuch dargestellten Inhalte orientieren sich am Lehrplan für die 2. Klasse Physik an AHS und NMS in der aktuellen Fassung. Im **Arbeitsbuch** werden die Inhalte mit nach den Anforderungsniveaus und Handlungsdimensionen des Kompetenzmodells gekennzeichneten Arbeitsaufgaben gefestigt und weiter ausgebaut.

In den Naturwissenschaften Physik, Biologie und Chemie sind Experimente ein wichtiger Teil der Forschung. Das heißt, dass auch du im Unterricht und zuhause experimentieren darfst, um physikalische Vorgänge und Gesetze zu erforschen. Aber Achtung: Bevor du mit einem Experiment beginnst, solltest du genau planen, was du machen möchtest und wie du dein Experiment durchführst. Du musst wissen, welche Geräte und Materialien du brauchst und wo du gefahrlos experimentieren kannst.

Beachte daher bitte die folgenden Regeln:

1. Bei jedem Versuch, bei dem es vorgeschrieben ist, muss eine Schutzbrille getragen werden. Eine normale Brille oder Kontaktlinsen sind als Schutz nicht ausreichend!
2. Du solltest wissen, wo sich geeignete Sicherheitseinrichtungen (Feuerlöscher, Löschdecke) und der Erste-Hilfe-Kasten befinden.
3. Essen und Trinken sind im Labor und bei der Versuchsdurchführung verboten.
4. Zu deiner eigenen Sicherheit solltest du geeignete Kleidung tragen, die dich im Falle des Falles vor Verbrennungen oder anderen Verletzungen schützt.
5. Lange Haare sollten nach hinten zu einem Zopf gebunden werden (Brandgefahr bei Versuchen mit offenem Feuer)
6. Offene Flammen müssen immer vor gelagerten, leichtentzündlichen Stoffen ferngehalten werden.
7. Bei Versuchen, in denen Flüssigkeiten in Reagenzgläsern erhitzt werden, musst du immer die Öffnung des Glases vom Körper weg zeigen lassen und genügend Abstand zu anderen Personen halten. Das Reagenzglas muss schräg gehalten und langsam hin und her bewegt werden, damit sich der Stoff gleichmäßig erhitzt.
8. Nach jedem Versuch müssen dein Arbeitsplatz und deine Arbeitsgeräte gründlich gereinigt werden.
9. Vor jedem Versuch musst du dich über die Gefahren der verwendeten Stoffe und Materialien informieren. Gefahrensymbole helfen dir dabei, eventuelle Gefahren abzuschätzen.



entzündlich



ätzend



Gesundheitsgefahr



giftig



reizend



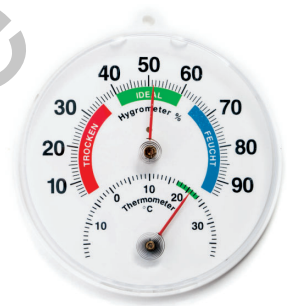
umweltgefährlich



Explosionsgefahr



Verwende eine Schutzbrille!



Mache dich mit den von dir verwendeten Messinstrumenten vertraut, bevor du einen Versuch durchführst.



Weißt du, wo du in deiner Schule Feuerlöscher und Erste-Hilfe-Kasten findest?

In diesem Buch findest du viele Experimente, die du selbst durchführen sollst. Einige wenige Experimente, die nur von einer Lehrkraft als Schauversuch vorgezeigt werden sollen, sind eigens gekennzeichnet mit dem Hinweis „LEHRVERSUCH“.



4.1. Warum fliegt ein Flugzeug?  
Die Erklärung liefert die Physik!

## Die Arbeitsweise in der Physik:

1. Aufmerksame Beobachtung der Umwelt.
2. Probleme erkennen und Fragen stellen.
3. Vermutungen über mögliche Antworten anstellen, Theorien entwickeln.
4. Experimente zur Bestätigung der Vermutungen ausarbeiten und durchführen. Dabei immer Sicherheitsmaßnahmen (z. B. Verwenden einer brand-sicheren Unterlage oder das Tragen einer Experimentierbrille zwecks Splitterschutz etc.) beachten!
5. Ergebnisse formulieren.



4.2. Die unterirdische Versuchsanlage in Cern ist 27 km lang. Techniker benutzen hier das Fahrrad, um von A nach B zu gelangen.



4.3. Alle Körper fallen im luftleeren Raum gleich schnell.

## 1. Womit beschäftigt sich die Physik?

Beobachtung im Alltag:

- Ein Stein, den man in die Höhe wirft, steigt zunächst und wird dabei immer langsamer. Schließlich kehrt er um und fällt auf die Erde zurück.
- Wirfst du ein Stück Eisen oder Stahl ins Wasser, geht es unter. Trotzdem schwimmen Schiffe aus Stahl.

## Welche Naturwissenschaften gibt es?

Mit Vorgängen in der uns umgebenden Natur beschäftigt sich die **Physik**. Sie untersucht Gesetzmäßigkeiten, nach denen Naturvorgänge ablaufen. Die Naturwissenschaft Physik befasst sich vorwiegend mit Vorgängen der unbelebten Natur, die meist ohne stoffliche Veränderungen ablaufen. Ein weiteres Beispiel für eine Naturwissenschaft ist die **Biologie**. Sie widmet sich den Lebewesen und untersucht Pflanzen, Tiere und Menschen. Auch die **Chemie** ist eine Naturwissenschaft. Sie beschäftigt sich mit den Eigenschaften der Stoffe, deren Umwandlungen und ihren Verbindungen. So können Medikamente durch chemische Umwandlung aus Erdöl hergestellt werden. Mit Hilfe der Chemie kann man aus Holz Papier für Bücher oder Zeitungen erzeugen. Auch das Rosten von Eisen ist ein chemischer Vorgang. Zwischen den einzelnen Naturwissenschaften besteht keine scharfe Trennlinie. Die Physik interessiert sich zum Beispiel genauso wie die Chemie für den Aufbau der Atome oder die Chemie genauso wie die Biologie für den Stoffwechsel von Lebewesen.

Physik, Chemie und Biologie sind Beispiele für Naturwissenschaften.

## Wie forscht man in den Naturwissenschaften?

Um Kenntnisse über die Natur und seine Gesetze zu gewinnen, macht man in der Wissenschaft **Versuche (Experimente)**. Dabei nimmt die Beobachtung der Natur einen wichtigen Stellenwert ein. In den meisten Fällen sind Naturvorgänge sehr kompliziert, gehen sehr langsam vor sich oder sind auf unserer Erde nicht zu beobachten. Um solche Vorgänge untersuchen zu können, schafft man im Experiment eine künstliche Situation. Das Team des europäischen Atomforschungszentrums Cern (**Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire**) bei Genf in der Schweiz wollte mehr über die Entstehungsgeschichte des Universums (Urknall) herausfinden. Es baute dazu eine viele Kilometer lange, unterirdische Anlage, um in Versuchsreihen möglichst viel darüber zu erfahren (Abb. 4.2.).

Probiere selber physikalische Versuche:

**V1:** Fallen alle Körper gleich schnell? Lasse ein Blatt Papier und einen Stift gleichzeitig aus gleicher Höhe fallen. Was beobachtest du?

**LEHRVERSUCH V2:** Betrachte das Fallen einer Eisenkugel und einer Feder in einer Röhre, aus der die Luft gepumpt wurde.

Bei V2 kann man erkennen, dass beide Körper gleich schnell fallen. Also ist es nur die Luft, welche die Körper beim Fallen unterschiedlich stark abbremst (V1). Diese Experimente bestätigen somit die Gesetzmäßigkeit, dass alle Körper im luftleeren Raum gleich schnell fallen (Abb. 4.3.).

Versuche (Experimente) sind wichtige Werkzeuge der Naturwissenschaften. Arbeitsweise: Beobachtung, Fragestellung, Vermutungen/Theorien, Experimente/Bestätigung, Ergebnis formulieren.

## Welche Teilgebiete gibt es in der Physik

Die **Mechanik** befasst sich mit den Bewegungen von Körpern und mit den Kräften, die diese Bewegungen verursachen. Sie erklärt zum Beispiel, warum du in einem fahrenden Auto, welches plötzlich abgebremst wird, nach vor geschleudert wirst. Dieselbe Ursache führt zum Ergebnis des nächsten Versuches:

**V3:** Baue einen Turm aus Münzen. Um die unterste Münze schlingst du einen Faden und ziehst ruckartig (Abb. 5.2.). Die unterste Münze wird aus dem Turm herausgezogen, ohne dass dieser umfällt.

Die Mechanik beschäftigt sich auch mit Kräften im Gleichgewicht. Hier wird keine Bewegung verursacht. Dieses Teilgebiet der Mechanik, die Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte, heißt **Statik**. Sie hat besondere Bedeutung im Bereich der Architektur. Die **Akustik** ist die Lehre vom Schall. Sie setzt sich mit den Vorgängen der Erzeugung und Übertragung von Schallwellen auseinander. So erklärt sie zum Beispiel, wie die Musik deines MP3-Players in dein Ohr gelangt.

**V4:** Das Fadentelefon (Abb. 5.3.): Bohre in die Böden zweier Joghurtbecher ein kleines Loch. Durch die Öffnung fädelst du je ein Ende einer ca. 10 bis 15 m langen Nylonschnur und fixierst sie innen an einer Schlinge mit je einem Streichholz. Bei gespannter Schnur flüstert nun eine Person in den Becher, während die andere den zweiten Becher ans Ohr hält.

In der **Elektrizitätslehre** erwirbst du Wissen über elektrische Ladungen, den elektrischen Strom und seine Wirkungen.

**V5:** Reibe eine PET-Flasche längere Zeit an einem Tuch aus Wolle. Nähere die Flasche langsam einem gleichmäßig fließenden Wasserstrahl. Der Wasserstrahl wird bei Annäherung der Flasche abgelenkt (Abb. 5.4.). Durch das Reiben wurde die Plastikflasche elektrisch aufgeladen. Sie zieht den Wasserstrahl mit elektrischer Kraft an.

