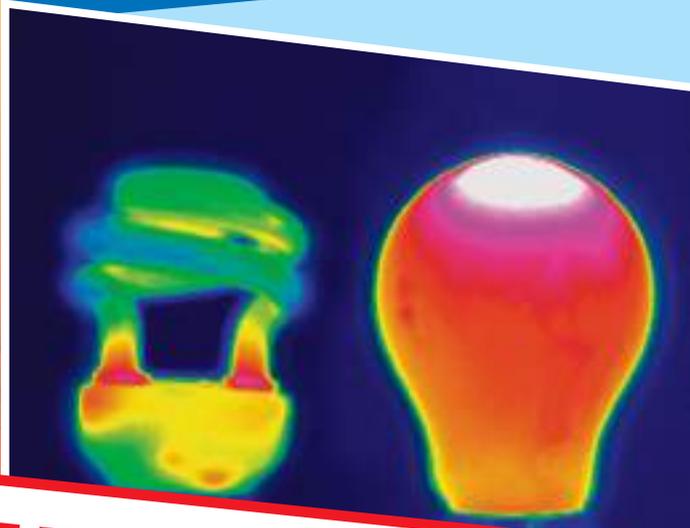


9

Physik



TEILDRUCK
GENEHMIGTE AUFLAGE
ERSCHEINT IM FESTEINBAND



C.C. BUCHNER

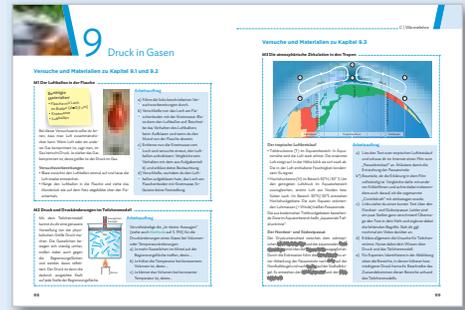
Gymnasium Bayern

So kannst du mit diesem Buch arbeiten

Jetzt geht es los

Versuche und Materialien

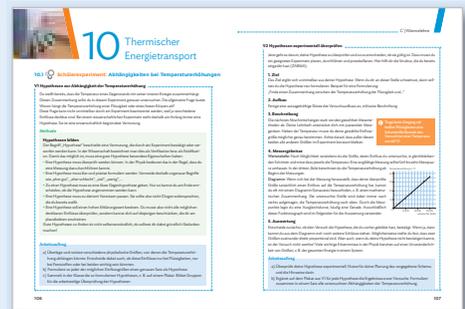
Ein Kapitel beginnt häufig mit diesen Seiten. Sie enthalten eine große Auswahl an Versuchsvorschriften und Materialien, immer begleitet durch eine Reihe von Auswertungsfragen. Die Inhalte sind immer einem Unterkapitel zugeordnet und sollten vor dem Unterkapitel bearbeitet werden. Du kannst dadurch die neuen Inhalte selbstständig entdecken. Die Kompetenzerwartungen, die an dich gestellt werden, werden hier in besonderem Maße abgedeckt. Wenn du selbst einen Versuch durchführen sollst, wird das mit einem **V** gekennzeichnet. Manchmal wird eine bestimmte Fachmethode benötigt, um den Arbeitsauftrag zu bearbeiten. Diese **Methode** wird dann in einem grünen Kasten auf der Seite vorgestellt und erklärt.



Ran an die Praxis

Schülerexperimente

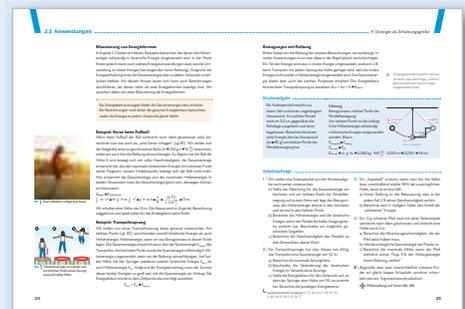
Experimente sind in der Physik von entscheidender Bedeutung, um neue Erkenntnisse zu gewinnen. Deswegen gibt es auf diesen Seiten ausführliche Erläuterungen und Auswertungsfragen, mit denen du selbstständig die vorgestellten Experimente durchführen kannst. Auch hier werden die benötigten **Methoden** kurz vorgestellt.



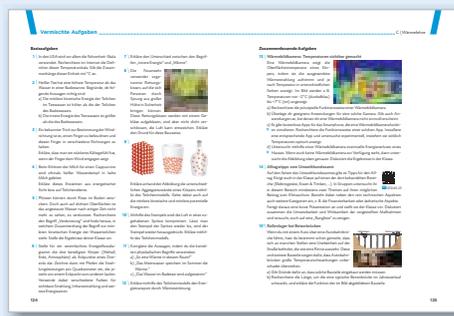
Die Theorie

Erarbeitung

Auf diesen Seiten wird der neue Stoff erklärt, wir nennen sie daher auch Theorieseiten. Die von dir durchgeführten Experimente und bearbeiteten Materialien werden dadurch besser verständlich. Damit du das Wichtigste gut lernst, gibt es auf jeder Doppelseite einen oder mehrere Kästen mit einem **Merksatz**. An ausgewählten Stellen findest du auch wieder einen grünen Kasten, der dir eine benötigte **Methode** vorstellt. Bilder und Tabellen veranschaulichen die Inhalte und liefern Daten, kleine Info-Kästen am Rand bieten Zusatzinformationen zum Text. Zum Anwenden des neu gewonnen Wissens gibt es auf jeder Doppelseite passende **Arbeitsaufträge**, die teilweise wieder mit einem **V** gekennzeichnet sind. Es gibt blaue und schwarze Aufgaben. Zu den schwarzen Aufgaben findest du Lösungshinweise. Damit du lernst, wie du bei den Aufgaben vorgehen musst, gibt es häufig auch eine **Musteraufgabe**, die das Vorgehen verdeutlicht.



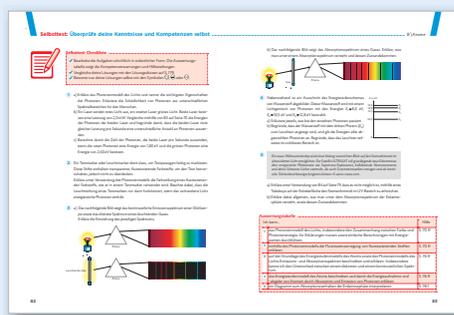
Alles klar?



Vermischte Aufgaben

Hier findest du zum Ende des Kapitels nochmal einige umfangreiche Aufgaben, die teilweise materialbasiert sind. Die „Basisaufgaben“ auf der ersten Seite sind etwas kürzer gehalten und befassen sich immer mit einem einzelnen Thema. Die „Zusammenfassenden Aufgaben“ können alle Themen des Kapitels aufgreifen und miteinander vernetzen. Sie helfen dir also dabei, das im Kapitel Gelernte nochmal zu vertiefen und bereiten dich dadurch gut auf den im Anschluss folgenden Selbsttest vor.

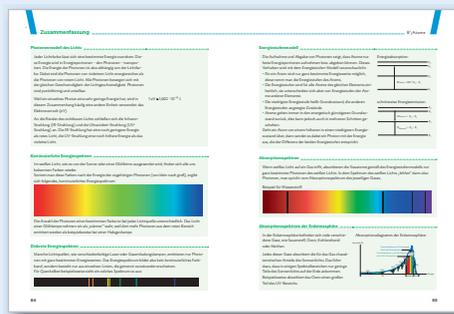
Ziel erreicht?



Selbsttest

Die Seiten helfen dir dabei festzustellen, ob du die neuen Inhalte des Kapitels verstanden hast. Es gibt zu jedem Kompetenzbereich Aufgaben, die du lösen und mit den bereitgestellten Lösungen abgleichen kannst. Du kannst deine Leistung dabei selbst bewerten. Schneidest du in einem Bereich nicht so gut ab, bekommst du im Auswertungskasten Informationen, wo du noch einmal nachlesen solltest.

Das weiß ich – das kann ich



Zusammenfassung

Die wichtigsten Inhalte und Kompetenzen, die du zum jeweiligen Thema gelernt hast, werden auf diesen Seiten kompakt zusammengefasst. Damit kannst du dich gut auf eine Klassenarbeit vorbereiten.

Bildlich gesprochen: Erklärung der Symbole

- Versuch, den du selbst durchführen kannst.
- Warnsymbol; befolge unbedingt den angegebenen Hinweis!
- Information; hier werden dir zusätzliche Informationen geliefert.
- 1** \ Basisaufgaben
- 2** \ Fortgeschrittene Aufgaben; zu diesen Aufgaben findest du bis zu drei Lösungshinweise auf den angegebenen Seiten im Anhang.
- 1*** \ Aufgaben, die über den Lehrplan hinaus gehen.
- MC** \ Mediencode; die angegebene Nummer kannst du unter www.ccbuchner.de im Suchfeld eingeben (z. B. Eingabe „67049-01“) und gelangst so zu weiteren Materialien.

9

Physik

Herausgegeben von
Rainer Dietrich, Robert Jäger, Rüdiger Janner und
Martin Schalk

Bearbeitet von
Rainer Dietrich
Christian Fauser
Frank Finkenberg
Robert Jäger
Rüdiger Janner
Wolfgang Kellner
Eva-Maria Meyer
Wolfgang Riffelmacher
Martin Schalk
Ruprecht Steinhübl
Christine Waltner

C.C.Buchner

Physik 9

Gymnasium Bayern

Herausgegeben von Rainer Dietrich, Robert Jäger, Rüdiger Janner und Martin Schalk

Bearbeitet von Rainer Dietrich, Christian Fauser, Frank Finkenberg, Robert Jäger, Rüdiger Janner, Wolfgang Kellner, Eva-Maria Meyer, Wolfgang Riffelmacher, Martin Schalk, Ruprecht Steinhübl und Christine Waltner unter Mitarbeit der Verlagsredaktion

Zu diesem Lehrwerk sind erhältlich:

- Digitales Lehrermaterial: **click & teach** Einzellizenz, Bestell-Nr. 670591
 - Digitales Lehrermaterial: **click & teach** Box (Karte mit Freischaltcode), ISBN 978-3-661-67059-1
- Weitere Materialien finden Sie unter www.ccbuchner.de.

Dieser Titel ist auch als digitale Ausgabe **click & study** unter www.ccbuchner.de erhältlich.

Dieses Werk folgt der reformierten Rechtschreibung und Zeichensetzung. Ausnahmen bilden Texte, bei denen künstlerische, philologische oder lizenzrechtliche Gründe einer Änderung entgegenstehen.

Die Mediacodes enthalten zusätzliche Unterrichtsmaterialien, die der Verlag in eigener Verantwortung zur Verfügung stellt.

Bitte beachten: An keiner Stelle im Schülerbuch dürfen Eintragungen vorgenommen werden. Dies gilt besonders für die Leerstellen in Aufgaben und Tabellen.

Teildruck

1. Auflage, 1. Druck 2021

Alle Drucke dieser Auflage sind, weil untereinander unverändert, nebeneinander benutzbar.

© 2021 C. C. Buchner Verlag, Bamberg

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlags. Das gilt insbesondere auch für Vervielfältigungen, Übersetzungen und Mikroverfilmungen. Hinweis zu § 52 a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen.

Redaktion: Frederik Töpfer

Illustrationen: Stelzner Illustration & Grafikdesign, Frankfurt

Artegraph GbR, Rainer Götze, Berlin
newVISION! GmbH, Pattensen

Umschlag: Wildner + Designer GmbH, Fürth

Layout und Satz: mgo360 GmbH & Co. KG, Bamberg

www.ccbuchner.de



ISBN der vollständigen Auflage: 978-3-661-67049-2

Sicher experimentieren in der Physik. 8

A Energie als Erhaltungsgröße 10

1 Energie

Versuche und Materialien 12

1.1 Überblick über verschiedene Energieformen 14

1.2 Prinzip der Energieerhaltung 16

2 Mechanische Energie

Versuche und Materialien 18

2.1 Berechnung der Höhenenergie 20

2.2 Berechnung der kinetischen Energie. 22

Methode: Energieberechnungen

2.3 Anwendungen 24

3 Arbeit und Leistung

Versuche und Materialien 26

3.1 Arbeit und Energie 28

3.2 Wegunabhängigkeit der Hubarbeit. 30

3.3 Leistung 32

Methode: Unterscheide Alltags- und Fachsprache

3.4  **Schülerexperiment:** Leistung des menschlichen Körpers. 34

Methode: Absolute und relative Messfehler

Exkurs: Die Schiefe Ebene der Ludwigs-Süd-Nord-Bahn. 36

Vermischte Aufgaben 37

Selbsttest 42

4 Elektrische Energie	
Versuche und Materialien	44
4.1 Elektrische Ladung und Stromstärke	46
4.2 Potentialdifferenz und Energie	48
5 Elektrische Leistung	
Versuche und Materialien	50
5.1 Elektrische Energie, Leistung, Spannung und Stromstärke	52
5.2 Wirkungsgrad	54
5.3  Schülerexperiment: Leistung bei mehreren Widerständen	56
Methode: Einsatz von Messgeräten	
5.4 Anwendungen	58
Methode: „Beurteilen“ und „Bewerten“	
<hr/>	
Vermischte Aufgaben	60
Selbsttest	62
Zusammenfassung	64