Die **Optik** liefert Erklärungen zu den Farben des Regenbogens oder warum unter einer Lupe scheinbar alles vergrößert ist. Hier lernst du etwas über die Eigenschaften des Lichtes. Wie ein Thermometer oder ein Kühlschrank funktioniert und warum ein Wassertropfen auf der heißen Herdplatte tanzt, begründet die **Wärmelehre**.

**V6:** Spüle eine 2-Liter-PET-Getränkeflasche mit heißem Wasser aus. Verschließe sie schnell luftdicht mit dem Drehverschluss. Nach einiger Zeit wird die Flasche zusammengedrückt. Sie implodiert.

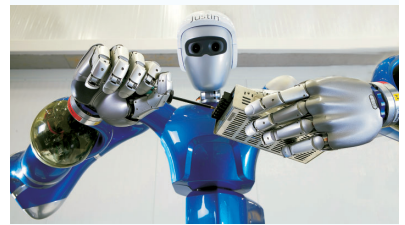
Die **Atomphysik** beschäftigt sich mit dem Aufbau der Atome.

Mechanik, Akustik, Elektrizitätslehre, Optik, Wärmelehre und Atomphysik sind Teilgebiete der Physik.

### Interessant zu wissen ...

Die Forscher(innen) dieser Welt beschreiben die Zukunft „fantastisch“:

- Magnetautos gleiten widerstandslos über den Boden.
- Computer, die nicht mehr als solche erkennbar sind, umzingeln uns. In allem was uns umgibt – in jedem Gegenstand, jeder Wand, jeder Tapete – wird sich ein rechnender Chip befinden, der mit dem Internet verbunden ist.
- Ein „intelligenter Raum wird bemerken“, wenn man ihn betritt und er wird dafür sorgen, dass an der richtigen Stelle das Licht angeht und eine gute Temperatur herrscht.
- Ein normaler Tag wird mit einem Gesundheitscheck beginnen. Beim Zähneputzen im Badezimmer wird der menschliche Körper automatisch von Sensoren gescannt.



5.1. Die Kenntnisse über die Physik und die Anwendung des Wissens machten es möglich: Im Dezember 2015 schüttelte erstmals ein russischer Kosmonaut einen 400 km entfernten deutschen Wissenschaftler in Oberpfaffenhof (D) bei einem 10-minütigen Experiment die Hand. Der humanoide Roboter „Space Justin“ wurde dabei vom Astronauten mittels Joystick von der Raumstation ISS aus gesteuert.



5.2. Du kannst die unterste Münze herausziehen, ohne dass der Turm umfällt.



5.3. Von Becher zu Becher



5.4. Der verbogene Wasserstrahl

## 2. Physikalische Errungenschaften bereichern unseren Alltag

Die zahlreichen Erfindungen, die unser Leben sicher und komfortabel machen, waren nur möglich, da es immer wieder Persönlichkeiten (neugierige und wissbegierige Menschen, Naturforscher/innen, Entdecker/innen, Physiker/innen ...) gab/gibt, die an den Vorgängen in der Natur sehr interessiert waren/sind. Durch hartnäckiges Beobachten, Nachdenken und viel Disziplin konnten bis heute viele Phänomene in der Natur erforscht und genutzt werden. Bereits tausende Jahre vor unserer Zeitrechnung gab es immer wieder Entdeckungen und Erfindungen, die das Leben der Menschheit entscheidend beeinflussen sollten. Sehr interessant ist die Weiterentwicklung von den ersten Ideen und Anwendungen bis in die moderne Zeit.

**Zeige die Weiterentwicklung der Geräte unten, indem du die Tabelle mit Fotos deiner eigenen Geräte oder moderner Versionen, die du im Internet finden kannst, ergänzt.**



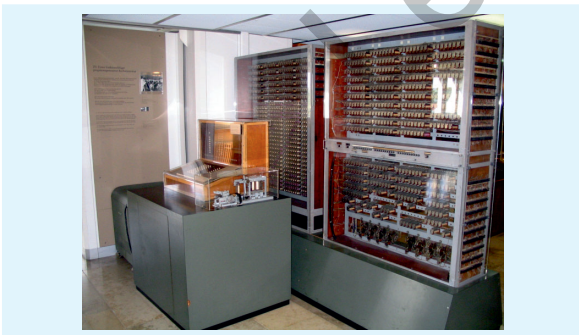
1907 wurde der erste elektrische Fernseher mit Kathodenstrahlröhre als „Bildschreiber“ vorgestellt.  
Foto: Fernseher Typ „Tesla 4001A“ aus dem Jahr 1953

Gib auf dieses Kästchen den Klebstoff, um das Foto eines modernen Fernsehers anzukleben.

Hier kannst du ein **Foto deines eigenen Fernsehers oder des neuesten Modells**, welches du im Internet finden kannst, einkleben (Klebstoff nur im oberen Kästchen anbringen.)

Informiere dich über die Möglichkeiten, die moderne Fernseher bieten. Mache Notizen in deinem Heft.

Moderne Fernseher mit Flachbildtechnologie kannst du sogar an die Wand hängen, zeigen Bilder in den schönsten Farben und gibt es sogar in 3-D-Technologie.



1938 entwickelten Fachleute einen Computer, der bereits Merkmale eines modernen Computers aufwies und nannten ihn Z3. Dies war eine riesige Anlage und nicht vergleichbar mit den modernen Computeranlagen von heute. Der Z3 hatte eine Speicherkapazität von 64 Wörtern.  
Foto: Nachbau der Zuse Z3 im Deutschen Museum in München

Gib auf dieses Kästchen den Klebstoff, um das Foto deines PCs anzukleben.

### Foto deines PCs

Vielleicht kannst du auch erkunden, wie groß Arbeitsspeicher (RAM) und Festplattenspeicher deines PCs zu Hause oder der Schüler-PCs in der Schule sind.

Die heutigen modernen Personal Computer (PC) mit ihren riesigen Speichermöglichkeiten im Giga- und Terabyte-Bereich haben die Schreibmaschine, die erstmals 1864 zum Einsatz kam, längst abgelöst und bieten sehr komplexe Dienste an, die aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken sind (Internet, Telefonie, Spiele, E-Mail, Programme für Büro und Verwaltung u.v.m.).

Das erste mobile Telefon gab es 1973.



1993 – Erstes Smartphone



Erstmals Touchscreen-Möglichkeit!

1995 – Erstes Handy mit SMS-Möglichkeit



1973 wurde der Welt das erste mobile Telefon vorgestellt. 1993 konnte man das erste Smartphone der Welt zu einem Preis von über 1.000,- € kaufen. 1995 kam das erste Handy, das Kurznachrichten (SMS) senden und empfangen konnte, auf den Markt.

Gib auf dieses Kästchen den Klebstoff, um das Foto deines Handys anzukleben.

**Foto deines Handys** oder des Handys, welches du gerne haben würdest.

Mit modernen Handys kannst du viele Funktionen nutzen: Internet, E-Mail, Telefonie auch über Internet und Video-telefonie, SMS, MMS, Musik, Videos ansehen und aufnehmen, QR-Codes, Radio- und Fernsehempfang, Spiele, GPS etc.

DVD Player



Speicherplatz einer DVD: 4,7 GB bis 17 GB  
Speicherplatz einer CD: 650 MB bis 879 MB

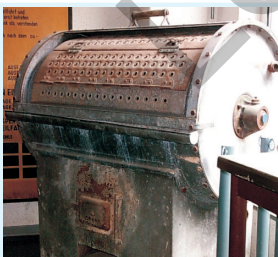
Mitte der 90er-Jahre setzte sich die Compact-Disc (CD) aufgrund des großen Fassungsvermögens als Massenspeicher durch. Diese bekam jedoch bald Konkurrenz durch die DVD, die ungleich mehr Speicherplatz bot und für Filme (abspielen, aufnehmen) besser geeignet war.

Gib auf dieses Kästchen den Klebstoff, um das Foto eines Blu-ray-Players anzukleben.

**Foto eines Blu-ray-Players**

Speicherplatz einer Blu-ray-Disc: 25 GB und mehr

Mit der Blu-ray-Disc hat die DVD mittlerweile einen großen Konkurrenten bekommen. Hier können noch viel größere Datenmengen, wie sie hoch aufgelöste Videoinhalte (HD...high-definition) benötigen, untergebracht werden.



Diese Trommelwaschmaschine war für die Arbeitskleidung von Bergmännern im Einsatz.

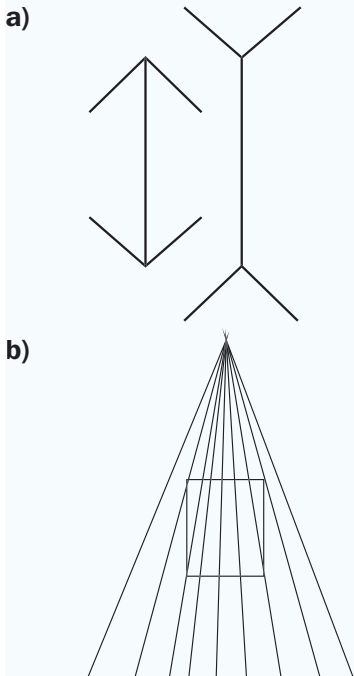
1931 erfand man den elektrischen Antrieb für die Trommelwaschmaschine. Von da an wurde die Muskelkraft beim Wäschewaschen nicht mehr benötigt. Aber erst ab den 1960er-Jahren entwickelten sich Waschmaschinen zum preisgünstigen Standard.

Gib auf dieses Kästchen den Klebstoff, um das Foto einer Display-Anzeige anzukleben.

**Foto der Display-Anzeige einer modernen Waschmaschine**

Von den vollautomatischen Waschmaschinen der heutigen Zeit werden die verschiedenen Zyklen eines Waschvorganges (Einweichen, Vorwäsche, Hauptwäsche, Spülen, Schleudern) selbständig abgearbeitet. Die moderne Display-Anzeige gibt es heute auch schon mit Touchscreen.