B Atome 66

6 Photonenmodell des Lichts	
Versuche und Materialien	68
6.1 Farbe und Energie des Lichts	70
6.2 Diskrete und kontinuierliche Energiespektren	72
7 Energiestufenmodell des Atoms	
Versuche und Materialien	74
7.1 Energiestufenmodell des Atoms	76
7.2 Absorptionsspektrum der Erdatmosphäre	78
<hr/>	
Vermischte Aufgaben	80
Selbsttest	82
Zusammenfassung	84

C Wärmelehre 86

8 Temperatur und innere Energie

Versuche und Materialien 88

8.1 Aggregatzustände und Teilchenmodell 90

8.2 Absolute Temperatur im Teilchenmodell. 92

8.3 Innere Energie 94

8.4 Energieänderung bei Änderung des Aggregatzustands. 96

9 Druck in Gasen

Versuche und Materialien 98

9.1 Druck als Zustandsgröße von Gasen. 100

9.2 Druckänderung eines Gases. 102

9.3 Druckunterschied als Ursache für einen Teilchenstrom 104

10 Thermischer Energietransport

10.1  **Schülerexperiment:** Abhängigkeiten bei Temperaturerhöhungen 106

Methode: Hypothesen bilden

10.2 Spezifische Wärmekapazität 108

10.3 Änderung der inneren Energie 110

10.4 Wärmeleitung, Konvektion, Wärmestrahlung 112

11 Treibhauseffekt und Klimaveränderungen

Versuche und Materialien 114

Methode: Untersuchung der Argumentationsweise

11.1  **Schülerexperiment:** Modellversuch zum Treibhauseffekt. 118

11.2 Strahlungsgleichgewicht der Erde 120

11.3 Beiträge zum Treibhauseffekt. 122

Vermischte Aufgaben	124
Selbsttest	128
Zusammenfassung	130

D Profilbereich..... 132

12 Klima und Erderwärmung

Versuche und Materialien	134
12.1 Beitrag der Ozeane zum Klimawandel	138
12.2 Sachtexte zum Anstieg des Meeresspiegels	140
12.3 Kippelemente im Klimasystem	142
12.4 Alternative Erklärungsversuche zur Erderwärmung	146
Methode: Zuverlässige Wissenschaftsquellen	
12.5 Verantwortung und Freiheit der Wissenschaft	148

13 Vertiefungen

13.1 Vertiefung: Energetische Betrachtungen im menschlichen Körper	150
13.2 Vertiefung: Energieeinsparung bei Gebäuden	152
13.3 Vertiefung: Energieversorgung heute	155
13.4 Vertiefung: Energieversorgung der Zukunft	157
13.5 Vertiefung: Energien bei Autos	159
13.6 Vertiefung: Auftrieb und Schweredruck	162
13.7 Vertiefung: Temperaturstrahler	164

Zusammenfassung	168
-----------------------	-----

Anhang	Lösungen zu „Selbsttest“	169
	Hilfestellungen	186
	Grundlagen	190
	Operatoren und deren Bedeutung	196
	Stichwortverzeichnis	198
	Bildnachweis	200
Methoden	Energieberechnungen	23
	Unterscheide Alltags- und Fachsprache	32
	Absolute und relative Messfehler	34
	Einsatz von Messgeräten	56
	„Beurteilen“ und „Bewerten“	58
	Hypothesen bilden	106
	Untersuchung der Argumentationsweise	115
	Zuverlässige Wissenschaftsquellen	147

Verhalten in Fachräumen der Physik



1. Fachräume dürfen nur bei Anwesenheit einer Lehrkraft betreten werden.
2. In Fachräumen darf weder gegessen noch getrunken werden.
3. Schultaschen und Jacken sind so abzulegen, dass niemand darüber stolpert bzw. genügend Platz zum Vorbeigehen ist.
4. Geräte und Versuchsaufbauten (z. B. am Experimentiertisch vorne) dürfen ohne Erlaubnis der Lehrkraft keinesfalls berührt werden, auch wenn die Situation völlig ungefährlich erscheint.
5. Die elektrische Energie- und Gasversorgung darf eigenmächtig nicht bedient werden.



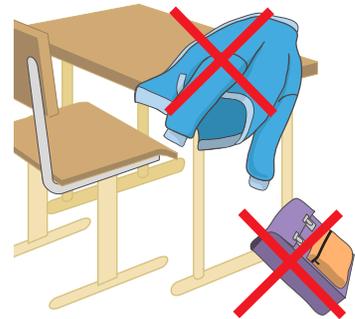
6. Beschädigte Steckdosen, Stecker, Geräte oder Kabel sowie offene Gashähne, Gasgeruch oder andere Gefahrenstellen sind sofort der Lehrerin oder dem Lehrer zu melden.
7. Im Gefahrenfall einen Not-Aus-Schalter betätigen; Standorte und die Bedienung von Not-Aus-Schaltern sind bekannt.



8. Wer anderen im Gefahrenfall hilft, achtet auf seine eigene Sicherheit.
9. Die Standorte ...
der Feuerlöscheinrichtungen,
des Erste-Hilfe-Materials und
des nächsten Telefons (im Notfall ggf. auch Handy nutzen) sind bekannt.
Notrufnummern 112 (integrierte Leitstelle) oder 110 (Polizei)
(beim Schultelefon muss erst 0 gewählt werden und dann 112 bzw. 110).
10. Bei einem Feueralarm sind die Verhaltensregeln zu beachten; der Fluchtweg ist bekannt.

Verhalten beim Experimentieren

1. Beim Experimentieren dürfen Mappen und Kleidungsstücke nicht auf dem Experimentiertisch abgelegt werden. Es ist darauf zu achten, dass es keine Stolperfallen (z. B. Schultaschen) gibt und genügend Platz zum Arbeiten ist.
2. Die Schülerinnen und Schüler befolgen die Arbeitsanweisungen der Lehrkraft gewissenhaft. Versuchsanleitungen sind sorgfältig zu lesen. Bei Unklarheiten fragen die Schülerinnen und Schüler die Lehrkraft.
3. Die von der Lehrkraft angeordneten Schutzmaßnahmen sind zu befolgen (u. a. bei offenen Flammen, erwärmten Flüssigkeiten oder bei elektrischer Gefährdung), um sich selbst und andere Personen nicht zu gefährden.
4. Beschädigte Steckdosen, Stecker, Geräte oder Kabel sowie offene Gashähne, Gasgeruch oder andere Gefahrenstellen sind sofort der Lehrerin oder dem Lehrer zu melden. Geräte sind sorgfältig zu handhaben.
5. Ohne die Erlaubnis der Lehrkraft (ggf. Lehrkraft zum eigenen Experimentierplatz holen und um Kontrolle des Aufbaus bitten)
 - dürfen keine Geräte eingeschaltet werden,
 - darf die Arbeit mit den Versuchsmaterialien nicht begonnen werden.
6. Eigenmächtig „mal etwas ausprobieren“ ist ohne Erlaubnis der Lehrerin oder des Lehrers untersagt.
7. Im Gefahrenfall oder bei einem Unfall ist sofort die Lehrkraft zu rufen.
8. Nach Beendigung des Versuchs
 - wird dieser ordnungsgemäß abgebaut (z. B. Elektroschalter ausschalten),
 - werden Versuchsmaterialien an ihren Platz zurückgebracht,
 - wird der Arbeitsplatz falls nötig gesäubert; ggf. auch die Hände gewaschen.
9. Aus Sicherheitsgründen dürfen Experimente, die in der Schule gezeigt oder unter Aufsicht der Lehrkraft von Schülerinnen und Schülern durchgeführt wurden, nicht gedankenlos oder leichtsinnig zu Hause wiederholt werden. Bei Heimexperimenten ist auch auf Sicherheit zu achten.



A \ Energie als Erhaltungsgröße

Du kannst in diesem Kapitel entdecken, ...

was man unter Energie versteht, welche Energieformen es gibt und wie sich diese ineinander umwandeln lassen.

dass Energie eine Erhaltungsgröße ist und wie du dieses Prinzip für Berechnungen nutzen kannst.

was Arbeit und Leistung sind und wie sich diese Größen von Kraft und Energie unterscheiden.

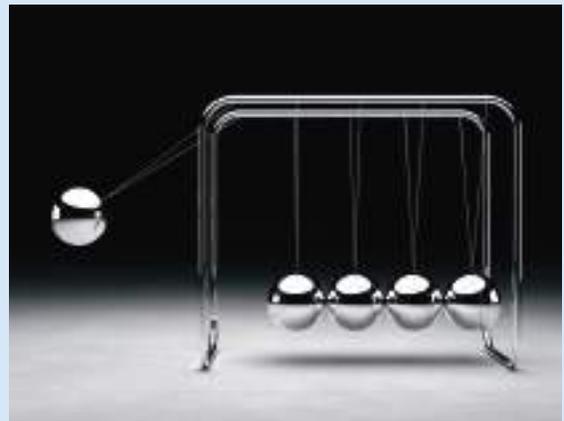
wie elektrischer Strom und Ladung zusammenhängen, wie sich daraus die elektrische Energie ergibt und wie sich das Ganze mit einem Modell veranschaulichen lässt.

wie man die Leistungsbilanz elektrischer Widerstände erstellt, was ein Wirkungsgrad ist und wie sich damit die Umweltverträglichkeit von elektrischen Geräten bewerten lässt.

1 Energie



2 Mechanische Energie



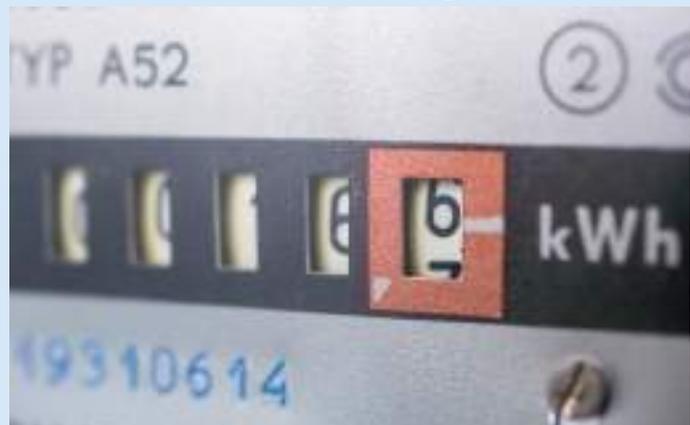
3 Arbeit und Leistung



4 Elektrische Energie



5 Elektrische Leistung





1 Energie

Versuche und Materialien zu Kapitel 1.1

M1 Energiekarten - Puzzle

		<input type="text" value="Kernenergie"/>
		<input type="text" value="Innere Energie"/>
		<input type="text" value="Höhenenergie"/>
		<input type="text" value="Lichtenergie"/>
		<input type="text" value="Spannenergie"/>
		<input type="text" value="Chemische Energie"/>
		<input type="text" value="Bewegungsenergie"/>
		<input type="text" value="Elektrische Energie"/>

Arbeitsauftrag

- In der Graphik sind „Energiekärtchen“ mit einem Symbol dargestellt. Passend dazu gibt es Kärtchen mit den entsprechenden Energiebegriffen. Bastele selbst ein solches Puzzle mit den entsprechenden Kärtchen. Du kannst dafür auch folgende Kopiervorlage verwenden:  [MC 67049-22](#)
- Partnerarbeit: Dein Partner oder deine Partnerin zieht ein Symbol und du musst den jeweiligen Begriff zuordnen.
- Zeichne die links abgebildeten Symbole ins Heft und ordne die Begriffe zu. Nenne zusätzlich ein Beispiel, bei dem die jeweilige Energieform vorkommt.

M2 Energieformen

In der Mechanik betrachtet man im Wesentlichen drei Arten von Energie: Bewegungsenergie, Höhenenergie und Spannenergie. Diese können durch verschiedene Vorgänge ineinander umgewandelt werden.



Arbeitsauftrag

- Beschreibe die Energieformen, die du jeweils in den Bildern links erkennen kannst.
- Bei jeder Energieumwandlung spielt auch innere Energie eine Rolle, d. h. es erwärmt sich etwas dabei. Beschreibe für jedes Bild den Vorgang, bei dem sich im konkreten Fall jeweils etwas erwärmt.
- Erstelle nach dem Muster der Bilder eine Skizze für eine Sportart deiner Wahl und beschreibe die auftretenden Energieformen. Beachte dabei auch immer die innere Energie.

Versuche und Materialien zu Kapitel 1.2

M3 Energieflussdiagramme

Ein Vorgang, bei dem ein Gerät eine Energieform in eine andere umwandelt, kann gut mithilfe eines so genannten Energieflussdiagramms dargestellt werden. Ein solches Diagramm für den Energiewandler Verbrennungsmotor kann so aussehen:



Auch für die folgenden beiden Situationen lässt sich ein Energieflussdiagramm zeichnen.



Arbeitsauftrag

- Erläutere das Energieflussdiagramm für den Energiewandler Verbrennungsmotor. Gehe dazu auf die Art der chemischen Energie ein und beschreibe die Wahrnehmungen hinsichtlich der kinetischen und der inneren Energie.
- Links sind zwei Situationen dargestellt: Eine Solarzelle lädt den Akku eines Handys auf und Klaus macht eine Übung am Reck. Zeichne für beide Energiewandler jeweils ein Energieflussdiagramm.