Suche im Internet nach Informationen weiterer Erfindungen, die du für wichtig hältst. Vergleiche ihr ursprüngliches Aussehen und ihre Möglichkeiten mit modernen, weiterentwickelten Versionen und deren heutigem Leistungsvermögen. Fertige eine Mindmap oder eine Präsentation dazu an.



8.1. Optische Täuschungen: Sind bei Grafik a) die beiden Strecken gleich lang? Trapez oder Quadrat bei b)? (Miss nach!)



8.2. So kannst du das Volumen eines Körpers mit dem Messzylinder bestimmen.



8.3. Herkömmliche Messgeräte

## 1. Vom Messen

Beobachtung im Alltag

- In der Technik schafft man Dinge, um unser Leben zu erleichtern.
- Genaues Arbeiten funktioniert ohne genaues Messen nicht.

### Welche Hilfsmittel werden in der Naturwissenschaft, im Handwerk und in der Technik bei ihren Aufgaben benutzt?

In der Naturwissenschaft ist man ständig damit beschäftigt, neues Wissen über die Natur zu erlangen, welches wiederum in der Technik angewandt werden kann.

Nur selten kann man in der Naturwissenschaft das Ergebnis eines Experiments allein mit den Sinnen beobachten. Manchmal werden Sinne auch getäuscht (Abb. 8.1.).

Das **Messen** spielt daher in der naturwissenschaftlichen Forschung und besonders auch in der Technik eine große Rolle. In der Naturwissenschaft, aber auch im Handwerk und in der Technik werden dabei vielerlei Messgeräte benutzt (Abb. 8.3. und 9.1.).

Das Messen hat große Bedeutung in Naturwissenschaft, im Handwerk und in der Technik. Dazu werden verschiedenste Messgeräte benutzt.

### Was bezeichnet man als physikalische Größe?

Der Charakter eines Menschen oder die Schönheit eines Bildes sind nicht messbar im Sinne der Physik. Charakter und Schönheit sind daher keine physikalischen Größen.

Eine **physikalische Größe** ist dadurch gekennzeichnet, dass sie messbar ist und es eine Messvorschrift gibt. Diese legt für die Messgröße eine Maßeinheit fest.

**V1:** Bestimme das Volumen eines beliebigen Körpers: Fülle einen Messzylinder bis zur Hälfte mit Wasser. Du kannst auf der Skala am Messzylinder das Volumen des eingefüllten Wassers (in ml oder  $\text{cm}^3$ ) ablesen. Tauche nun den Körper, dessen Volumen du bestimmen möchtest, vollständig ein. Er verdrängt einen Teil des Wassers. Das Volumen des verdrängten Wassers ist gleich groß dem Volumen des Körpers. Du erhältst das Volumen des Körpers, indem du den Unterschied zwischen dem Volumen des Wassers vor Eintauchen des Körpers und dem angezeigten Volumen danach berechnest (Abb. 8.2.).

Misst man eine physikalische Größe, z. B. eine Länge, bedeutet dies, dass man sie zahlenmäßig mit einer Maßeinheit vergleicht. Daher besteht eine physikalische Größe stets aus dem Produkt **Zahlenwert mal Maßeinheit**.

Ein Beispiel soll dir das verdeutlichen: Die Länge einer Strecke wird mit 12 cm (Zentimeter) gemessen. Man hat damit festgestellt, wie oft diese Strecke die Maßeinheit von einem Zentimeter enthält. 1 cm ist somit 12-mal in der Strecke enthalten.

Physikalische Größen wie Länge, Masse, elektrische Stromstärke, Zeit oder Temperatur erfordern unterschiedliche Messtechniken (Abb. 8.3.) und Maßeinheiten.

Die Messmethoden haben sich im Laufe der Zeit sehr verändert und angepasst. So werden heute Messungen oft **digital** durchgeführt (Abb. 9.1.).

**V2:** Versuche mit der Stoppuhr deines Handys die Zeit zu messen, die z. B. dein Schulfreund benötigt, um in normalem Schrittempo von der Klasse in den Physikraum zu kommen. Schätze die Zeit vorher und vergleiche dann mit deinem Ergebnis. Lass dir auch andere Beispiele einfallen. Notiere deine Ergebnisse. Vielleicht kannst du die Ergebnisse in einem Balkendiagramm darstellen.

Messen mit einfachsten Mitteln:

**V3:** Messen heißt vergleichen! Materialien: Lineal und Wollfaden. Benutze dein Lineal, um auf einem Wollfaden eine Länge von 10 oder 20 cm zu markieren. Gehe nun im Raum umher und versuche nur mit Hilfe des Wollfadens die Abmessungen (Längen) von Gegenständen zu bestimmen. Schätze die Längen vorher! Notiere deine Schätzungen sowie deine Ergebnisse, die du mit Hilfe des Wollfadens erhalten hast (cm oder m). Überprüfe anschließend mit einem Maßband, ob du gute Ergebnisse erzielt hast.

Physikalische Größen sind messbar und bestehen aus dem Produkt Zahlenwert mal Maßeinheit. Beispiele für physikalische Größen: Länge, Masse, elektrische Stromstärke, Geschwindigkeit, Zeit oder Temperatur.

## Was ist das internationale Einheitensystem (SI)?

Meist gibt es für eine physikalische Größe mehrere Maßeinheiten. Es ist aber grundsätzlich egal, welche man wählt. Zum Beispiel könnte jemand seine Körpergröße mit 1,82 m oder mit 6 Fuß angeben. Beide Fälle geben dieselbe Länge an. Es ist daher wichtig, stets zum Zahlenwert auch die Maßeinheit anzugeben (Abb. 9.2.).

In der Naturwissenschaft und Technik hat man sich auf international gültige Maßeinheiten geeinigt. Diese wurden im **internationalen Einheitensystem** (abgekürzt: **SI ... Système International d'Unités**) festgelegt (Abb. 9.3.).

Diese sieben physikalischen Größen sind die sogenannten Basisgrößen, ihre Einheiten die Basiseinheiten. Alle anderen Maßeinheiten leiten sich von diesen Basiseinheiten ab. Man spricht von abgeleiteten Einheiten.

Die gesetzlichen Maßeinheiten sind in Österreich durch das Maß- und Eichgesetz festgelegt. Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (Eichamt) führt die Eichung und Prüfung von Messgeräten durch.

Im internationalen Einheitensystem (abgekürzt: SI) sind die international gültigen Maßeinheiten festgelegt.

### Interessant zu wissen ...

- In früheren Zeiten wurden die Längenmaße durch Vergleich mit den Armen („**die Elle**“ – Länge des Armes vom Ellbogen bis zur Spitze des Mittelfingers), Händen („**die große** bzw. **kleine Spanne**“ – Abstand zwischen Daumen- und Kleinfingerspitze bzw. Mittel-fingerspitze) und Füßen („**der Fuß**“) abgeleitet.
- Auf der linken Seite des Haupttores des Stephansdoms in Wien sind zwei Metallstäbe in der Mauer eingelassen. Die Stäbe entsprechen der **Tuch-** und **Leinenelle** der früheren gültigen Längenmaße und konnten von allen zur Überprüfung der Abmessungen von Waren genutzt werden.



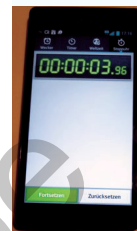
Schublehre



Multimeter



Küchenwaage



Dein Handy ist ein digitaler Zeitmesser. Es zeigt dir nicht nur die Uhrzeit an, du kannst die Zeit damit auch stoppen.



Fieberthermometer

9.1. Digitale Messgeräte



9.2. Die Wahl der Maßeinheit ändert nichts an der Größe eines Gegenstandes.

Basisgröße	SI-Einheit und Zeichen
Länge	Meter m
Zeit	Sekunde s
Masse	Kilogramm kg
elektrische Stromstärke	Ampere A
Temperatur	Kelvin K
Lichtstärke	Candela cd
Stoffmenge	Mol mol

9.3. Das internationale Einheitensystem (SI = Système International d'Unités)



10.1. Verkehrszeichen mit Geschwindigkeitsbegrenzung

Ein Rollschuhläufer fährt 5 m/s.  
Wie schnell ist seine Geschwindigkeit in km/h?

$$5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 5 * 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 18 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

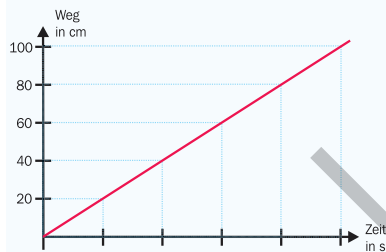
Ein Radfahrer fährt mit 27 km/h.  
Wie viele Meter legt er pro Sekunde zurück?

$$27 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 3,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 7,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

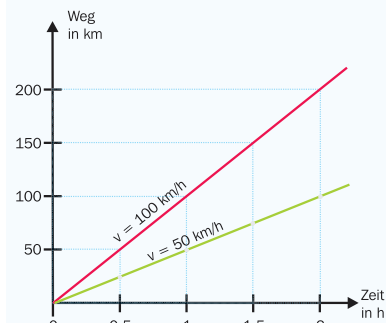
10.2. Umrechnung der Geschwindigkeitseinheiten



10.3. Mit Hilfe eines Anemometers kann man die Windgeschwindigkeit messen.



10.5. Weg-Zeit-Diagramm – gleichförmige Bewegung. Der zurückgelegte Weg ist in jeder Sekunde gleich groß.



10.6. Weg-Zeit-Diagramm – zwei unterschiedlich schnelle und gleichförmige Bewegungen

## 2. Geschwindigkeit und Arten der Bewegung

Beobachtungen im Alltag:

- Die Geschwindigkeit von „100“ darf man im Freiland und auf Autostraßen in Österreich nicht überschreiten (Abb. 10.1.).
- Wird auf der Autobahn die Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h überschritten, ist mit einer Geldstrafe zu rechnen.
- Winde mit hoher Geschwindigkeit können zerstörerische Auswirkungen haben.