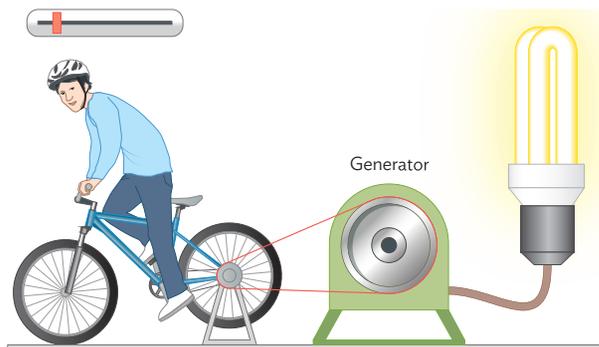
Versuche und Materialien zu Kapitel 1.2

M4 Simulation zu Energieumwandlungen



MC 67049-01

Im Internet findest du verschiedene Simulationen zum Thema Energieumwandlungen. Wir wollen nun eine davon etwas genauer betrachten. Du kannst sie über den abgebildeten Code aufrufen. Wähle dort von den beiden Möglichkeiten die „Systeme“ aus.

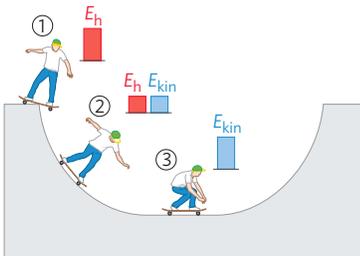


Arbeitsauftrag

- Finde eine Möglichkeit in der Simulation, um mithilfe von Wasser eine Lampe zum Leuchten zu bringen. Beschreibe die Umwandlungen, die dabei stattfinden. Nutze Fachbegriffe.
- Erkläre, dass bei manchen der Einstellungen keine Umwandlungen stattfinden.
- Erstelle eine Tabelle mit Umwandlungen, die dir aufgrund der Simulation besonders effizient bzw. ineffizient erscheinen. Trage dort jeweils auch eine Begründung ein. Beschreibe, was mit der Energie geschieht, die nicht genutzt wird.

1.1 Überblick über verschiedene Energieformen

i Das Wort Energie kommt aus dem Altgriechischen *energeia* und bedeutet Wirksamkeit.



B1 Skateboarder in der Halfpipe.
(E_h : Höhenenergie;
 E_{kin} : kinetische Energie)



B2 Im Bogen steckt Spannenergie.

i Die potentielle Energie ist in der Mechanik ein Überbegriff für Höhenenergie und Spannenergie.

Energie

In den Nachrichten taucht häufig der Begriff Energie auf. Zum Beispiel diskutieren Politikerinnen und Politiker die Energiewende oder Alternativen zur Kernenergie, in der Ernährungswissenschaft interessiert man sich für die Energie in der Nahrung und in der Automobilbranche wird daran gearbeitet, dass der Energiebedarf geringer wird.

Weil das Wort Energie in unterschiedlichem Bedeutungsgehalt verwendet wird, ist es wichtig, zwischen seinem Gebrauch in der Alltagssprache und in der Fachsprache von Physikerinnen und Physikern zu unterscheiden. In der Physik hat „Energie“ eine ganz eigene Bedeutung. Beispiel: Steht ein Skateboarder am Rand einer Halfpipe und fährt herunter (vgl. B1), hat er zu Beginn nur eine Höhe, aber die Geschwindigkeit 0. Fährt er die Rampe herunter, nimmt seine Höhe ab, aber seine Geschwindigkeit zu. Um unterschiedliche physikalische Messgrößen, wie hier die Höhe und die Geschwindigkeit, in Beziehung setzen zu können, führten Physiker eine neue physikalische Größe ein, die sich während des gesamten Vorgangs nicht ändert: die Energie. Einerseits dient die Energie als gemeinsame Währung, die während der gesamten Bewegung im System Skateboarder-Pipe erhalten bleibt. Andererseits besitzt die Größe die Fähigkeit, eine Veränderung hervorzurufen.

Energie wird als Erhaltungsgröße eingeführt, um unterschiedliche physikalische Messgrößen in Beziehung setzen zu können. Außerdem weist Energie die Fähigkeit auf, Veränderungen hervorzurufen.
Formelzeichen: E Einheit: 1 J (Joule)

Energieformen

Der Bogen in B2 ist anfangs gespannt, nach dem Abschuss bewegt sich der Pfeil mit einem gewissen Geschwindigkeitsbetrag. Je gespannter der Bogen, umso größer ist der Geschwindigkeitsbetrag. Für die Beschreibung des Vorgangs zieht man in der Physik den Energiebegriff heran: Je mehr Spannenergie im Bogen steckt, umso größer ist die Bewegungsenergie des Pfeils. Für verschiedene Vorgänge sind entsprechend unterschiedliche Formen von Energie notwendig. In der Mechanik betrachtet man dabei meist folgende drei Energieformen:

- Höhenenergie ist die Energie, die Körper aufgrund ihrer Höhe über dem Erdboden (oder einem anderen Bezugsniveau) besitzen. Zum Beispiel eine Vase, die auf einem Tisch steht und nicht auf dem Boden.
- Bewegungsenergie (auch kinetische Energie genannt) ist die Energie, die ein Körper aufgrund seiner Geschwindigkeit besitzt.
- Spannenergie enthalten Körper, die elastisch verformt sind, z. B. ein Bogen oder ein Gummiband.

Darüber hinaus gibt es aber noch viele weitere Energieformen, die man zur physikalischen Beschreibung heranziehen kann, wie z. B.:

- Innere Energie haben Körper, die sich abkühlen können, z. B. warmes Wasser oder erhitzte Bremsen beim Auto (Reibung).
- Chemische Energie kommt z. B. in Nahrung oder Benzin vor.
- Lichtenergie kommt vor, wenn etwas leuchtet, also Licht abstrahlt, z. B. die Sonne, eine Glühbirne oder Feuer.
- Elektrische Energie ist zum Beispiel in einem geladenen Kondensator gespeichert und wird für den Betrieb elektrischer Geräte benötigt.

i Die innere Energie eines Körpers wirst du noch in Kapitel 8 genauer kennenlernen.

Energie kann in verschiedenen Formen auftreten. Zur mechanischen Energie zählt man Bewegungsenergie, Höhenenergie und Spannenergie. Weitere Energieformen sind innere Energie, chemische Energie, Lichtenergie und elektrische Energie.

i Die Liste der Energieformen lässt sich nahezu beliebig erweitern und die einzelnen Formen können nicht klar gegeneinander abgegrenzt werden. Zum Beispiel spricht man im Alltag von Windenergie, die im physikalischen Sinne Bewegungsenergie ist.

Musteraufgabe

Licht trifft auf deinen Solartaschenrechner, dadurch fließt Strom durch ihn. Benenne die beiden physikalischen Größen, die beim Aufladen des Taschenrechners eine Rolle spielen. Formuliere die physikalische Beziehung, die sie zueinander haben.

Lösung

Bei den beiden physikalisch messbaren Größen handelt es sich um die Intensität des Lichts und den elektrischen Strom. Um sie unmittelbar vergleichen zu können, betrachtet man die beiden Energieformen Lichtenergie und elektrische Energie, die mithilfe der Solarzellen ineinander umgewandelt werden können.

Arbeitsaufträge

1 Benenne in den abgebildeten Vorgängen Energieformen, deren Wirkung du erkennen kannst.

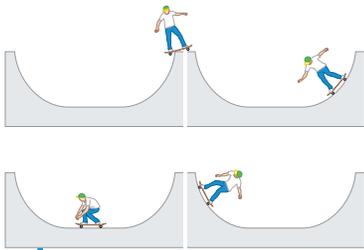


2 Vervollständige die Tabelle in deinem Heft.

Vorgang	messbare Größen	Energieformen
Snowboard in der Halfpipe	Höhe, Geschwindigkeit	Höhenenergie ...
Solartaschenrechner	... elektr. Strom	Lichtenergie; elektr. Energie
Essen und danach Radfahren	chemische Stoffe; ...	chemische Energie; Bewegungsenergie
Bremsen eines Fahrzeugs	Geschwindigkeit; Temperatur	Bewegungsenergie; ...
...	Verformung; Geschwindigkeit	Spannenergie; Bewegungsenergie

↳ weitere passende Aufgaben: S. 37, Nr. 1; S. 38, Nr. 11

1.2 Prinzip der Energieerhaltung



B1 Markus fährt in der Halfpipe.

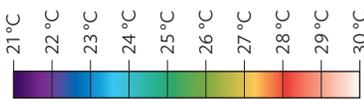
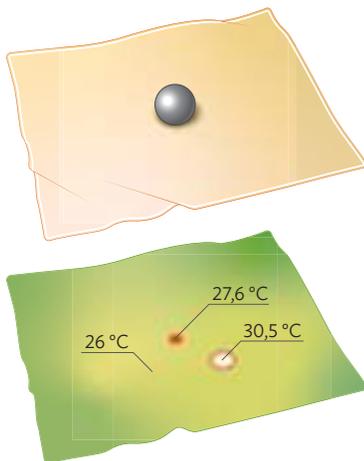
Energieumwandlungen

Wir wollen das Beispiel mit dem Skateboarder von S. 14 nochmal etwas genauer betrachten. In B1 fährt Markus mit seinem Skateboard in der Halfpipe. Zu Beginn steht er oben und besitzt nur Höhenenergie. Diese wird weniger, wenn er sich nach unten bewegt. Dabei wird er allerdings schneller und seine Bewegungsenergie nimmt zu. Im tiefsten Punkt der Halfpipe ist seine Höhenenergie 0, dafür hat seine Bewegungsenergie ihren höchsten Wert erreicht. Auf dem letzten Bild in B1 siehst du, dass er wieder Höhen- und Bewegungsenergie hat.

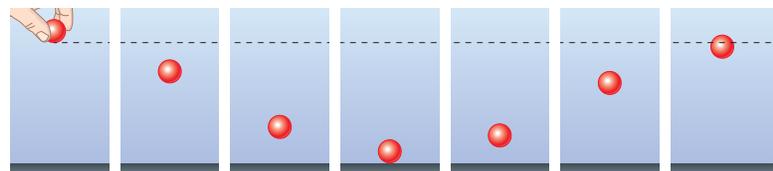
Energie kann von einer Energieform in eine andere Energieform umgewandelt werden.

Energieerhaltungssatz der Mechanik

Wenn du einen Flummi fallen lässt, wird seine Höhenenergie in Bewegungsenergie umgewandelt. Beim Auftreffen auf den Boden wird der Ball zusammengedrückt, d. h. die Bewegungsenergie wird in Spannenergie umgewandelt. Danach fliegt der Ball wieder in die Höhe. Die Spannenergie wird zuerst in Bewegungsenergie und diese dann in Höhenenergie umgewandelt. Der Ball erreicht allerdings nicht die Höhe, wie sie zu Beginn des Bewegungsablaufes war. Die Energie ist aber nicht verloren gegangen: Ein Teil der Energie wurde in innere Energie umgewandelt. Der Ball, der Boden und die Luft haben sich erwärmt (vgl. B3).



B3 Eine Kugel ist auf einem Tuch gelandet. Mit einer Wärmebildkamera kann man sichtbar machen, dass die Temperatur am Auftreffpunkt der Kugel gestiegen ist.



B2 Der Flummi erreicht nach dem Aufprall nicht wieder die Anfangshöhe.

Auch Markus aus dem Beispiel oben erreicht aus dem gleichen Grund in der Halfpipe nicht die gleiche Höhe wie am Anfang: Die Räder, die Halfpipe und die Luft haben sich erwärmt. Die Summe der drei Energien ist aber auch hier in jeder der auf den Bildern in B1 dargestellten Situationen gleich groß.

Bei jeder Energieumwandlung bleibt die Gesamtmenge an Energie zu jeder Zeit erhalten. Ein Teil der umgewandelten Energie ist immer innere Energie, die auf Reibungsprozesse zurückzuführen ist.

Bei einem Vorgang ist die Summe aller Energieformen in jedem Moment stets gleich, wenn das System nicht von außen beeinflusst wird. Ist das der Fall, spricht man in der Physik von einem „abgeschlossenen System“.

Energiewandler

Um Lichtenergie zu nutzen, etwa um ein Handy aufzuladen, benötigt man eine Solarzelle (vgl. B4). Sie wandelt Lichtenergie in elektrische Energie um. Man nennt sie deshalb Energiewandler. So ein Energiewandler ist auch der Dynamo an deinem Fahrrad (vgl. B5). Er wandelt Bewegungsenergie in elektrische Energie um.

Der Mensch ist ebenfalls ein Energiewandler. Die chemische Energie in der Nahrung wird in erster Linie in innere Energie umgewandelt, ein Teil auch in mechanische Energie. Wenn du dich viel bewegst, wird dir daher warm und du bekommst schneller Hunger.

Ein Energiewandler wandelt die Energieformen ineinander um.
Beispiele: Solarzelle, Dynamo, menschlicher Körper



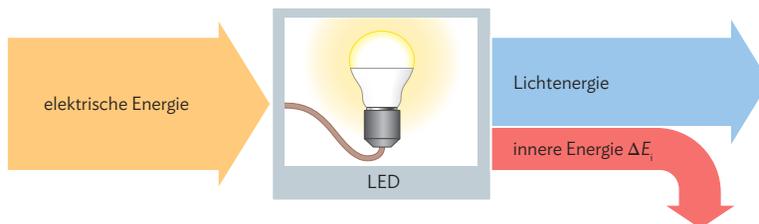
B4 | Eine Solarzelle ist ein Energiewandler.



B5 | Ein Dynamo ist ein Energiewandler.

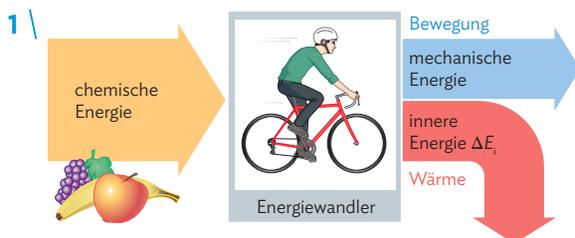
Energieflussdiagramm

Energieumwandlungen können mithilfe von Energieflussdiagrammen dargestellt werden (vgl. S. 13, M3). In der Mitte steht immer der Energiewandler (LED in B6). Der Pfeil links hat die gleiche Breite wie die Summe der beiden Pfeile rechts. Damit wird verdeutlicht, dass in dem abgeschlossenen System keine Energie verloren geht.



B6 | Energieflussdiagramm einer Glühlampe. Die elektrische Energie wird in Lichtenergie umgewandelt, allerdings nicht vollständig. Ein Teil geht in innere Energie über und bleibt bei der Lichterzeugung ungenutzt.

Arbeitsaufträge



2 | Schau dir folgende Animation an. Beschreibe die schrittweise Umwandlung von chemischer Energie in Höhenenergie. Erstelle ein Energieflussdiagramm, in dem alle Umwandlungsschritte enthalten sind.



MC 67049-02

3 | Richard Feynman war ein Physiker, der die bedeutendste Auszeichnung auf dem Gebiet der Physik, den Nobelpreis, erhalten hat. Bekannt war Feynman dafür, dass er sehr anschaulich Physik erklären konnte. Recherchiere im Internet seine Erklärung des Energieerhaltungssatzes. Fasse die Metapher zusammen, die er dafür nutzt.

↳ weitere passende Aufgaben: S. 37, Nr. 2, 3; S. 39, Nr. 13; S. 41, Nr. 18



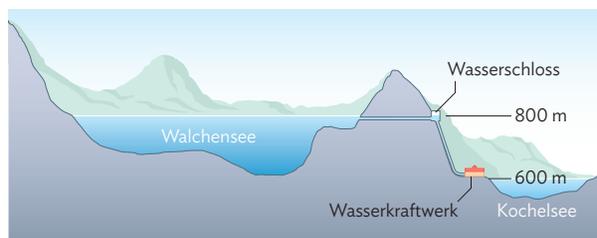
2

Mechanische Energie

Versuche und Materialien zu Kapitel 2.1

M1 Höhenenergie im Speicherkraftwerk

Das Walchenseekraftwerk nutzt den natürlichen Höhenunterschied von ca. 200 m zwischen dem Walchensee (801 m über dem Meeresspiegel) und dem Kochelsee (600 m über dem Meeresspiegel) zur Stromerzeugung. Beim Betrieb des Kraftwerks darf der Wasserspiegel des Walchensees um rund 6 m gesenkt werden. Dies entspricht einem verfügbaren Speicherraum von 110 Mio. m³ mit einer Masse von 110 Mrd. kg. Es ist somit ein Speicherkraftwerk, aber kein Pumpspeicherkraftwerk, da kein Wasser wieder in den Walchensee zurückgepumpt wird. Die natürlichen Zuflüsse des Walchensees reichen aber auch nicht aus, um genügend Wasser für den vollen Dauerbetrieb des Speicherkraftwerkes bereitzustellen. Speicherkraftwerke sind somit zwar nicht für den Dauerbetrieb geeignet, können aber die im Wasser gespeicherte Höhenenergie bei Bedarf in elektrische Energie umwandeln und so beispielsweise Spitzen beim Strombedarf abfangen und dadurch das Stromnetz stabilisieren.



Die durch das Wasser zur Verfügung stehende Höhenenergie E_h ist abhängig von der Masse m_{Wasser} des Wassers und dem Höhenunterschied h , den das Wasser vom Walchensee bis zum Kraftwerk überwindet. Auch die Erdanziehungskraft und damit die Fallbeschleunigung spielt eine Rolle. Insgesamt lässt sich die Höhenenergie des Wassers dann mit der Formel

$$E_h = m_{\text{Wasser}} \cdot g \cdot h$$

bestimmen.

Arbeitsauftrag

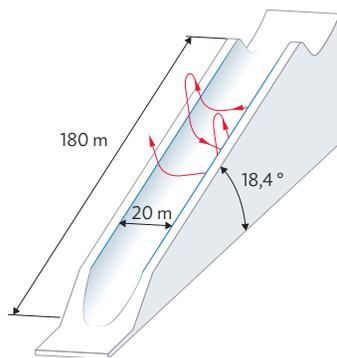
- Gib den links stehenden Text in eigenen Worten wieder. (vgl. [Methode](#) auf S. 192)
- Recherchiere im Internet die Funktionsweise des Speicherkraftwerks. Erstelle eine dazu passende Skizze. Erläutere auch den Unterschied zu einem Pumpspeicherkraftwerk.
- Berechne die Gesamtenergie, die das Walchenseekraftwerk maximal nutzen kann, wenn kein Wasser in den Walchensee nachfließen würde. Vernachlässige die 6-Meter-Höhendifferenz beim Ablassen.
- Bei Volllast der Turbinen fallen zur Stromerzeugung 84 Kubikmeter Wasser pro Sekunde durch die Rohrleitungen 200 m in die Tiefe. Berechne die Höhenenergie der 84 m³ Wasser, die das Kraftwerk benötigt, um unter Volllast laufen zu können.
- Bestimme die Änderung der Höhenenergie aus d), wenn der Höhenunterschied verdoppelt, verdreifacht bzw. halbiert würde.
- Beschreibe mit eigenen Worten, inwiefern in einem Speicherkraftwerk elektrische Energie gespeichert werden kann. Vergleiche mit einem Windkraftwerk und nenne Gründe dafür, dass beide Kraftwerkstypen auf ihre eigene Art wichtig für das Stromnetz sind.

Versuche und Materialien zu Kapitel 2.3

M2 Die Halfpipe

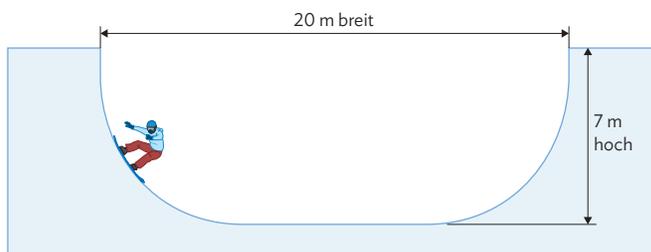


Eine Halfpipe ist im Grunde eine U-förmige Wanne, in der sich Fahrer von einer Wand zur anderen bewegen können und dabei Sprünge machen. Aber Vorsicht: Eine Halfpipe ist kein Terrain für Anfänger! Du benötigst eine ausgezeichnete Kanten- und Wendekontrolle, bevor du deinen ersten Lauf versuchst.



Im Kraftwerk aus M1 wird die Höhenenergie des zunächst ruhenden Wassers in Bewegungsenergie umgewandelt, wenn sich das Wasser durch die Leitungen nach unten bewegt. Damit kann dann eine Turbine zur Stromerzeugung angetrieben werden.

Bei der Halfpipe wird die anfängliche Höhenenergie auch in Bewegungsenergie umgewandelt, wenn beispielsweise eine Snowboarderin die Rampe herunterfährt. Sie fährt auf der anderen Seite die Rampe aber auch wieder hinauf und kann die Energie dort nutzen, um Sprünge durchzuführen.



Arbeitsauftrag

- In der Zeichnung ganz unten siehst du den Querschnitt einer Halfpipe. Begründe aus energetischer Sicht, dass es nicht möglich wäre, wie im mittleren Bild angedeutet einen hohen Sprung durchzuführen, wenn die Snowboarderin in der unteren Zeichnung rechts auf der Rampe starten und dann nach links fahren würde. Erkläre dann die Form der abgebildeten Halfpipe der olympischen Spiele in Sochi.
- Beim Wettkampf in Sochi hat eine Snowboarderin ($m = 70 \text{ kg}$) eine Bewegungsenergie von 6550 J , bevor sie an einer Stelle die 7 m hohe Rampe wieder hochfährt. Berechne ihren Geschwindigkeitsbetrag.
- Berechne nun die maximale Sprunghöhe der Snowboarderin, die sie aufgrund dieser Bewegungsenergie erreichen kann.
- Durch eine etwas unsaubere Landung bremst die Snowboarderin ein wenig ab und schafft beim nächsten Sprung nur noch eine Höhe von $1,0 \text{ m}$. Berechne den Geschwindigkeitsbetrag, den sie kurz vor dem Hochfahren des zugehörigen Anstiegs hatte. Berechne auch den Energiewert, der im Vergleich zum ersten Sprung durch die etwas unsaubere Landung in Reibung umgewandelt wurde.

2.1 Berechnung der Höhenenergie

Eine Formel für die Höhenenergie

Du hast in Kapitel 1 bereits die Höhenenergie kennengelernt, die Körper aufgrund ihrer Höhe über dem Boden bzw. einem anderen Bezugsniveau haben. Diese spielt für viele energetische Betrachtungen eine wichtige Rolle, deswegen wollen wir sie nun etwas genauer untersuchen.

Die Höhenenergie hängt von der Masse des jeweiligen Körpers, dessen Höhe über dem jeweiligen Bezugsniveau und der Fallbeschleunigung ab.

i Das Bezugsniveau kann je nach Bedarf gewählt werden, dadurch ist die Formel für die Höhenenergie eine reine Festlegung. Oft bietet sich die Höhe über dem Erdboden oder über dem tiefsten Punkt einer Bahn an.

Die Formel zur Berechnung der Höhenenergie eines Körpers der Masse m und der Höhe h über einem gewählten Bezugsniveau lautet:

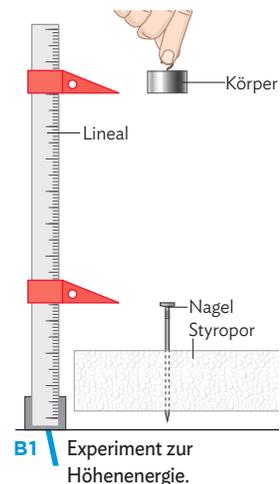
$$E_h = m \cdot g \cdot h$$

Die Höhenenergie hat wie jede andere Energieform auch die Einheit 1 J: $[E_h] = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J (Joule)}$

Plausibilität

Anhand der Formel siehst du, dass die Höhenenergie zur Masse m und zur Höhe h direkt proportional ist. Das wollen wir uns nun anhand eines einfachen Experiments klar machen:

In eine Styroporplatte wird ein Nagel gesteckt, sodass die Spitze unten aus der Platte rauschaut. Dadurch wird gewährleistet, dass die Reibung zwischen Nagel und Styropor bei allen Versuchen gleich ist. Von oben soll nun ein Körper auf den Nagel fallengelassen und mit einem Lineal seine Fallhöhe gemessen werden (vgl. B1). Als Bezugsniveau wird dabei der Kopf des Nagels gewählt.



Zunächst wiegen wir den Körper und lassen ihn von einer bestimmten, mit dem Lineal gemessenen Höhe fallen. Die Gewichtskraft des herunterfallenden Körpers bewirkt dann, dass der Nagel tiefer in das Styropor eindringt. Nun erhöhen wir die Fallhöhe, beispielsweise auf das 1,5-Fache der vorherigen Höhe. Wir stellen fest: Auch der Nagel dringt 1,5 mal so tief in das Styropor ein wie zuvor. Das ist auch naheliegend: Je größer die Fallhöhe, desto länger wird der Körper durch die Gewichtskraft beschleunigt und übt dadurch eine größere Kraft auf den Nagel aus.

Als nächstes behalten wir eine feste Fallhöhe bei, verwenden aber unterschiedliche Massestücke. Auch hier stellen wir fest: Verdoppeln wir beispielsweise die Masse, verdoppelt sich auch die Eindringtiefe des Nagels. Wir können das so begründen: Je größer die Masse, desto größer ist die Gewichtskraft und damit die Kraft auf den Nagel. Die Energie, die das Eindringen des Nagels in die Styroporplatte bewirkt, ist also direkt proportio-

nal zur Masse und zur Fallhöhe des Gewichtsstücks. Da die auf den Nagel wirkende Kraft durch den freien Fall resultiert, ist es sinnvoll, als Proportionalitätsfaktor die Fallbeschleunigung $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ zu verwenden.

Bezugsniveau

Das Bezugsniveau (oder auch Nullniveau) der Höhenenergie kann frei gewählt werden. Beim Experiment mit dem Nagel ergibt es Sinn, den Kopf des Nagels als Bezugsniveau zu wählen. Dadurch wird die Höhenenergie über die Höhendifferenz zwischen Nagel und Fallkörper definiert, was bei dem Fallexperiment sinnvoll ist, weil der Körper über diese Distanz beschleunigt wird. Betrachten wir das Wasserkraftwerk aus M1, wäre es sinnvoll, das Kraftwerk als Bezugsniveau zu wählen, weil hier der Höhenunterschied zwischen Stausee und Kraftwerk für die Berechnungen relevant ist.

Das Bezugsniveau (Nullniveau) der Höhe ist frei wählbar, da lediglich die Differenz der Höhen relevant ist.

Musteraufgabe

Berechne die Höhenenergie eines Körpers der Masse $m = 80 \text{ kg}$, der sich bezüglich des Fußbodens in 40 m Höhe befindet.