### Wie erklärt man den Begriff „Geschwindigkeit“?

Bei einer Geschwindigkeit von **100 km/h** legt ein Fahrzeug in der **Zeiteinheit von 1 Stunde** einen **Weg von 100 km** zurück. Die durch das internationale Einheitensystem (SI) festgelegte Einheit der Geschwindigkeit ist m/s (Meter pro Sekunde). Du kannst die Einheiten m/s und km/h wie folgt ineinander umrechnen:

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 60 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 3.600 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Ist eine Geschwindigkeit in m/s gegeben, kann man den Wert mit 3,6 multiplizieren, um die Geschwindigkeit in km/h zu erhalten. Im umgekehrten Fall dividiert man den Wert durch 3,6 (Abb. 10.2).

Die Geschwindigkeit gibt an, wie lang die Wegstrecke (in m, km) ist, die pro Zeiteinheit (in s, h) zurückgelegt wird. Gängige Maßeinheiten der Geschwindigkeit sind Meter pro Sekunde (m/s) und Kilometer pro Stunde (km/h).

### Wie misst man die Geschwindigkeit?

Ein Tachometer misst die Geschwindigkeit des Autos. Radargeräte und Laserpistolen sind Messgeräte der Polizei. Das Anemometer misst die Windgeschwindigkeit (Abb. 10.3).

**V1:** Geschwindigkeitsmessung beim Gehen – Nimm ein 30 m langes Maßband und lege es ausgerollt auf den Boden. Je ein Mitschüler mit einer Stoppuhr (Handy) steht bei der 10 m, 20 m und 30 m Marke. Gehe nun langsam und gleichmäßig das Maßband entlang, wobei du beim Durchschreiten der Nullmarke (0 m) des Maßbandes das Kommando „los“ rufst. Deine Mitschüler sollen nun die Stoppuhr starten und erst anhalten, wenn du bei ihnen vorbeigehst. Runde die Werte auf ganze Sekunden und trage sie in eine Tabelle ein (wie in Abb. 10.4.). Welchen Weg hast du durchschnittlich in einer Sekunde zurückgelegt (m/s)? Berechne mit deinem Handy.

Zurückgelegter Weg in m	Dafür benötigte Zeit in s	Weg in m pro s
0	0	0
10	6	1,7
20	12	1,7
30	18	1,7

10.4. Weg-Zeit-Tabelle

In einem **Weg-Zeit-Diagramm** lässt sich der Zusammenhang zwischen Weg und Zeit anschaulich darstellen. Wenn die Bewegung gleichmäßig ist, liegen die Punkte der Messwerte im Diagramm auf einer Geraden (Abb. 10.5.).

**V2:** Geschwindigkeitsmessung beim Laufen – Wie V1, nur diesmal läufst du gleichmäßig das Maßband entlang.

Im Weg-Zeit-Diagramm in Abb. 10.6. kannst du den Unterschied der Weg-Zeit-Linien bei einer schnelleren und langsameren Bewegung erkennen. Je steiler die Weg-Zeit-Linie in einem Weg-Zeit-Diagramm ist, desto höher ist die dargestellte Geschwindigkeit.

## Wie berechnet man die Durchschnittsgeschwindigkeit?

Romeo und Julia nahmen an einem Wettlauf teil. Romeo lief 100 m in 16 s, Julia 60 m in 10 s. Wer ist schneller gelaufen? Diese Frage kannst du durch Berechnung der jeweiligen Durchschnittsgeschwindigkeiten beantworten. Mit anderen Worten: Wie viele Meter hat jeder in 1 Sekunde zurückgelegt (m/s)?

Romeo: 100 m in 16 s | Berechnung:  $\frac{100}{16} \text{ m} = 6,25 \text{ m pro Sekunde (6,25 m/s)}$

Julia: 60 m in 10 s | Berechnung:  $\frac{60}{10} \text{ m} = 6 \text{ m pro Sekunde (6 m/s)}$

Romeo war also mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 6,25 m/s der schnellere Läufer.

Es versteht sich von selbst, dass Romeo und Julia nicht in jeder Sekunde ihres Laufes immer die gleiche Geschwindigkeit hatten. Auch ein Fahrzeug ändert während der Fahrt oft die Geschwindigkeit. Daher nennt man eine angegebene oder berechnete Geschwindigkeit **mittlere Geschwindigkeit** oder **Durchschnittsgeschwindigkeit**.

Geschwindigkeit (lat. **velocitas**) = Weg (lat. **spatium**) : Zeit (lat. **tempus**)

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}} \quad v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

← zurückgelegte Wegstrecke  
← Zeitintervall

## Welche Arten der Bewegung gibt es?

Ein Körper befindet sich in **gleichförmiger Bewegung**, wenn er auf gerader Bahn in gleichen Zeitintervallen gleiche Wegstrecken zurücklegt. Siehe Weg-Zeit-Diagramme 10.5. und 10.6. Dies ist im täglichen Leben jedoch selten der Fall. Eine **beschleunigte Bewegung** ist notwendig, damit ein Fahrzeug nach dem Start seine Fahrgeschwindigkeit erreichen kann. Der freie Fall eines Körpers ist ein weiteres Beispiel für eine beschleunigte Bewegung. Bei der Beschleunigung nimmt die Geschwindigkeit eines Körpers ständig zu. Die zurückgelegten Wegstrecken werden dabei in jeder Sekunde größer (Abb. 11.5.).

**V3:** Befestige auf einer ca. 1,5 m langen Rinne aus Holz oder Metall hängende Metallplättchen oder Glöckchen in gleichen Abständen in einer Höhe von ca. 3 cm. Lass eine Holz- oder Stahlkugel (Durchmesser ca. 3 cm) auf der schräg gestellten Rinne hinunterrollen. Die Zeit zwischen den erklingenden Tönen wird immer kürzer, da die Kugel beschleunigt und eine immer größere Wegstrecke pro Sekunde zurücklegt.

Bei einer **verzögerten Bewegung** werden die zurückgelegten Wegstrecken in jeder folgenden Sekunde kleiner. Eine Verzögerung gibt es z. B. beim Abbremsen eines Fahrzeuges. Bei einer großen Verzögerung verringert sich die Geschwindigkeit eines Fahrzeuges in jeder Sekunde um einen großen Betrag.

Man kann folgende Arten der Bewegung unterscheiden:

- Gleichförmige Bewegung: v bleibt gleich
- Beschleunigte Bewegung: v wird pro Sekunde größer
- Verzögerte Bewegung: v wird pro Sekunde kleiner

## Interessant zu wissen ...

- Die höchste Geschwindigkeit ist die Lichtgeschwindigkeit, ca. 300.000 km/s
- Der Gepard ist das schnellste Landtier der Welt (bis 122 km/h).
- Der schnellste Fisch im Meer ist der Fächerfisch (bis 110 km/h).

 Ortsgemeinde	 Freiland	 Autostraße	 Autobahn
50 km/h	100 km/h	100 km/h	130 km/h

11.1. Erlaubte Höchstgeschwindigkeiten für Pkws auf Österreichs Straßen.

Fußgänger	5 km/h	1,4 m/s
100 m-Läufer	36 km/h	10,0 m/s
Gepard	100 km/h	28,0 m/s
Rauchschwalbe	320 km/h	90,0 m/s
Flugzeug	900 km/h	250,0 m/s
Gewehrgehörsch	3 000 km/h	833,0 m/s
Erdsatellit	28 000 km/h	8 000,0 m/s
Erde um die Sonne	110 000 km/h	30 000,0 m/s

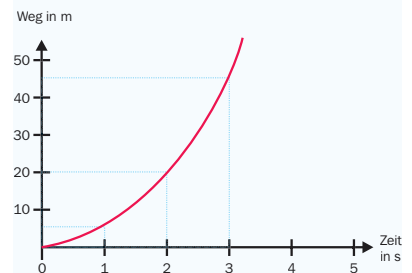
11.2. Einige Geschwindigkeiten



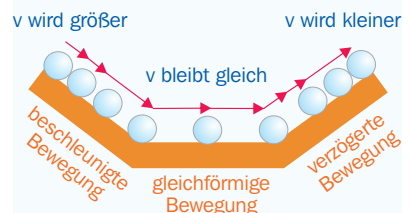
11.3. Geschwindigkeitsbegrenzung – Beachte die falsche Einheit für die Geschwindigkeit.



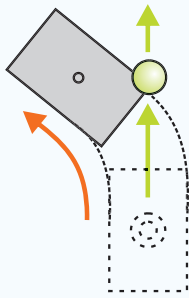
11.4. Fahrtenschreiber in Bussen, Zügen und LKWs zeichnen Momentangeschwindigkeiten von Fahrzeugen zu jedem Zeitpunkt automatisch auf.



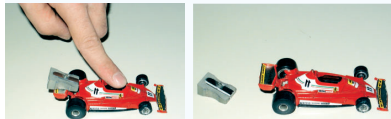
11.5. Weg-Zeit-Diagramm einer beschleunigten Bewegung (freier Fall)



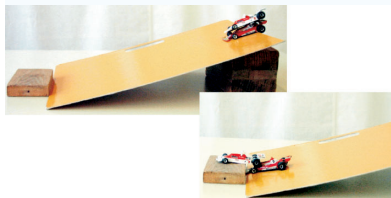
11.6. Arten der Bewegung



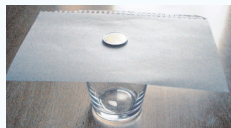
12.1. Aufgrund der Trägheit widersetzt sich ein Körper der Änderung seiner Bewegungsrichtung.