Lösung

Als Bezugsniveau wird der Fußboden gewählt, daher ist $h = 40 \text{ m}$. Die Höhenenergie des Körpers lautet dann (gültige Ziffern beachten, vgl. Methode auf S. 194):

$$E_h = m \cdot g \cdot h = 80 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 40 \text{ m} = 31,3 \text{ kJ} = 31 \text{ kJ}$$

i $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$
 $1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ l} = 1000 \text{ cm}^3$
 $\rho_{\text{Wasser}} = 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

Arbeitsaufträge

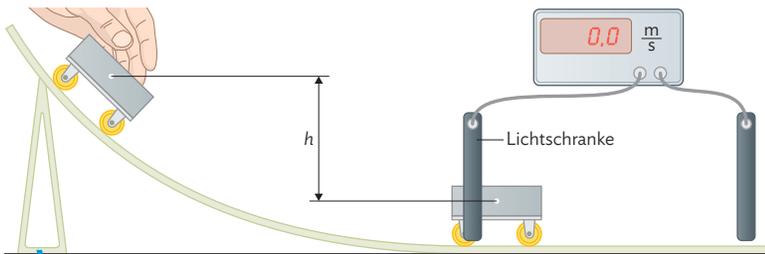
- 1 \ Ein Koffer mit der Masse 12 kg liegt im 2. Stock eines Hauses (6 m über der Straße) und soll in den 3. Stock (9 m über der Straße) getragen werden.
 - a) Berechne die jeweilige Höhenenergie des Koffers im 2. und 3. Stockwerk bezüglich der Straße.
 - b) Berechne die Energie, die der Koffer im 3. Stockwerk gegenüber dem 2. hinzubekommen hat.
 - c) Überlege dir, ob es nötig ist, die Energien vorher und nachher zu bestimmen, um die zusätzliche Energie zu berechnen, oder ob es ausreicht, lediglich die Höhendifferenz zu berücksichtigen. Berechne dann die zusätzlich gewonnene Energie direkt, indem du das Bezugsniveau geschickt wählst.
- 2 \ a) Bei einem Pumpspeicherkraftwerk werden $110 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Wasser in ein 200 m höheres Speicherbecken gepumpt. Berechne die so gespeicherte Höhenenergie, die bei Bedarf durch das herunterfließende Wasser genutzt werden kann.
 - b) Vergleiche ein Pumpspeicherkraftwerk mit einem Kraftwerk wie in M1, bei dem das Wasserbecken auf natürliche Weise aufgefüllt wird. Liste Vor- und Nachteile auf.
- 3 \ a) Ein Betonklotz, der an einem Kran in $20,0 \text{ m}$ Höhe hängt, hat eine Höhenenergie von $588,6 \text{ kJ}$. Berechne die Masse, die dieser Betonklotz besitzt. Achte dabei auf gültige Ziffern.
 - b) Zeige, dass die Höhenenergie bei derselben Situation auf dem Mond geringer wäre ($g_M = 1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$).

2.2 Berechnung der kinetischen Energie

Kinetische Energie

Neben der Höhenenergie gibt es bei energetischen Betrachtungen noch eine weitere Energieform, die von großer Bedeutung ist: die kinetische Energie (oder auch Bewegungsenergie). Diese spielt immer dann eine Rolle, wenn sich ein Körper in Bewegung befindet. Anhand eines Experiments wollen wir nun eine Formel für die kinetische Energie herleiten.

Wir lassen dafür einen Versuchswagen eine Rampe hinunterfahren und messen am unteren Ende der Rampe seine Geschwindigkeit mithilfe zweier Lichtschranken (vgl. B1).



B1 Experiment zur Bestimmung der kinetischen Energie.

Wie du schon weißt, wird die Höhenenergie, die der Wagen anfangs hat, beim Herunterfahren in kinetische Energie umgewandelt. Wenn wir den unteren Punkt der Rampe als Bezugsniveau wählen, hat sich dort also die Höhenenergie aufgrund der Energieerhaltung vollständig in kinetische Energie umgewandelt.

Wenn wir die Masse und die ursprüngliche Starthöhe des Wagens kennen, kennen wir also auch die kinetische Energie am unteren Ende der Rampe. Die aufgrund der Reibung entstehende innere Energie vernachlässigen wir, obwohl sie bei einem realen Experiment in der Regel zu Abweichungen führen wird.

Nun wollen wir die Abhängigkeit der kinetischen Energie von der Geschwindigkeit des Wagens untersuchen. Wir lassen die Masse unverändert, z. B. $m = 0,15 \text{ kg}$. Dann variieren wir die Starthöhe des Wagens und damit auch die Geschwindigkeit am Ende der Rampe. In der Tabelle sind verschiedene Messwerte für das Experiment dargestellt. Wir sehen (im

$h \text{ [cm]}$	5	10	20	40
$E_{kin} = E_h \text{ [J]}$	0,074	0,15	0,29	0,59
$v \text{ [m/s]}$	1,0	1,4	2,0	2,8
$\frac{E_{kin}}{v} \text{ [kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}]$	0,074	0,107	0,145	0,211
$\frac{E_{kin}}{v^2} \text{ [kg]}$	0,074	0,077	0,072	0,075

Rahmen der Messgenauigkeit): $\frac{E_{kin}}{v}$ ist nicht konstant, also ist E nicht proportional zu v . Da $\frac{E_{kin}}{v^2}$ näherungsweise konstant ist, hängt die kinetische Energie direkt proportional vom Quadrat der Geschwindigkeit ab, also: $E_{kin} \sim v^2$.

Die kinetische Energie hängt auch von der Masse ab. Eine Verdopplung der Masse führt zu einer doppelt so großen Höhenenergie und damit zu einer doppelt so großen kinetischen Energie am Ende der Rampe. Dies bedeutet: $E_{kin} \sim m$.

Wir erhalten also als Zwischenergebnis: $E_{kin} \sim mv^2$. Mithilfe der Tabelle lässt sich der Proportionalitätsfaktor bestimmen (vgl. Aufgabe 1). Er hat den Wert $\frac{1}{2}$, wodurch die Formel nun vollständig ist.

Die Formel zur Berechnung der kinetischen Energie lautet:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} mv^2 \text{ mit der Einheit } [E_{kin}] = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \text{ m} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$$

Lösungsansatz von Berechnungen

Bei Energieberechnungen verwendet man häufig den Ansatz, den wir schon auf S. 22 verwendet haben: Wir betrachten den Moment, an dem eine Energieform vollständig in die andere umgewandelt wurde. Hier können die Energien vorher und nachher gleichgesetzt und die so entstandene Gleichung nach der gesuchten Größe umgeformt werden.

Methode

Energieberechnungen

Bsp.: Die Geschwindigkeit eines Wagens am Ende einer 5,0 m hohen Rampe soll ermittelt werden, vgl. B1.

1. Ansatz $E_{\text{vorher}} = E_{\text{nachher}}$

2. Energien benennen $E_{\text{h}} = E_{\text{kin}}$

3. Formeln einsetzen $mgh = \frac{1}{2}mv^2$

4. Umformen nach gesuchter Größe

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \quad | :m$$

$$gh = \frac{1}{2}v^2 \quad | \cdot 2 \quad | \sqrt{\quad}$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

5. Werte einsetzen $v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5,0 \text{ m}} = 9,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

i Achte immer auch darauf, die Größen in die richtigen Einheiten umzuformen.

Musteraufgabe

Berechne die Energie eines Körpers der Masse 80 kg, der sich mit einem Geschwindigkeitsbetrag von $101 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ bewegt.

Lösung

Einheitenumrechnung: $101 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{101 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} = 28,06 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 80 \text{ kg} \cdot (28,06 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 31,4 \text{ kJ} = 31 \text{ kJ}$$

Arbeitsaufträge

- 1 \ Zeige mithilfe der Tabelle von S. 22, dass der Proportionalitätsfaktor zur Berechnung der kinetischen Energie $\frac{1}{2}$ beträgt. Begründe eventuelle Abweichungen. Nutze für die Berechnungen die Masse $m = 0,15 \text{ kg}$.
- 2 \ Berechne jeweils die fehlende der drei Größen E_{kin} , m und v . Achte auf die richtigen Einheiten und die Messgenauigkeit. Gib auch die Zahl der gültigen Ziffern an. Finde jeweils ein Alltagsbeispiel, das zu den Werten passen könnte.
 - a) $E_{\text{kin}} = 455 \text{ J}$; $v = 12 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; $m = ?$
 - b) $v = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; $m = 225 \text{ g}$; $E_{\text{kin}} = ?$
 - c) $E_{\text{kin}} = 145 \text{ kJ}$; $m = 1500 \text{ kg}$; $v = ?$
- 3 \ Allein 2020 gab es in Deutschland 57 Unfälle mit Leichtflugzeugen bis 2000 kg Masse. Dabei gab es 19 Todesfälle. Daraufhin wurde die Sicherheit der Kabinen durch Anpassung der Bauweise verbessert. Eine neue Kabine mit verstärktem Rumpf wird getestet, indem ein unbesetztes und ausgeschaltetes Flugzeug aus 50 m Höhe von einem Kran fallengelassen wird.
 - a) Berechne aus den gegebenen Angaben die Aufprallgeschwindigkeit des Testflugzeugs.
 - b) Erkläre, dass die Masse des Flugzeugs für die Berechnung irrelevant ist.
 - c) Beurteile die Genauigkeit der Berechnung. Stichwort: Luftreibung.

↳ weitere passende Aufgaben: S. 37, Nr. 5

Bilanzierung von Energieformen

In Kapitel 2.2 haben wir bereits Beispiele betrachtet, bei denen die Höhenenergie vollständig in kinetische Energie umgewandelt wird. In der Praxis finden jedoch meist noch weitere Energieumwandlungen statt, wie die Umwandlung in innere Energie (hervorgerufen durch Reibung). Aufgrund der Energieerhaltung muss die Gesamtenergie aber zu jedem Zeitpunkt unverändert bleiben. Mit diesem Ansatz lassen sich dann auch Berechnungen durchführen, bei denen mehr als zwei Energieformen beteiligt sind. Wir sprechen dabei von einer Bilanzierung der Energieformen.

Bei Energiebetrachtungen bleibt die Gesamtenergie stets erhalten. Bei Berechnungen wird daher die gesamte Energiebilanz betrachtet, wobei die Energie zu jedem Zeitpunkt gleich bleibt.



B1 Eine Fußballerin schlägt eine Kerze.

Beispiel: Kerze beim Fußball

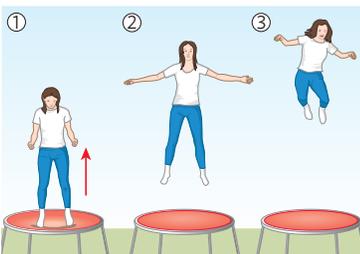
Wenn beim Fußball der Ball senkrecht nach oben geschossen wird, bezeichnet man das auch als „eine Kerze schlagen“ (vgl. B1). Wir wollen nun die Steighöhe eines so geschossenen Balls ($m = 250 \text{ g}$; $v = 16 \frac{\text{m}}{\text{s}}$) berechnen, wobei wir auch hier die Reibung vernachlässigen. Zu Beginn hat der Ball die Höhe 0 und bewegt sich mit voller Geschwindigkeit, die Gesamtenergie entspricht hier also der maximalen kinetischen Energie. Am höchsten Punkt seiner Flugbahn, seinem Umkehrpunkt, bewegt sich der Ball nicht mehr. Hier entspricht die Gesamtenergie also der maximalen Höhenenergie. In beiden Situationen muss die Gesamtenergie gleich sein, deswegen können wir bilanzieren:

$$E_{\text{Beginn}} = E_{\text{Umkehrpunkt}}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot v^2 = g \cdot h \Rightarrow h = \frac{v^2}{2g} = \frac{(16 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 13 \text{ m}$$

Wir erhalten eine Höhe von 13 m. Die Masse wird im Zuge der Berechnung weggekürzt und spielt daher für das Endergebnis keine Rolle!

Beispiel: Trampolinsprung



B2 Trampolinspringer am tiefsten und am höchsten Punkt seines Sprungs sowie auf halber Höhe.

Wir wollen nun einen Trampolinsprung etwas genauer untersuchen. Am tiefsten Punkt (vgl. B2) verschwinden sowohl kinetische Energie als auch Höhenenergie. Höhenenergie, wenn wir das Bezugsniveau in diesen Punkt legen. Die Gesamtenergie entspricht dann also der Spannenergie E_{Spann1} des Trampolins. Am höchsten Punkt wurde die Spannenergie vollständig in Höhenenergie umgewandelt, wenn wir die Reibung vernachlässigen. Auf halber Höhe hat der Springer wiederum sowohl kinetische Energie E_{kin2} als auch Höhenenergie E_{h2} . Aufgrund der Energieerhaltung muss die Summe dieser beiden Energien so groß sein wie die Spannenergie am Anfang. Die Energiebilanz würde zu dem Zeitpunkt also wie folgt aussehen:

$$E_{\text{kin2}} + E_{\text{h2}} = E_{\text{Spann1}}$$

Bewegungen mit Reibung

Bisher haben wir die Reibung bei unseren Betrachtungen vernachlässigt. In realen Anwendungen muss man diese in der Regel jedoch berücksichtigen. Ein Teil der Energie wird also in innere Energie umgewandelt, wodurch z. B. beim Trampolin mit jedem Sprung die Höhe geringer wird, weil die innere Energie nicht wieder in Höhenenergie umgewandelt wird. Die Gesamtenergie bleibt aber auch bei solchen Prozessen erhalten! Die Energiebilanz könnte beim Trampolinsprung so aussehen: $E_{\text{kin}2} + E_{\text{h}2} + E_i = E_{\text{Spann}1}$

i Umgangssprachlich spricht man hier oft davon, dass die Energie „verloren“ geht, obwohl sie in innere Energie umgewandelt wurde.

Musteraufgabe

Ein Fadenpendel besteht aus einem Seil und einem angehängten Massestück. Ein solches Pendel wird um 5,0 cm gegenüber der Ruhelage ausgelenkt und dann losgelassen. Berechne die kinetische Energie, die das Massestück ($m = 80 \text{ g}$) am tiefsten Punkt der Pendelbewegung hat.

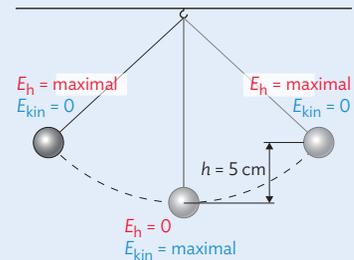
Lösung

Bezugsniveau: tiefster Punkt der Pendelbewegung
Am tiefsten Punkt ist die anfängliche Höhenenergie vollständig in kinetische Energie umgewandelt worden. Bilanz:

$$E_{\text{Tiefpunkt}} = E_{\text{Anfang}}$$

$$E_{\text{kin,max}} = E_{\text{h}0}$$

$$E_{\text{kin,max}} = m \cdot g \cdot h_0 = 0,080 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,050 \text{ m} = 0,039 \text{ J} = 39 \text{ mJ}$$



Arbeitsaufträge

- 1 \ Wir wollen das Fadenpendel aus der Musteraufgabe noch weiter untersuchen.
 - a) Stelle die Gleichung für die Gesamtenergie am höchsten und am tiefsten Punkt der Pendelbewegung auf je zwei Arten auf: lege das Bezugsniveau der Höhenenergie einmal in den höchsten und einmal in den tiefsten Punkt.
 - b) Berechne die Höhenenergie und die kinetische Energie, wenn das Pendel die halbe Ausgangshöhe erreicht hat. Beschreibe ein möglichst geschicktes Vorgehen.
 - c) Bestimme die Geschwindigkeit des Pendels zu drei Zeitpunkten deiner Wahl.
- 2 \ Ein Trampolinspringer hat eine Masse von 65 kg, das Trampolin eine Spannenergie von 1,6 kJ.
 - a) Berechne die maximale Sprunghöhe.
 - b) Beschreibe die Veränderung der kinetischen Energie im Verlaufe eines Sprungs.
 - c) Stelle die Energiebilanz für den Zeitpunkt auf, an dem der Springer eine Höhe von 50 cm erreicht hat. Berechne die jeweiligen Energiewerte.
- 3 \ Ein „Superball“ erreicht, wenn man ihn frei fallen lässt, anschließend wieder 98 % der ursprünglichen Höhe, bevor er erneut fällt.
 - a) Nimm Stellung zu der Behauptung, dass er bei jedem Fall 2 % seiner Geschwindigkeit verliert.
 - b) Berechne nach 5-maligem Fallen den Anteil der „verlorenen“ Energie.
- 4 \ Ein 12 g schwerer Pfeil wird mit einer Federpistole senkrecht nach oben geschossen und erreicht eine Höhe von 6,2 m.
 - a) Berechne die Abschussgeschwindigkeit, die der Pfeil dafür haben muss.
 - b) Gib die anfängliche Spannenergie der Pistole an.
 - c) Berechne die maximale Höhe, wenn der Pfeil während seines Flugs 5 % der Anfangsenergie durch Reibung „verliert“.
- 5 \ Begründe, dass zwei unterschiedlich schwere Kinder auf gleich langen Schaukeln synchron schaukeln können. Argumentiere physikalisch.

+ Hilfestellung auf Seite 186-188

↳ weitere passende Aufgaben: S. 37, Nr. 4, 6; S. 39, Nr. 14; S. 40, Nr. 15, 16; S. 41, Nr. 17



3

Arbeit und Leistung

Versuche und Materialien zu Kapitel 3.1

M1 Was ist Arbeit?

In der Physik ist die Arbeit eine Form der Energieübertragung. Wird Arbeit verrichtet, wird eine Energieform in eine andere umgewandelt. Energie ist dabei notwendig, damit Arbeit erledigt werden kann.

Beispiel:

Arbeit: Das Mädchen hebt ihren Hund hoch.

- Hubarbeit wird verrichtet.

Energie: Der Hund ist angehoben.

- Chemische Energie aus den Muskeln wird gebraucht.
- Höhenenergie ist im Hund gespeichert.



Arbeitsauftrag

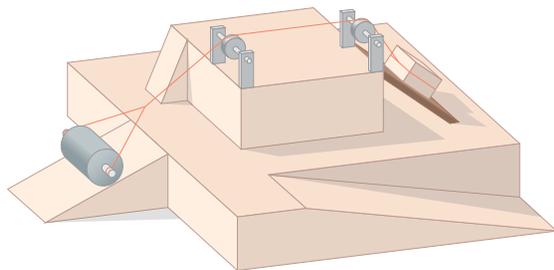
Schau auf S. 29 im Merkkasten die Bezeichnung der verschiedenen Formen der Arbeit nach.

Beschreibe anhand der folgenden Beispiele die verrichtete Arbeit und die Übertragung der Energie.

- a) Ein Bogen wird gespannt.
- b) Ein Pfeil wird von einem Bogen abgeschossen.
- c) Ein Kind wird auf einer Schaukel angestoßen.
- d) Ein Wagen wird angeschoben.
- e) Ein Junge springt auf einem Trampolin.

Versuche und Materialien zu Kapitel 3.2

M2 Maschinen arbeiten für uns – die schiefe Ebene aus energetischer Sicht



Da die Kräfte, und damit natürlich auch die Arbeit, die ein Mensch aufbringen kann, nicht sehr groß sind, hat man sich bereits im Altertum Maschinen und Vorrichtungen überlegt, die z. B. den Bau der Pyramiden erleichtert haben.

Dabei wurden verschiedene Rampen und Zugvorrichtungen verwendet, um die tonnenschweren Steinblöcke nach oben transportieren zu können.

Arbeitsauftrag

- a) Bei der Stufenpyramide sind verschiedene Rampen vorhanden. Nenne den physikalischen Fachbegriff für „Rampe“ und begründe deren Einsatz.
- b) Skizziere die Pyramide samt Rampen und zeichne verschiedene Wege ein, eine Last auf die oberste Plattform zu bringen.
- c) Beurteile deine Wege hinsichtlich des geringsten Energieaufwands. Beachte dabei: Je steiler der Weg ist, desto größer wird die benötigte Kraft, während sich die Wegstrecke entsprechend verkürzt. Das Produkt aus Kraft und Weg bleibt daher immer gleich.

Versuche und Materialien zu Kapitel 3.3

M3 Menschliche Höchstleistungen – Mechanische Leistung



Auf der ganzen Welt finden sogenannte Treppenläufe statt. Dabei geht es darum, die obere Plattform eines Gebäudes möglichst schnell über die Treppe zu erreichen. In Berlin überwand der deutsche Weltmeister Thomas Dold die 39 Stockwerke und damit 100 Höhenmeter des Park Inn Hotels (Bild) in 3 Minuten 5 Sekunden. In

Chicago lief Matthias Jahn die 103 Stockwerke des Sears Towers ($\hat{=}$ 413 Höhenmeter) in 13 Minuten 9 Sekunden hoch.

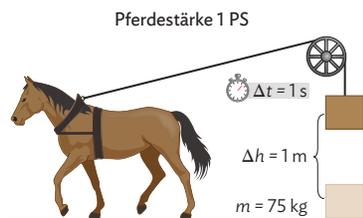
Man könnte auf die Idee kommen, Jahn habe viermal so viel geleistet wie Dold, weil er viermal so viel Hubarbeit verrichtet hat. Allerdings hat er für seinen Lauf auch ungefähr die vierfache Zeit gebraucht. Die physikalische Größe, die in solchen Fällen betrachtet wird, ist die Leistung P . Du wirst sie in Kapitel 3.3 noch genauer untersuchen.

Mechanische Leistung

Die mechanische Leistung P gibt an, in welcher Zeit Δt die Energieänderung ΔE erfolgte: $P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$

Einheit der Leistung: $1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \text{ W}$ (Watt)

Noch heute geben wir die Leistung einer Maschine oft in „Pferdestärken“ oder kurz PS an. Dieser Begriff geht auf James Watt, den Erfinder der Dampfmaschine, zurück. Er wollte damit zeigen, dass eine Dampfmaschine sehr viel mehr leisten könne als ein Pferd. Heute ist ein PS genau definiert und entspricht einer Leistung von ungefähr 735 Watt. Im internationalen Einheitensystem (SI-System) ist in Deutschland seit 1978 das Watt als Einheit für die Leistung vorgeschrieben.



Arbeitsauftrag

- Vergleiche die Leistungen der beiden Läufer bei ihren jeweiligen Treppenläufen. Gehe bei deinen Berechnungen jeweils von einer Körpermasse von 65 kg aus. Diskutiere aber auch die Auswirkung der Masse des Läufers auf die Leistung.
- Ein Lift kann 18 Personen (je 75 kg) in einer Minute zur Aussichtsplattform des Hotels in 110 m Höhe bringen. Berechne die Mindestleistung der verwendeten Elektromotoren, wenn die Masse der Kabine und des Seils durch das Gegengewicht des Aufzugs kompensiert werden.
- Recherchiere weitere Einheiten für die Leistung, die heute noch gebräuchlich sind, obwohl bereits 1978 in Deutschland das SI-System und damit die Einheit Watt eingeführt wurde.
- Bestätige durch eine Rechnung, dass 1 PS einer Leistung von ca. 735 W entspricht. Nutze dazu die Angaben in der Grafik links.
- Bestimme die Zeit, die ein Pferd theoretisch für den Treppenlauf benötigen würde, und beurteile das Ergebnis.

3.1 Arbeit und Energie

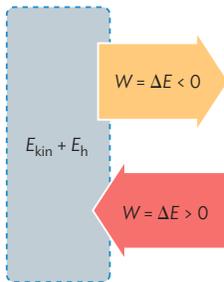
i Auch der Begriff „Stromverbrauch“ ist physikalisch nicht korrekt.

Mechanische Arbeit verändert die Energie

In der Tagespresse liest man oft die Begriffe „Energieverbrauch“ oder „Energieerzeugung“. Im letzten Kapitel hast du aber gelernt, dass die Gesamtenergie in einem abgeschlossenen System erhalten bleibt, also nicht „verbraucht“ oder „erzeugt“ werden kann. Dazu steht scheinbar im Widerspruch, dass die Höhenenergie einer Kiste beim Anheben oder die kinetische Energie eines Autos beim Beschleunigen größer werden. Für jede dieser Änderungen der Gesamtenergie ist aber eine von außen auf das System einwirkende Kraft, z. B. die Kraft des Motors beim Auto, erforderlich.

Als mechanische Arbeit W bezeichnet man die einem System mechanisch, also durch eine Kraftwirkung, übertragene oder entzogene Energie: $W = \Delta E$
Arbeit und Energie besitzen dieselbe Einheit: $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$.

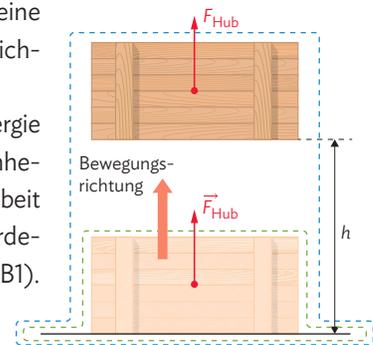
i Die Kiste für sich allein stellt kein abgeschlossenes System dar. Die Erde als Ursache für die Gewichtskraft muss man mit hinzu nehmen. In einem abgeschlossenen System ist die Gesamtenergie erhalten, durch Arbeit kann dem System aber Energie entzogen bzw. hinzugefügt werden.



Um die Kiste in B1 anzuheben, muss man eine der Gewichtskraft F_G entgegengesetzt gerichtete Kraft F_{Hub} aufbringen.

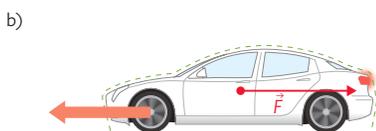
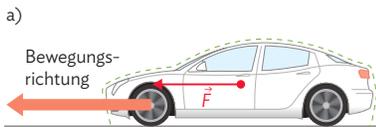
Legt man das Nullniveau der Höhenenergie auf den Boden, ändert sich diese beim Anheben um $\Delta E = m \cdot g \cdot h$. Also wird die Hubarbeit $W_{Hub} = \Delta E = m \cdot g \cdot h = F_{Hub} \cdot h$ am System Erde-Kiste verrichtet (vgl. gestrichelte Linien in B1).

Wirkt die Kraft in Bewegungsrichtung, definiert man das Produkt aus Kraft (-betrag) F und Weg Δx als mechanische Arbeit W : $W = F \cdot \Delta x$. Ein einfaches Beispiel: In 5,0 m Höhe über dem Boden besitzt die Kiste der Masse 20 kg die Höhenenergie $E_h = m \cdot g \cdot h = 20 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 5,0 \text{ m} = 0,98 \text{ kJ}$. Folglich muss die Hubarbeit $W_{Hub} = 0,98 \text{ kJ}$ verrichtet werden, um sie anzuheben.



B1 Am System Erde-Kiste wird von außen Hubarbeit verrichtet.

Wirkt die konstante Kraft F entlang des Weges Δx , so verrichtet sie am System die Arbeit W und ändert seine Energie um $\Delta E = W = F \cdot \Delta x$



B2 Am System Auto wird Beschleunigungsarbeit W_B verrichtet:
a) Beschleunigung ($\Delta E > 0$)
b) Abbremsen bzw. negative Beschleunigung ($\Delta E < 0$)

Beim Beschleunigen des Autos in B2 wird diesem durch Beschleunigungsarbeit W_B kinetische Energie E_{kin} zugeführt, also $\Delta E > 0$, (am System Auto wird Arbeit verrichtet, wenn die Kraft in Bewegungsrichtung wirkt).