12.2. Der Bleistiftspitzer will in „Ruhe“ bleiben.



12.3. Das Auto am Dach widersetzt sich der Bewegungsänderung, es fliegt gerade weiter.



12.4. Die träge Münze



12.5. Trägheit am WC



12.6. Wer fängt mehr Münzen?



12.7. Die Trägheit verhindert ein Umfallen des Münzturmes.

## 3. Masse und Dichte

Beobachtungen im Alltag

- Beim plötzlichen Abbremsen oder Beschleunigen in einem Fahrzeug wirst du beim Mitfahren nach vor- bzw. zurückgedrückt.
- Bei einer Kurvenfahrt in oder auf einem Fahrzeug widersetzt sich dein Körper der Änderung der Bewegungsrichtung und möchtest dich geradeaus weiterbewegen. Du wirst nach außen gedrückt.
- Du spazierst auf dem Strand und hinterlässt Fußabdrücke im Sand.

**Wie macht sich die Masse eines Körpers bemerkbar?** Jeder Körper besteht aus winzig kleinen Teilchen. Jedes Teilchen besitzt **Masse** (Symbol: **m**). Du bemerkst Masse durch die **Gewichtskraft** deines Körpers. Sie wird für dich sichtbar, wenn du im Sand Spuren hinterlässt. Genau genommen ist die Gewichtskraft eine **Anziehungskraft**, die zwischen allen Körpern herrscht, z. B. zwischen dir und der Erde.

Die Masse eines Körpers zeigt sich auch durch seine **Trägheit**. Das ist die Eigenschaft des Körpers, seinen Bewegungszustand halten zu wollen, bis eine äußere Kraft einwirkt (Abb. 12.1.).

**V1:** Ein kleiner Gegenstand (z. B. Bleistiftspitzer) wird auf ein Spielzeugauto gelegt. Schnippe das Auto an (Abb. 12.2.). Der Gegenstand fällt beim Losfahren hinten herunter. Er will in „Ruhe“ bleiben aufgrund seiner Trägheit.

**V2:** Stelle auf ein Fahrzeug, das sich auf einer schiefen Ebene befindet, ein zweites oben drauf. Am Ende der schiefen Ebene legst du einen Stein als Prellbock. Lass nun das Fahrzeug die schiefe Ebene hinunterrollen (Abb. 12.3.). Beim Aufprall wird das Auto am Dach nach vorne geschleudert. Es macht die Bewegungsänderung nicht mit.

**V3:** Lege eine Münze oder einen kleinen Gegenstand auf ein Blatt Papier auf deinen Tisch. Versuche nun das Blatt zuerst langsam, dann schnell wegzuziehen. Probiere es auch mit verschiedenen schweren Gegenständen (unterschiedliche Massen).

V1, V2 und V3 zeigen, dass jeder Körper seinen Bewegungszustand beibehalten möchte. V3 lässt auch erkennen, dass Körper umso träger sind, je größer ihre Massen sind.

**V4:** Versuche von einer am Klopapierhalter befestigten Toilettenpapierrolle ein Blatt abzureißen, ohne dabei die Rolle festzuhalten (Abb. 12.5.). Wie musst du vorgehen?

**V5:** Lege einen kleinen Stoß Münzen (Abb. 12.6.) auf deinen Ellbogen. Versuche nun, mit dieser Hand die Münzen zu fangen.

**V6:** Baue einen Turm aus Münzen. Um die unterste Münze schlingst du einen Faden und ziehst ruckartig (Abb. 12.7.). Du kannst so die unterste Münze aus dem Turm herausziehen, ohne dass dieser umfällt.

Die Masse ( $m$ ) eines Körpers macht sich durch seine Trägheit (Beharrungsvermögen) und seine Gewichtskraft bemerkbar. Die Trägheit wirkt Bewegungsänderungen entgegen. Ein Körper ist umso träger, je größer seine Masse ist.

**Welche Maßeinheiten der Masse gibt es?** Um Masse messen zu können, braucht man eine Messvorschrift. Man setzte daher die Masse von  $1 \text{ dm}^3$  (= 1 Liter) Wasser bei  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  als Einheitsmasse fest und nannte sie 1 Kilogramm (1 kg). Das Urkilogramm, ein Zylinder aus Platin und Iridium (Abb. 13.1.), wird seit jeher zu Vergleichszwecken zur genauen Bestimmung der Masse herangezogen. So können wir nie vergessen, wie schwer ein Kilogramm ist. Die griechischen Vorsilben „Kilo“ bzw. „Deka“ bedeuten „Tausend“ bzw. „Zehn“. Ein Kilogramm entspricht  $1.000 \text{ g}$ , während  $1 \text{ Dekagramm}$   $10 \text{ g}$  entspricht.

- 1 Tonne (t) = 1.000 Kilogramm (kg)
- 1 Kilogramm (kg) = 100 Dekagramm (dag) = 1.000 Gramm (g)
- 1 Dekagramm (dag) = 10 Gramm (g)
- 1 Gramm (g) = 1.000 Milligramm (mg)

Die Einheit der Masse ist das Kilogramm (kg). 1 dm<sup>3</sup> Wasser bei 4 °C entspricht etwa 1 kg. 1 Kilogramm (kg) = 100 Dekagramm (dag) = 1.000 Gramm (g)  
 1 Tonne (t) = 1.000 Kilogramm (kg)

### Wie bestimmt man die Masse eines Körpers?

Eine **Balkenwaage** (Abb. 13.2.) ist im Gleichgewicht, wenn auf beiden Seiten gleich große Massen liegen. Dann herrschen auf beiden Seiten gleich große Gewichtskräfte. Zur Bestimmung der Masse braucht man einen Vergleichskörper. Das ist ein Körper, dessen Masse du kennst, z. B. ein 1-Kilogramm-Stück aus einem Wägesatz. Heute wird die Masse meist mit einem elektronischen Messgerät (z. B. Küchenwaage) bestimmt (Abb. 13.4.).

**V7:** Versuche, mit einer Balkenwaage die Masse verschiedener Körper mit Hilfe eines Wägesatzes zu bestimmen.

Auf diese Weise könnte man die Masse eines Körpers auch an anderen Orten bestimmen, wo die Gewichtskraft der Körper kleiner (Mond – kleinere Anziehungskraft) bzw. größer (Jupiter – größere Anziehungskraft) als auf der Erde ist. Beachte: Die Masse eines Körpers ist jedoch überall gleich groß!

Die Masse eines Körpers wird mit einer Waage bestimmt. Körper mit gleicher Gewichtskraft haben gleiche Masse.

### Was versteht man unter der Dichte?

Liegen zwei gleich große Körper aus unterschiedlichem Material, z. B. Eisen und Holz, auf einer Balkenwaage, so ist diese nicht im Gleichgewicht (Abb. 13.5.). Der Körper aus Holz hat offensichtlich eine kleinere Masse. Umgekehrt können zwei Körper gleiche Masse aufweisen und trotzdem unterschiedliches Volumen haben (Abb. 13.6.). Um die Masse verschiedener Stoffe miteinander vergleichen zu können, ermittelt man das Gewicht ihres Einheitsvolumens (z. B. für 1 cm<sup>3</sup>, 1 dm<sup>3</sup> oder 1 m<sup>3</sup>). Die Masse pro Einheitsvolumen bezeichnet man als die **Dichte** eines Stoffes [Symbol für die Dichte ( $\rho$ ) griechischer Buchstabe (rho)].

**Berechnung der Dichte** eines Körpers mit beliebigem Volumen:

- Bestimme die Masse des Körpers mit Hilfe einer Waage. (z. B.: m = 10,8 kg)
- Bestimme das Volumen des Körpers durch Berechnung oder mit einem Messzylinder (z. B.: V = 4 dm<sup>3</sup>).
- Dividiere die Masse durch das Volumen (Ergebnis ist die Masse pro Einheitsvolumen, also in diesem Fall für 1 dm<sup>3</sup>)

$$\frac{10,8\text{kg}}{4\text{dm}^3} = \frac{10,8}{4} \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 2,7\text{kg/dm}^3 \quad \text{Dichte} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}} \quad \rho = \frac{m}{V}$$

Die Dichte ist wie die Masse eine ortsunabhängige Größe und somit eine Materialkonstante. Nicht immer besteht die Möglichkeit, die Masse eines Körpers zu bestimmen. Kennt man aber Dichte und Volumen, kann man die Masse berechnen.

Die Dichte eines Stoffes ist die Masse pro Einheitsvolumen.

Maßeinheiten der Dichte sind:  $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ,  $\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ , und  $\frac{\text{t}}{\text{m}^3}$  oder  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  (für Gase)

Formel zur Berechnung der Dichte:  $\text{Dichte} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}} \quad \rho = \frac{m}{V}$



13.1. Urkilogramm: Zylindrischer Körper aus 90 % Platin und 10 % Iridium. Es wird in Sèvres in der Nähe von Paris aufbewahrt.



13.2. Balkenwaage → Grundsatz: „Körper mit gleicher Gewichtskraft haben gleiche Masse.“



13.3. Wägesatz (Massensatz)



13.4. Elektronische Waage



13.5. Körper mit gleichem Volumen, aber unterschiedlichen Massen



13.6. Körper mit gleicher Masse, aber unterschiedlichem Volumen.

Dichte von Feststoffen bei 20° C in kg/dm <sup>3</sup> :		
Iridium	22,40	Platin 21,50
Gold	19,30	Blei 11,30
Kupfer	8,90	Stahl 7,80
Gusseisen	7,30	Aluminium 2,70
Eis bei 0°C	0,92	Schaumstoff 0,02-0,05
Dichte von Flüssigkeiten bei 20° C in kg/dm <sup>3</sup> :		
Quecksilber	13,55	Milch 1,03
Wasser bei 4°C	1,00	Olivnöl 0,91
Weingeist	0,79	Benzin 0,70 - 0,80
Dichte von Gasen bei 0°C und 1013 mbar in kg/m <sup>3</sup> :		
Sauerstoff	1,43	Luft 1,29
Helium	0,18	Wasserstoff 0,09
Wasserdampf bei 100°C	0,60	

13.7. Dichte einiger Stoffe



14.1. Beim Spannen eines Bogens wird Verformungsarbeit geleistet.

## 4. Die Arbeit in der Physik

Beobachtungen im Alltag – Ist das Arbeit?

- Ein Schulkind hebt seine Schultasche, die eine Masse von 7 kg hat, auf.
- Auf einem Jahrmarkt spannst du den Bogen mit einer Kraft von 50 N auf 40 cm.
- Ein Fußball wird von einem Spieler mit einer Kraft von 500 N 60 m weit geschossen.
- SchülerInnen lernen für die Mathematik-Schularbeit.

### Was ist Arbeit in der Physik?

Physikalisch gesehen hast du beim Lernen keine **Arbeit** verrichtet. Arbeit wird in der Physik nur dann verrichtet, wenn eine **Kraft** längs eines **Weges** aufgewendet wird. Damit du dir vorstellen kannst, wie dieser Zusammenhang zu verstehen ist, führe folgenden Versuch durch:

**V1:** Staple Bücher in einer Kiste, bis die Gesamtmasse rund 10 kg beträgt (Nimm zum Wägen eine Personenwaage zur Hilfe!). 10 kg entsprechen rund 100 N. Hebe die Kiste nun bis in eine Höhe von 1 m. (Bestimme die Höhe mit einem Rollmaßband!)



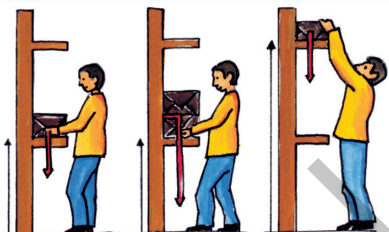
14.2. Hier wird Arbeit im physikalischen Sinn verrichtet – Hubarbeit

Nun hast du Arbeit im physikalischen Sinn verrichtet. Diese Art der mechanischen Arbeit nennen wir Hubarbeit. In Abb. 14.3. siehst du, wie die Größen Kraft und Länge mit der Größe Arbeit zusammenhängen.

Stelle folgende Überlegungen an:

- Was ändert sich, wenn du die Kiste mit 100 N zwei Meter hoch hebst?
- Was ändert sich, wenn du eine Kiste mit 200 N einen Meter hoch hebst?

Du kannst dies mathematisch überprüfen, indem du die aufgewendete Kraft (in N) mit dem zurückgelegten Weg (in m) multiplizierst.



14.3. Wer die doppelte Last gleich hoch hebt, arbeitet auch doppelt so viel. Hebst du die gleiche Last doppelt so hoch, verrichtest du auch die doppelte Arbeit.

Die Einheit der Arbeit ist das **Newtonmeter**. Diese Einheit ergibt sich aus dem Produkt aus der Einheit der Kraft (Newton) und der Einheit des Weges (Meter). Die Einheiten sind international vereinheitlicht.

Diese Einheit wird zu Ehren des englischen Physikers **James Prescott Joule** (Abb. 15.1.) auch als **1 Joule (J)** bezeichnet. Die Arbeit von 1 Joule wird z. B. dann verrichtet, wenn eine Kraft von 1 Newton einen Körper um 1 m hebt. Ein Beispiel dazu findest du in Abbildung 15.2.



14.4. Für die Arbeit zählt nur der Teil der Kraft, der in Richtung des zurückgelegten Weges wirkt.

Arbeit im physikalischen Sinn wird dann verrichtet, wenn eine Kraft entlang eines Weges aufgewendet wird.

Für die Berechnung der mechanischen Arbeit  $W$  (engl.: work) gilt:

Arbeit = Kraft mal Weg

$$W = F \cdot s$$

Einheit: Nm (Newtonmeter)

### Welche Arten der mechanischen Arbeit gibt es?

**Hubarbeit** haben wir nun in Abbildung 14.2. kennengelernt.

**Verformungsarbeit** tritt z. B. beim Dehnen einer Feder, beim Spannen eines Bogens, beim Kneten eines Teiges oder beim Biegen eines Metallstabes auf.

Bei der **Reibungsarbeit** wird ein Körper gegen die Reibungskraft entlang eines Weges in Bewegung gehalten.

Physiker unterscheiden Hubarbeit (z. B. Schultasche heben), Verformungsarbeit (z. B. Bogen spannen), Beschleunigungsarbeit (z. B. einen Ball schießen) und Reibungsarbeit.

### Was ist die „Goldene Regel der Mechanik“?

Im täglichen Leben stellt man sich oft die Frage, ob man Arbeit verringern kann. Wir wollen diese Frage mit Hilfe eines Versuches klären.

**V2:** Lehne ein Holzbrett an einen Tisch und baue so eine schiefe Ebene. Hänge ein kleines Spielzeugauto an eine Federwaage (max. 10 N) und bestimme die Gewichtskraft, die auf das Auto wirkt. Miss die Höhe der schiefen Ebene (im rechten Winkel zum Boden). Ziehe nun das Auto mit der Federwaage entlang der schiefen Ebene hoch. Miss die zurückgelegte Strecke auf der schiefen Ebene ab! Die verrichtete Arbeit kannst du nun berechnen.

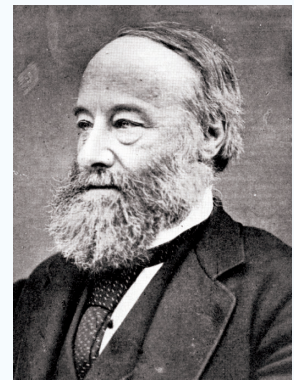
Die aufzuwendende Kraft ist entlang der schiefen Ebene deutlich kleiner. Dafür ist der zurückgelegte Weg deutlich länger. Allerdings ist das Produkt aus Kraft und Weg in beiden Fällen gleich.

Arbeit kann nicht verringert werden. Eine Kraftersparnis wird immer durch einen längeren Weg ausgeglichen. Dies ist die goldene Regel der Mechanik.

☞ Informiere dich über die Goldene Regel der Mechanik im Internet!

### Gut zu wissen ...

- **Arbeit** und **Energie** haben dieselbe Einheit: Nm bzw. Joule. Sie unterscheiden sich aber in ihren Erscheinungsformen. Arbeit beschreibt immer einen **Vorgang**. Energie ist eine **Zustandsgröße**. Denke dabei an den Zustand einer Batterie: Sie kann geladen sein, also gespeicherte Energie enthalten, oder entladen sein, also keine Energie mehr enthalten.
- Häufig wird im Zusammenhang mit der physikalischen Arbeit auch der Begriff **Leistung** verwendet. Unter Leistung versteht man die **Arbeit pro Zeiteinheit** (Arbeit in Nm : Zeit in Sekunden).
- Das **Formelzeichen** der Leistung ist **P** (engl.: power).
- Die **Einheit** der Leistung ist das **Watt (W)**. Dies entspricht einem Joule pro Sekunde.
- Der Engländer **James Watt** – nach dem die Einheit der Leistung benannt wurde – lebte von 1736 bis 1819. Er gilt als der **Erfinder** der ersten praktisch nutzbaren Dampfmaschine.



15.1. James Prescott Joule (1818–1889)

Markus trägt eine Getränkekiste mit der Masse von 12 kg vom Keller in den dritten Stock (Höhenunterschied 11 m). Wie groß ist die Arbeit, die er verrichtet? Auf eine Masse von 12 kg wirkt eine Gewichtskraft von ca. 120 N. Diese muss er entlang eines Höhenunterschiedes von 11 m überwinden.

Die Arbeit ist daher:  
 $W = F \cdot s = 120 \text{ N} \cdot 11 \text{ m} = 1.320 \text{ Nm}$

15.2. Beispiel zur Berechnung der Arbeit



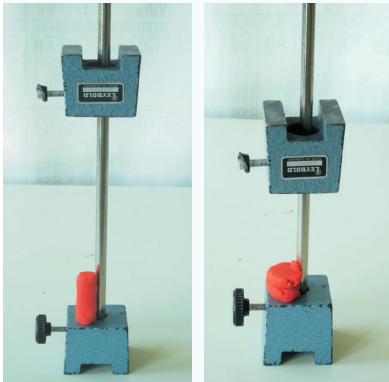
15.3. Die schiefe Ebene. Die Arbeit bleibt beim Hochheben und Hinaufrollen des Körpers die gleiche.



15.4. Durch Verformungsarbeit werden alte Autos zu Schrott gepresst.

### 📌 Info-Box

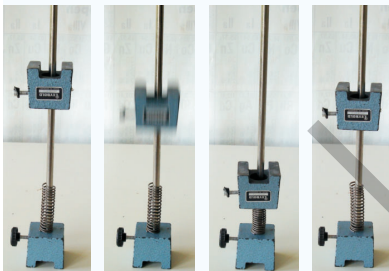
SI-System	internationales Einheitensystem; die Basisgröße ist das Meter.
Mechanik	Teilgebiet der Physik, Lehre von der Bewegung der Körper und den Kräften
Kilojoule	10.000 Joule (Kilo = Vorsilbe für 1.000)



16.1. Ein Massestück leistet Verformungsarbeit an der Plastilinkugel.



16.2. In einem gespannten Bogen steckt Energie. Sie kann an dem Pfeil Beschleunigungsarbeit leisten.



Lageenergie    Lage- und Bewegungsenergie    Spannungsenergie    Lage- und Bewegungsenergie

16.3. Die Energieumwandlung



16.4. Die Bewegungsenergie steigt mit dem Quadrat der Geschwindigkeit.

## 5. Energie und ihre Umwandlungen

Häufig hört und liest man in Fernsehen, Internet und Zeitungen:

- Wir steuern auf eine Energiekrise zu.
- Energiesparen ist eine notwendige Maßnahme für die Menschen reicher Staaten.
- Es gibt Bundesländer, die in der Energieversorgung unabhängig sind.
- Das Licht brennen zu lassen, ist Energieverschwendung.

### Was ist Energie?

**LEHRVERSUCH V1:** Es wird eine Kugel aus Plastilin geformt und auf den Tonnenfuß eines Stativs gelegt. Dann wird eine massive Klemme an eine ca. 50 cm hohe Stativstange befestigt wie in Abbildung 16.1. und die Muffe vom Ende der Stativstange auf die Plastilinkugel fallen gelassen.