Beim Abbremsen verringert das Auto seine Geschwindigkeit, seine kinetische Energie nimmt also ab, $\Delta E < 0$. Hier wirkt die Kraft entgegen der Fahrtrichtung.

Auch ein antriebsloses Auto wird langsamer, da im realen Betrieb stets eine Reibungskraft wirkt, durch deren Arbeit dem System permanent Energie entzogen wird ($\Delta E < 0$).

Unterscheidung von Arbeit und Energie

Der wichtigste Unterschied zwischen den beiden Größen Arbeit W und Energie E besteht in ihrem Charakter. Die mechanische Arbeit kennzeichnet immer einen Vorgang oder Prozess, bei dem durch Krafteinwirkung einem System mechanisch Energie übertragen oder entzogen wird. Sie ist eine Prozessgröße.

Die Energie dagegen charakterisiert den Zustand eines Systems. Sie ist eine Zustandsgröße und darüber hinaus eine Erhaltungsgröße, da sich ihr Betrag nicht ändert, wenn keine Beeinflussung von außen vorliegt.

Mechanische Arbeit	Änderung der Energie	Vorzeichen	Beobachtung
• Hubarbeit $W_{Hub} = m \cdot g \cdot h$	• Höhenenergie $\Delta E = W_{Hub}$	+	Körper wird angehoben
• Beschleunigungsarbeit $W_B = F_B \cdot \Delta x$	• kinetische Energie $\Delta E = W_B$	+	Körper wird schneller
• Spannarbeit W_{Spann}	• Spannenergie $\Delta E = W_{Spann}$	-	Körper wird langsamer
		+	Körper wird stärker verformt
		-	Körper wird schwächer verformt

Musteraufgabe

Ein PKW der Masse $m = 1,2 \text{ t}$ wird aus dem Stand auf eine Geschwindigkeit von $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ beschleunigt.

- Bestimme die Änderung seiner kinetischen Energie.
- Begründe, dass die benötigte Arbeit viermal so groß wäre, wenn er auf die doppelte Geschwindigkeit beschleunigt wird.
- Berechne den Kraftbetrag F , den der Motor auf der 75 m langen Strecke aufbringen muss.
- Bestimme die verrichtete Arbeit und die Geschwindigkeit des PKWs, wenn die kinetische Energie beim Bremsen durch Reibungsarbeit halbiert wird. Hinweis: Vorzeichen beachten!

Lösung

- $\Delta E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1200 \text{ kg} \cdot \left(\frac{36}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 60 \text{ kJ}$
- Bei der doppelten Geschwindigkeit ist die kinetische Energie des PKWs wegen v^2 viermal so hoch, und damit auch die ihm zuzuführende Arbeit.
- $W = \Delta E = F \cdot \Delta x \Rightarrow F = \frac{\Delta E}{\Delta x} = \frac{60 \text{ kJ}}{75 \text{ m}} = 0,80 \text{ kN}$
- $\Delta E = W = -30 \text{ kJ}$, also $E_{kin,nachher} = 30 \text{ kJ}$

$$\Delta E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta E_{kin}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 30000 \text{ J}}{1200 \text{ kg}}} = 7,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 25 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Arbeitsaufträge

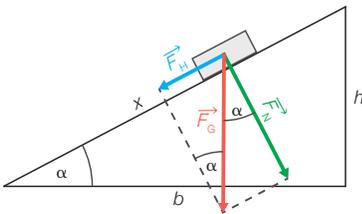
- Beschreibe mit eigenen Worten den Unterschied zwischen Kraft, Arbeit und Energie. Achte auf fachsprachlich korrekte Formulierungen.
- Eine Flasche zuckerfreies Getränk besitzt eine chemische Energie von 3,0 kJ. Bestimme die Höhe h , auf die du die Flasche ($m = 0,35 \text{ kg}$) über ein von dir gewähltes Bezugsniveau anheben musst, damit ihre Höhenenergie diesem Energieinhalt entspricht. Nenne die Art der verrichteten Arbeit.
- Die benötigte Arbeit, um einen PKW von $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ zu beschleunigen, ist dreimal so groß wie bei einer Beschleunigung von 0 auf $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Belege diese Aussage durch eine Energiebetrachtung.
- Ein Fallschirmspringer sinkt vor der Landung mit gleichbleibender Geschwindigkeit, seine Höhenenergie nimmt also stetig ab. Erkläre dies durch Wahl eines geeigneten Systems und mithilfe des Arbeitsbegriffs.

↳ weitere passende Aufgaben: S. 37, Nr. 7, 8; S. 41, Nr. 19

3.2 Wegunabhängigkeit der Hubarbeit



B1 | Stilfser Joch.



B2 | Schiefe Ebene mit Kräftezerlegung und zugehörigen Wegstrecken. x : Länge des schrägen Wegs, h : Höhe.

Wegunabhängigkeit

In B1 siehst du die Serpentina des Stilfser Jochs in Italien. Ein Wanderer, der diese Straße hochgelaufen ist, und ein Bergsteiger, der den direkten Aufstieg gewählt hat, treffen sich oben. Der Wanderer behauptet, dass er, obwohl beide gleich schwer seien, mehr Hubarbeit verrichtet habe, da er ja den offensichtlich längeren Weg gelaufen sei.

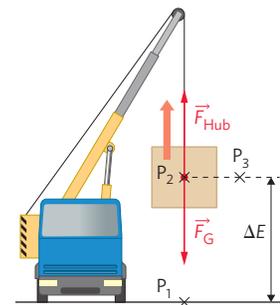
Seine Aussage kann man ganz leicht widerlegen: Da beide oben am Berg die gleiche Höhenenergie besitzen, ändert sich diese bei beiden um denselben Betrag auf ihrem Weg, also müssen beide wegen $\Delta E = W$ gleich viel mechanische Arbeit, hier Hubarbeit, verrichtet haben.

In der Skizze B2 erkennt man, dass zum Hochschieben der Kiste auf einer schiefen Ebene nur die kleinere Hangabtriebskraft F_H nötig ist, beim direkten Weg aber mit der Gewichtskraft F_G gehoben werden muss, was auch schon in M2 genauer untersucht wurde. Da in beiden Fällen die Hubarbeit also gleich ist, muss gelten: $\Delta E = W_{Hub} = F_H \cdot x = F_G \cdot h$

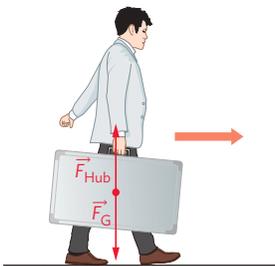
Die verrichtete Hubarbeit ist nur von der Höhendifferenz zwischen Start- und Endpunkt abhängig, nicht vom speziell gewählten Weg.

Arbeit beim Tragen

Mit dem Kranwagen in B3 kann man die Kiste auf zwei verschiedenen Wegen zu einem höheren Ort bewegen, einmal direkt schräg von P_1 zu P_3 , oder zuerst senkrecht anheben auf P_2 und anschließend waagrecht entlang der gestrichelten Linie bewegen. Da die Energieänderung ΔE beim senkrechten Anheben genau so groß ist wie beim direkten Weg, ändert sie sich bei der waagrechten Bewegung nicht mehr, ΔE ist also 0. Der Reisende in B4 verrichtet beim Halten und Tragen seines Koffers keine Arbeit im physikalischen Sinn, da die Höhenenergie des Koffers beim waagrechten Tragen stets gleich bleibt.



B3 | Kranwagen hebt Last.



B4 | Waagrechtes Tragen eines Koffers.

Bei einer waagrechten Bewegung (konstante Höhe) wird keine mechanische Arbeit verrichtet: $W = \Delta E = 0$.

Musteraufgabe

Ein Bierfass (80 kg) wird über eine 2,2 m lange schräge Rampe auf einen LKW verladen, wofür eine Kraft von $F_H = 0,43$ kN längs der Rampe benötigt wird.

- Berechne die verrichtete Hubarbeit.
- Berechne die Höhe der Ladefläche des LKWs über dem Boden. Begründe deinen Ansatz.

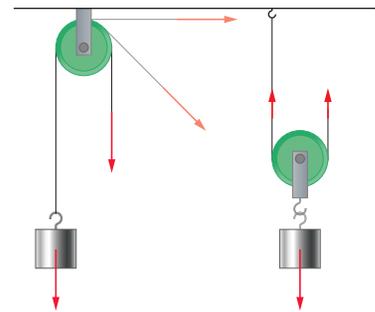
Lösung

- $W_{Hub} = F_H \cdot x = 0,43 \text{ kN} \cdot 2,2 \text{ m} = 0,95 \text{ kJ}$
- Beim direkten Heben ist die Änderung der Höhenenergie genau so groß: $\Delta E = W_{Hub} = mgh$
 $\Rightarrow h = \frac{W_{Hub}}{m \cdot g} = \frac{950 \text{ J}}{80 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 1,2 \text{ m}$

Exkurs: Flaschenzug als Kraftwandler

Mit sogenannten Flaschenzügen kann man die Kraft, die zum Anheben eines Gegenstands benötigt wird, beeinflussen. Es gibt grundsätzlich zwei Arten von Flaschenzügen: Die mit fester Rolle und die mit loser Rolle (vgl. B5). Mit einer festen Rolle kann man den Angriffspunkt und die Richtung der Kraft verändern. Ihr Betrag und der Weg (Seillänge) und damit die Hubarbeit bleiben gleich.

Auch bei einer losen Rolle ist die Hubarbeit die gleiche. Hier verdoppelt sich zwar der Weg, den man am Seil ziehen muss, aber dafür muss man nur die halbe Kraft aufwenden (F_G teilt sich auf beide Seilstücke auf) und kann so größere Lasten heben.



B5 | Kräfteverteilung bei einer festen (links) und einer losen Rolle (rechts).

Mit Maschinen kann man zwar die Kraft verkleinern, die zum Heben eines Körpers nötig ist, muss dafür aber einen längeren Weg in Kauf nehmen, sodass man keine Hubarbeit sparen kann.

Arbeitsaufträge

1 | Mithilfe einer Rampe wird ein Bierfass ($F_G = 0,75 \text{ kN}$) auf die 1,2 m hohe Ladefläche eines LKWs gerollt.



- Berechne zunächst die erforderliche Hubarbeit.
- Konstruiere die Rampe für die Winkel 30° , 45° und 60° . (Maßstab: $20 \text{ cm} \hat{=} 1 \text{ cm}$)
- Bestimme in deinen Zeichnungen jeweils die Länge der Rampe und ermittle daraus die Kraft, mit der das Fass bewegt werden muss.

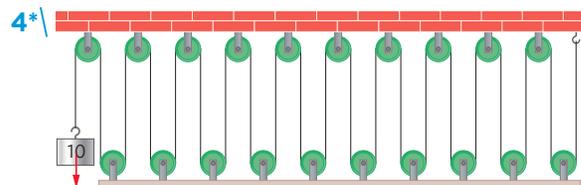
2 | Mit einem Lastenaufzug sollen Ziegelsteine in das zweite Stockwerk (ca. 6 m über dem Erdboden) eines Hauses transportiert werden. Der Aufzug kann senkrecht oder schräg (vgl. Abbildung) aufgestellt werden. Wird die Last senkrecht angehoben, benötigt der Motor für eine Ladung die Energie 6,0 kJ. Es stellt sich die Frage, ob es nicht ökologischer wäre, den Aufzug schräg aufzustellen, um Energie zu sparen. Nimm begründet Stellung dazu.



+ Hilfestellung auf Seite 186-188

↳ weitere passende Aufgaben: S. 38, Nr. 12

3 | Tobi geht abends mit dem Hund spazieren. Auf dem Weg nach Hause muss er einen steilen Berg hochgehen und ist deshalb ganz außer Atem, als seine Schwester Viola ihm die Tür öffnet. „Mensch, das ist aber auch immer eine Arbeit.“ sagt er. „Arbeit? Wieso? Du bist doch wieder da angekommen, wo du losgelaufen bist. Also hast du gar keine Arbeit verrichtet.“ Beurteile Violas Aussage. Gehe darauf ein, dass Tobi sich scheinbar erschöpft fühlt. Beachte die innere Energie!



Im 15. Jahrhundert zeichnete Leonardo da Vinci obigen Flaschenzug mit 10 festen (oben) und 10 losen Rollen (unten).

- Bestimme die Masse, die die losen Rollen und der Balken insgesamt haben müssen, damit das Maskestück links ($m = 10 \text{ kg}$) sich nicht bewegt.
- Bestimme die Streckenlänge, die sich das Maskestück senkrecht nach unten bewegt, wenn der Balken um 15 cm angehoben wird.
- Berechne die in b) verrichtete Hubarbeit.

3.3 Leistung

Die abgeleitete Größe Leistung

Bei der einem System zugeführten oder entzogenen Energie haben wir bisher die dafür benötigte Zeit nicht berücksichtigt. Es ist aber häufig wichtig, in welcher Zeit diese Energieänderung erfolgt. Soll ein Arbeiter beispielsweise in einem Rohbau 1000 Ziegelsteine 6 Meter hochtragen, kommt es darauf an, ob er diese Arbeit in zwei Stunden oder in drei Stunden erledigt (vgl. auch M3). Zu diesem Zweck führt man in der Physik den Begriff Leistung ein.

i Leistung heißt auf englisch *power*. Daher verwendet man *P* als Zeichen.

i Die Einheit der Leistung wurde zu Ehren des schottischen Erfinders James Watt (1736-1819) so benannt.