Du hast an der Klemme Hubarbeit verrichtet, als du sie hochgehoben hast. (Erinnere dich:  $W = F \cdot s$ ). Die Klemme verrichtet Verformungsarbeit an der Plastilinkugel. Erinnere dich auch an das Spannen eines Bogens. Dabei musst du Verformungsarbeit leisten. Der gespannte Bogen kann einen Pfeil beschleunigen und somit Beschleunigungsarbeit verrichten.

In beiden Fällen wurde an einem Körper Arbeit verrichtet. Diese ist nun in ihm „gespeichert“. Der Vorgang des Hebens bzw. Spannens hat den Zustand eines Körpers verändert. Man sagt, der Körper hat Energie.

Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten.

Daher ist es auch sinnvoll, die Größe der Energie an der Arbeit zu messen, die ein Körper verrichten kann. Arbeit und Energie werden in derselben Einheit angegeben.

Energie wird in Newtonmeter (Nm) oder Joule (J) gemessen.

### Welche Formen von mechanischer Energie gibt es?

Aus V1 erkennen wir, dass ein Körper, an dem Hubarbeit verrichtet wurde, **Lageenergie** (potentielle Energie) besitzt. Abbildung 16.3. zeigt eine ähnliche Versuchsanordnung mit einer starken Feder. Die Lageenergie wächst mit der aufgewendeten Hubarbeit, also mit der Gewichtskraft des Körpers und der Höhe.

Beim Herabfallen des Körpers wird die Lageenergie in **Bewegungsenergie** (kinetische Energie) umgewandelt. Sie leistet wiederum Verformungsarbeit an der Feder. In ihr ist nun wieder potentielle Energie gespeichert. Die Bewegungsenergie ist umso größer, je größer die Masse der bewegten Körper ist.

Die Bewegungsenergie nimmt mit steigender Geschwindigkeit zu. Verdoppelt man die Geschwindigkeit des Körpers, so ist seine Bewegungsenergie viermal so groß. Bewegt sich ein Körper dreimal so schnell, so ist die kinetische Energie neunmal so groß. Diese Steigerung folgt also einer mathematischen Regel, nämlich dem Quadrat der Geschwindigkeit ( $2^2, 3^2, 4^2, \dots$ ). Betrachte dazu Abbildung 16.4.

Diese starke Zunahme der Bewegungsenergie sollte man bei Rad- und Autofahrten berücksichtigen, da bei einem Unfall Verformungsarbeit am Fahrzeug und am Menschen geleistet wird.

Mechanische Energieformen sind die Lageenergie (potentielle Energie), die Bewegungsenergie (kinetische Energie), die Spannenergie und die Rotationsenergie.

An Abbildung 17.1. lässt sich erkennen, dass die Energieformen ineinander umgewandelt werden können. Daraus leitet sich ein fundamentaler Satz der Naturwissenschaften ab:

In einem abgeschlossenen System kann Energie nicht erzeugt werden oder verloren gehen. Sie kann nur in andere Energieformen umgewandelt werden.

Die Gesamtenergie bleibt bei der Energieumwandlung erhalten. Allerdings wird nur ein Teil in die gewünschte Energieform umgewandelt. Der Rest wird in Formen übergeführt, die nicht direkt nutzbar sind (z. B. Wärmentwicklung der Glühlampe).

### Welche weiteren Arten der Energie gibt es?

Batterien in einem ferngesteuerten Auto wandeln **chemische Energie** in **elektrische Energie** (Abb. 17.2.) und schließlich elektrische Energie in Bewegungsenergie um. Eine Glühlampe z. B. wandelt die zugeführte elektrische Energie in **Strahlungsenergie** (Licht) um. Es entsteht dabei aber auch Wärme.

Elektrischen Strom benötigen wir täglich. **Elektrische Energie** hat daher wirtschaftlich eine große Bedeutung. Diese lässt sich verhältnismäßig leicht aus anderen Energieformen umwandeln. Die potentielle Energie des gespeicherten Wassers in Stauseen wird beim Herabstürzen in Bewegungsenergie umgewandelt. Das Wasser trifft auf eine Turbine, die einen Generator betreibt. So wird die Bewegungsenergie des fließenden Wassers in elektrische Energie umgewandelt (Abb. 17.3.). Elektrische Energie lässt sich zwar leicht transportieren, aber in dieser Form beinahe nicht speichern. Dazu muss sie wieder in eine andere Energieform umgewandelt werden.

Weitere Arten der Energie sind Wärmeenergie, chemische Energie, Kern- und Strahlungsenergie sowie elektrische Energie. Elektrische Energie wird z. B. vielfältig genutzt in Haushalt, Fahrzeugen und Arbeitsmaschinen, für Spielzeug u.v.m.

### Was sind Energieträger?

Wie du bereits weißt, entsteht Energie nicht, sie ist eine Zustandsgröße und lässt sich aus bestimmten Energieträgern umwandeln. In Energieträgern ist Energie in einer bestimmten Form gespeichert.

Fossile Energieträger sind Erdöl, Erdgas oder Kohle. Erneuerbare Energieträger sind Wasser-, Wind- und Sonnenkraft.

### Gut zu wissen ...

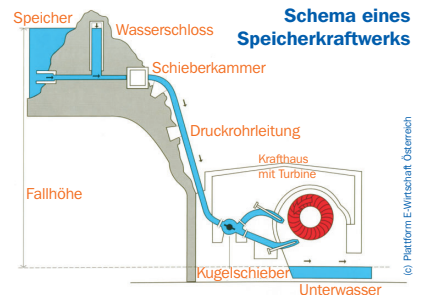
Fossile Energieträger, aber auch Holz, sind auf unserer Erde nur begrenzt vorhanden. Gehe daher sparsam mit Papier um. Erwinnere Erwachsene auch daran, kurze Strecken besser ohne Auto zurückzulegen. So kannst du Gutes für die Umwelt tun.



17.1. Ein Solarauto wandelt die Strahlungsenergie der Sonne in elektrische Energie und diese in Bewegungsenergie um.



17.2. In Batterien wird chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt.



17.3. In einem Speicherkraftwerk wird die potentielle Energie des Wassers in elektrische Energie umgewandelt.

### Info-Box

Rotation	Drehung
fossile Energieträger	entstehen unter hohem Druck im Erdinneren aus abgestorbenen Pflanzen und Tieren, Strahlungsenergie der Sonne ist in Form von chemischer Energie in ihnen gespeichert.



18.1. Eine Brettschaukel ist ein zweiseitiger Hebel.

## 6. Der Hebel

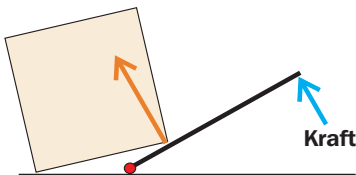
Beobachtungen im Alltag

- Du sitzt mit einer erwachsenen Person auf einer Brettschaukel und möchtest sie hochheben. Bitte die Person, näher zur Mitte (zum Drehpunkt) zu rücken.
- Du kannst eine Schraubenmutter mit deinen Finger nicht lockern. Wenn du einen Schraubenschlüssel verwendest, funktioniert es. Warum ist das so?

### Was ist ein Hebel?

**V1:** Versuche eine Türklinke mit einem Finger nahe am Drehpunkt hinunter-zudrücken. Versuche es erneut, drücke dann am äußeren Ende der Klinke.

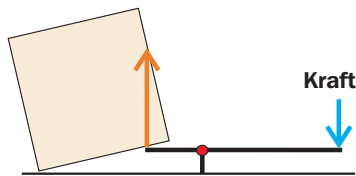
**V2:** Ein 20 cm langes Lineal wird beidseitig mit unterschiedlich schweren Gegenständen (z. B. Radiergummis) beladen. Was kannst du tun, damit beide Seiten im Gleichgewicht sind?



18.2. Einseitiger Hebel: Die Kräfte wirken auf einer Seite des Drehpunktes.

In Abb. 18.2. und 18.3. sind Kraftarm und Lastarm dargestellt. Der Normalabstand der Wirkungslinie der Kraft vom Drehpunkt wird Kraftarm genannt.

Ein Hebel ist ein starrer Körper, der um eine Achse drehbar gelagert ist. Die Drehwirkung wird größer, wenn die Kraft vergrößert oder der Kraftarm verlängert wird.



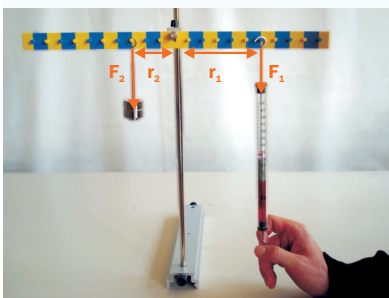
18.3. Zweiseitiger Hebel: Die Kräfte wirken auf beiden Seiten des Drehpunktes.

### Was ist ein zweiseitiger Hebel?

Eine Anordnung wie die Brettschaukel (Abb. 18.1.) bezeichnet man als zweiseitigen Hebel. Die beiden Kräfte greifen dabei an verschiedenen Seiten des Drehpunkts an und wirken in die gleiche Richtung.

Wie du in V2 sehen konntest, ist ein zweiseitiger Hebel im Gleichgewicht, wenn er sich nicht dreht. Auch lässt sich aus V2 erkennen, dass die angreifenden Kräfte nicht immer gleich groß sein müssen. Es kommt auch auf den Abstand vom Drehpunkt an. Mit Hilfe eines Versuches werden wir untersuchen, unter welchen Voraussetzungen ein Hebel im Gleichgewicht ist.

**V3:** Baue einen zweiseitigen Hebel mit Hilfe eines Stativs und einer Messleiste (Abb. 18.4.). Hänge ein Massestück von 20 dag ( $\approx 2$  N) 10 cm von der Drehachse an den Hebel. Bringe den Hebel ins Gleichgewicht, indem du ein gleich schweres Massestück an der anderen Seite befestigst. Versuche dasselbe mit einem Massestück von 10 dag ( $\approx 1$  N) bzw. 40 dag ( $\approx 4$  N)! Kontrolliere deine Versuchsergebnisse an Hand folgender Tabelle:



18.4. Der zweiseitige Hebel ist im Gleichgewicht, wenn die Produkte aus Kraft mal Kraftarm auf beiden Seiten gleich groß sind.

linke Seite		rechte Seite	
Last $F_1$	Lastarm $r_1$	Kraft $F_2$	Kraftarm $r_2$
2 N	0,1 m	2 N	0,1 m
2 N	0,1 m	1 N	0,2 m
2 N	0,1 m	4 N	0,05 m

Aus V3 lässt sich erkennen: Je kleiner die angreifende Kraft ist, desto länger muss der Kraftarm sein, um das Gleichgewicht zu halten. Multipliziere Kraft und Kraftarm für beide Seiten und vergleiche die Ergebnisse! Du erkennst, dass die Produkte auf beiden Seiten gleich groß sind, wenn der zweiseitige Hebel im Gleichgewicht ist.

Bei einem zweiseitigen Hebel liegen Kraftarm und Lastarm auf verschiedenen Seiten des Drehpunkts. Beispiele sind: Schere, Brettschaukel, Zange, Spaten. Am zweiseitigen Hebel herrscht Gleichgewicht, wenn die Produkte aus Kraft und Kraftarm auf beiden Seiten gleich groß sind. (Hebelgesetz)

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

Das Hebelgesetz kann man auch so formulieren:

„Kraft mal Kraftarm = Last mal Lastarm“

Die Goldene Regel der Mechanik gilt auch hier. Das Produkt aus Kraft mal Weg ist konstant. Auch hier kann man die Kraft vermindern, indem man den Weg (Lastarm) verlängert.

### Was ist ein einseitiger Hebel?

**V4:** Befestige eine Messleiste an einem Stativ (Abb. 19.1.). Befestige ein Massestück von 20 dag in 10 cm Entfernung vom Drehpunkt. Mit einer Federwaage (1 N) bestimmst du die Kraft, die nötig ist, um den Hebel im Gleichgewicht zu halten. Verändere die Länge des Kraftarms durch das Verschieben der Federwaage auf 2,5 cm, 5 cm und 20 cm und prüfe erneut!

Kontrolliere deine Messergebnisse anhand der Tabelle:

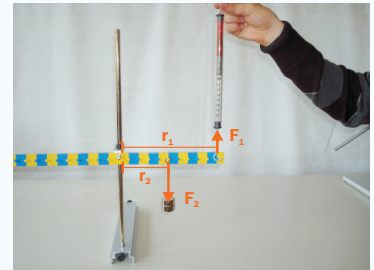
Last $F_1$	Lastarm $r_1$	Kraft $F_2$	Kraftarm $r_2$
2 N	0,1 m	8 N	0,025 m
2 N	0,1 m	4 N	0,05 m
2 N	0,1 m	2 N	0,1 m
2 N	0,1 m	1 N	0,2 m

Wenn du das Produkt aus Kraft mal Kraftarm und Last mal Lastarm bildest, wirst du erkennen, dass die verrichtete Arbeit gleich groß ist (0,2 Nm). Auch hier gilt das Hebelgesetz.

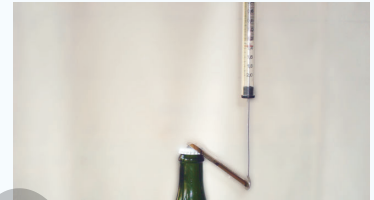
Bei einem einseitigen Hebel liegen Kraftarm und Lastarm auf derselben Seite des Drehpunkts und wirken in die entgegengesetzte Richtung. Beispiele für einseitige Hebel sind Flaschenöffner, Schubkarre oder der menschliche Arm.

### Gut zu wissen ...

- **Archimedes** (287–212 v. Chr.), der bedeutendste Mathematiker des Altertums, entdeckte das Hebelgesetz. Er baute Schrauben und Flaschenzüge für die Wasserbeförderung und Hebelwerkzeuge (z. B. Katapulte für den Einsatz in den Punischen Kriegen).



19.1. Auch für den einseitigen Hebel gilt das Hebelgesetz.



19.2. Ein Flaschenöffner ist ein einseitiger Hebel.



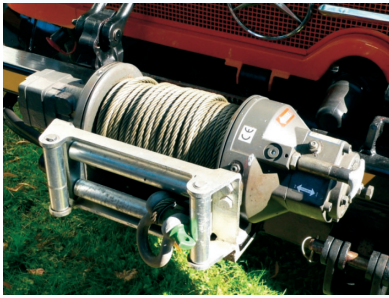
19.3. Ein Flaschenöffner als zweiseitiger Hebel. Wo sind hier die Angriffspunkte der Kräfte?



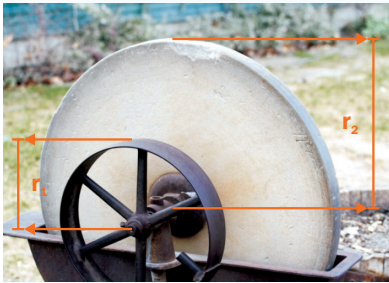
19.4. Der Unterarm des Menschen ist ein einseitiger Hebel.

### Info-Box

Drehmoment	Drehwirkung einer Kraft; gibt die Stärke der Drehung an
Kraftarm > Lastarm	Du sparst an Kraft, beanspruchst aber einen längeren Weg.
Kraftarm < Lastarm	Du brauchst mehr Kraft, gewinnst aber an Weg.



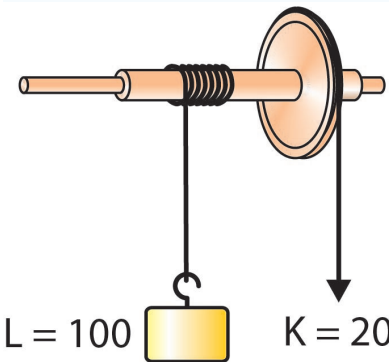
20.1. Eine Seilwinde ist ein Wellrad zur Kraftverstärkung.



20.2. Der Schleifstein ist ein Wellrad mit Geschwindigkeitsgewinn.



20.3. Kraftübertragung am Fahrrad – Wellräder bewirken Kraft- bzw. Geschwindigkeitsgewinn.



20.4. Wellrad bei einem Trinkwasserbrunnen (schematische Darstellung)

## 7. Rollen und Wellräder

Beobachtungen im Alltag

- Mit der Seilwinde an einem Feuerwehrauto kann man einen PKW bergen (Abb. 20.1.).
- Mit einem Schleifstein lassen sich Messer schärfen (Abb. 20.2.).
- Die Tretkurbel und das Kettenrad eines Fahrrades bilden Wellräder mit Kraftgewinn. Das kleine Kettenrad und das Hinterrad bilden ein Wellrad mit Geschwindigkeitsgewinn (Abb. 20.3.).

### Wie funktioniert ein Wellrad?

Schwere Gegenstände lassen sich mit Wellrädern hochheben. Ein Wellrad besteht aus zwei Rädern mit verschiedenen Durchmessern, die auf einer gemeinsamen Welle befestigt sind (Abb. 20.4.). Meist ist ein Rad als Kurbel ausgebildet. Das Wellrad funktioniert wie ein Hebel. Die Radien der Räder stellen die Kraftarme dar.

Möchte man einen **Kraftgewinn** erzielen, so müde die Kurbel am großen Radius angreifen. Wellräder mit Kraftgewinn sind z. B. das Lenkrad, die Nussmühle, die Trekkurbel beim Fahrrad oder die Handbohrmaschine.

Bei einem erwünschten **Geschwindigkeitsgewinn** greift die Kurbel am kleineren Radius an, der Kraftaufwand ist dann aber größer. Wellräder mit Geschwindigkeitsgewinn sind das hintere Kettenrad beim Fahrrad, der Schleifstein, der Handquirl oder die Kreissäge.

Ein Wellrad besteht aus zwei Rädern mit unterschiedlichen Durchmessern, die auf einer Welle befestigt sind. Für Wellräder gilt das Hebelgesetz. Je nach Größe des Rades lässt sich entweder eine Kraftersparnis oder ein Geschwindigkeitsgewinn erreichen.

### Wie wird ein Fahrrad angetrieben?

Der Antrieb eines **Fahrrades** besteht aus zwei Wellrädern. Das Fußpedal (größerer Radius) und das vordere Kettenrad (kleinerer Radius) bilden ein Wellrad mit **Kraftgewinn**. Die Kette überträgt die Kraft vom vorderen Kettenrad auf das kleinere hintere Kettenrad. Das hintere Kettenrad hat weniger Zähne als das vordere. Die Kette sorgt dafür, dass sich bei beiden Kettenrädern die gleiche Anzahl von Zähnen bewegt. Daher muss sich das hintere Kettenrad schneller drehen.

Kette und Kettenräder übertragen die Kraft, sie bilden ein **Getriebe**. Das kleinere Kettenrad bildet mit dem Hinterrad ein Wellrad mit **Geschwindigkeitsgewinn**.

Die **Übersetzung** gibt an, wie oft sich das Hinterrad bei einer Umdrehung des Fußpedals dreht. Man kann sie berechnen, in dem man die Zahl der Zähne des Kettenblattes durch die Anzahl der Zähne des Ritzels dividiert. Ein großer Zahnkranz vorne und ein sehr kleines Ritzel hinten bewirken einen Geschwindigkeitsgewinn, allerdings benötigt man zum Treten auch mehr Kraft.

- Das Fußpedal mit dem großen Kettenrad bildet ein Wellrad mit Kraftgewinn.
- Die Kraftübertragung erfolgt über die Fahrradkette und die Kettenräder. Sie bilden ein Getriebe.
- Ritzel und Hinterrad bilden ein Wellrad mit Geschwindigkeitsgewinn.