Unter der mechanischen Leistung *P* verstehen wir die in der Zeitspanne Δt erfolgte Energieänderung ΔE :

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Energieänderung}}{\text{dafür benötigte Zeitspanne}} \text{ oder kurz: } P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

$$\text{Einheit: } [P] = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \text{ W (Watt)}$$

Beim Beschleunigen z. B. eines Autos wird Beschleunigungsarbeit vom Motor verrichtet. Die vom Motor abgegebene Leistung lässt sich berechnen. Häufig wird diese Leistung auch in PS angegeben. Was es damit auf sich hat, kannst du in M3 auf Seite 27 herausfinden.

i Veraltete Einheit:
1 PS = 736 W

Musteraufgabe

Ein PKW der Masse $m = 1,30 \text{ t}$ wird in $t = 11 \text{ s}$ auf die Geschwindigkeit $v = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ beschleunigt. Berechne die vom Motor abgegebene Leistung.

Lösung

Energieänderung:

$$\Delta E = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1300 \text{ kg} \cdot \left(\frac{100 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} \right)^2 = 502 \text{ kJ}$$

$$\text{Leistung: } P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{502 \text{ kJ}}{11 \text{ s}} = 46 \text{ kW}$$

Methode

Unterscheide Alltags- und Fachsprache

In der Werbung findet man häufig technische Angaben zu Hausgeräten. In dem Text zu den beiden Küchengeräten werden z. B. die Begriffe „kraftvoll“, „Leistung“ und die Wattangaben teilweise unphysikalisch vermischt. Für eine korrekte Formulierung können folgende Überlegungen helfen:

- Korrekte Zuordnung der Einheiten beachten und veraltete Einheiten vermeiden.
- „Phantasiebegriffe“ durch richtige physikalische Begriffe ersetzen und Alltagsbegriffe von physikalischen Begriffen unterscheiden.
- Die Formelgrößen entsprechen den Begriffen; davon sind die Einheiten zu unterscheiden.
- Vergewenwärtige dir die Bedeutung der physikalischen Größen in einem konkreten Kontext.

Im abgebildeten Beispiel sollte es beim Toaster heißen „große Leistung 1000 W“. Der Begriff „kraftvoll“ ist in diesem Kontext zu vermeiden, da es nicht um „Kräfte“, gemessen in Newton, sondern um die „Leistung“, gemessen in Watt, geht. Auch die „Bräunungskraft“ ist kein physikalischer Begriff.



Nicht verwechseln: Kraft, Energie, Arbeit, Leistung

In der Alltagssprache werden Energie, Arbeit, Leistung und Kraft oft un-sauber verwendet. So spricht man z. B. von „kraftvoll“ bei einem Motor oder bei einer Kaffeemaschine (vgl. **Methode**), obwohl es physikalisch um die Leistung geht. Eine erste Hilfe zur Unterscheidung können hier die Einheiten sein.

i Beachte den Unterschied: Der Hochspringer erbringt eine Leistung von 600 W (Watt). Die nötige Arbeit W zum Überwinden der Stange beträgt 1200 J.

Zusammenhänge zwischen den Einheiten der Energie bzw. Arbeit (in J), der Leistung (in W) und der Kraft (in N):

$$\text{Energie: } 1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws} \quad \text{Leistung: } 1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}$$

Musteraufgabe

Der PKW aus der vorherigen Musteraufgabe ($P = 46,0 \text{ kW}$) erreicht eine Höchstgeschwindigkeit von $162 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Zu dem Zeitpunkt ist dann die auftretende Reibungskraft betragsmäßig gleich der maximalen Antriebskraft des Motors.

- Berechne die maximale Antriebskraft des Motors.
- Leite daraus einen Zusammenhang zwischen den Größen Reibungskraft und Geschwindigkeit ab.

Lösung

$$\text{a) } P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{F \cdot s}{\Delta t} = F \cdot v$$

$$F = \frac{P}{v} = \frac{46\,000 \text{ W}}{\frac{162 \text{ m}}{3,6 \text{ s}}} = 1020 \frac{\text{Nm}}{\text{m}} = 1020 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}} = 1,02 \text{ kN}$$

- Fährt das Auto mit Höchstgeschwindigkeit, stellt der Motor seine maximale Antriebskraft zur Verfügung. Wollte man schneller fahren, müsste diese noch größer werden. Da sie genau die Reibungskraft kompensiert, muss diese mit wachsender Geschwindigkeit zunehmen.

Arbeitsaufträge

- Beschreibe mit eigenen Worten den Unterschied zwischen Arbeit und Leistung. Gehe dabei auch auf die Verwechslungsgefahr zwischen den Größen ein.
- Ein Arbeiter trägt innerhalb von 2 h (3 h) in einem neuen Haus 1000 Ziegelsteine (Masse je 2,0 kg) in eine Höhe von 6,0 m. Berechne jeweils die Leistung.
- Der Motor eines PKWs ($m = 1,5 \text{ t}$) kann eine Leistung von 120 kW zur Verfügung stellen.
 - Berechne die maximale Geschwindigkeit, die der PKW nach 8,0 s erreichen kann.
 - Berechne die Zeit, in der dieser PKW eine Höhendifferenz von 400 m auf einer Passstraße überwinden könnte.
 - Gib Gründe dafür an, dass die berechneten Werte in a) und b) nur theoretisch sind, in der Praxis also nicht erreicht werden können.
 - Tatsächlich braucht der PKW für das Befahren der Passstraße 17 min. Berechne hierfür die mittlere vom Motor zur Verfügung gestellte Leistung.
- Schon zu Beginn des letzten Jahrhunderts erdachte man einfache Maschinen, um sich die Arbeit zu erleichtern. Bei einem sogenannten Göpel liefen Pferde im Kreis an einer Stange, durch die eine Welle angetrieben wurde. Damit konnte man Wasser aus der Tiefe fördern oder Mahlwerke antreiben. Die beiden Pferde des abgebildeten Göpels laufen mit der Geschwindigkeit $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ an einer 6,0 m langen Stange und üben darauf zusammen eine Kraft von 1,0 kN aus.
 - Bestätige, dass die Leistung eines Pferdes etwa 1 PS entspricht.
 - Berechne die Wassermenge, die man damit in einer Stunde aus einem 10 m tiefen Brunnen nach oben befördern könnte.



↳ weitere passende Aufgaben: S. 47, Nr. 9, 10

V1 Leistungsmessung des menschlichen Körpers

Im Vergleich zu einer Maschine, die eine konstant hohe Leistung über eine längere Zeit abgeben kann, ist beim Menschen Höchstleistung immer nur kurzzeitig möglich.

Du sollst nun deine durchschnittliche und deine Höchstleistung beim Treppensteigen bestimmen.

Leistung beim Treppensteigen

Beim Hochsteigen einer Treppe verrichtet dein Körper Hubarbeit an sich selbst. Je schneller du die Treppe erklimmst, desto mehr Leistung erbringt dein Körper. Für die Ermittlung der Hubarbeit musst du deine Masse und die Höhe der Treppe kennen.



Die Gesamthöhe der Treppe ermittelst du, indem du mit einem Maßstab die Steigungshöhe einer Stufe misst und diese mit der Anzahl der Stufen multiplizierst. Für eine hinreichend genaue Zeitmessung ist die Stoppuhr deines Smartphones gut geeignet. Am besten hilft dir ein Freund oder eine Freundin bei der Zeitmessung, damit du dich voll auf deinen „Treppenlauf“ konzentrieren kannst.

! Achte beim Treppensteigen – insbesondere beim Rennen – darauf, nicht zu stolpern! Zieh dir unbedingt festes Schuhwerk an!

Erstelle für die Auswertung deiner Läufe eine Tabelle, in die du die Größen Zeit, Hubarbeit und Leistung mit den jeweils passenden Einheiten eintragen kannst. Gerne kannst du auch eine entsprechende Tabelle mit einem Tabellenkalkulationsprogramm erstellen und berechnen lassen.

Arbeitsauftrag

- Steige die Treppe einmal langsam, einmal gemütlich und einmal rennend hoch. Bestimme für jeden Fall die von deinem Körper abgegebene Leistung und protokolliere deine Ergebnisse wie in der **Methode** auf S. 193 beschrieben (ZABMA). Beachte die Sicherheitshinweise.
- Recherchiere, bei welchen Sportarten der Mensch Höchstleistungen im physikalischen Sinn erbringt.
- Überschlage die Zeit, in der du deine Treppe besteigen müsstest, um die recherchierte Leistung zu erzielen. Nimm darauf in deiner Auswertung Bezug.
- Untersuche deine Messungen hinsichtlich ihrer Genauigkeit (vgl. **Methode**) und versuche hieraus die relative Messgenauigkeit deines Versuchsergebnisses abzuschätzen.

Methode

Absolute und relative Messfehler

Du weißt bereits, dass kein Messgerät exakt misst und ein Ergebnis daher mit der Methode der gültigen Ziffern angegeben wird. Die auftretenden Messfehler können als relative oder als absolute Fehler angegeben werden.

Beispiel: Steigungsmessung

Die Steigungshöhe der Stufe wurde mit einem Lineal gemessen: $h = 20 \text{ cm}$.

absoluter Fehler: $\Delta h = 1 \text{ mm}$, also $h = 20 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$

relativer Fehler: $\frac{\Delta h}{h} = \frac{0,1 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} = 0,005 = 0,5 \%$

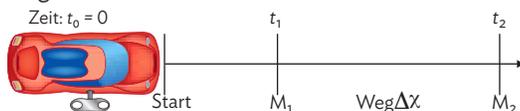
Darüber hinaus gibt es auch noch systematische Fehler. Diese treten auf, wenn man die Messung nicht ordnungsgemäß durchführt und lassen sich daher nur schwer abschätzen. Durch gewissenhafte Vorüberlegungen können diese Fehler vermieden werden.

V2 Leistungsmessung eines Spielzeugmotors

Vorüberlegung

Im folgenden Experiment soll die vom Motor eines Spielzeugrennautos abgegebene Leistung beim Beschleunigen gemessen werden. Dazu setzt du das Auto auf eine gerade, ebene Fahrbahn, lässt es beschleunigen und anschließend mit der erreichten Geschwindigkeit ein Stück fahren.

Probiere diesen Vorversuch ein paarmal aus, damit du ein Gefühl dafür bekommst, wie lang die Beschleunigungsstrecke ist. Markiere anschließend an deren Ende durch zwei Markierungen ein Wegstück Δx , auf dem du später die Geschwindigkeit des Autos bestimmst.



Bei der Länge des Weges Δx solltest du die beiden Überlegungen gegeneinander abwägen. Ist der Weg länger, nimmt aufgrund von Reibung die Geschwindigkeit des Autos ab, sie bleibt also nicht konstant. Je kürzer der Weg ist, desto kleiner ist auch die Fahrzeit, wodurch du eventuell systematische Fehler bei der Messung begehst (Stoppuhr zu spät angehalten etc.).

Hierzu kannst du verschieden lange Wege und die Zeiten messen. Am besten führst du die Versuche mehrmals durch, um dadurch schon systematische Messfehler, z. B. beim Betätigen der Stoppuhr deines Smartphones, auszuschließen.

Der Versuch eignet sich gut für ein Zweierteam, bei dem einer das Starten (t_0) und Stoppen (t_2) der Uhr, inklusive der Zwischenzeit t_1 nach der Beschleunigung, übernimmt. Der andere kümmert sich um das Spielzeugauto. Eine interessante Alternative des Versuchs ist, den gesamten Vorgang in Zeitlupe mit der Handycamera aufzunehmen und aus diesem Video die entsprechenden Werte zu entnehmen.

Durchführung

Beim Losfahren des Autos wird die Uhr gestartet, am Ende der Beschleunigungsstrecke die Zeit t_1 genommen und am Ende der markierten Strecke die gesamte Fahrzeit t_2 . Trage deine Messwerte in eine Tabelle mit folgender Struktur ein:

Zeit t_1 in s
Zeit t_2 in s
Weg Δx in m	KEINE EINTRAGUNG!		
...

Auswertung des Versuchs

Als erstes bestimmst du für jede Reihe von Messwerten die Geschwindigkeit des Autos am Ende der Beschleunigungsstrecke mit der Formel: $v = \frac{s}{t_2 - t_1}$.

Nun kannst du die vom Motor verrichtete Beschleunigungsarbeit $W = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ ermitteln. Hierzu brauchst du noch die Masse m des Autos, die du leicht z. B. mit einer Küchenwaage bestimmen kannst.

Im letzten Schritt ergibt sich die Leistung zu: $P = \frac{\Delta E}{\Delta t_1} = \frac{W}{t_1 - t_0} = \frac{W}{t_1}$

Arbeitsauftrag

Führe den Versuch mehrmals nach Anleitung durch. Erstelle dabei ein vollständiges Versuchsprotokoll (ZABMA). Bestimme die Leistung des Autos und vergleiche mit V1. Mit dem Mediacode kannst du dir ein Video des Versuchs herunterladen, bei dem du auch die Auswertung erproben kannst.



MC 67049-04



Etwa 25 km nördlich von Bayreuth beginnt am Bahnhof Neuenmarkt-Wirsberg die „Schiefe Ebene“ – ein Streckenabschnitt der Ludwigs-Süd-Nord-Bahn von Bamberg nach Hof (Saale). Der Abschnitt wurde zwischen 1844 und 1848 errichtet und gilt als eine Pionierleistung der Ingenieurbaukunst, da es auf einer Strecke von 6,8 km für damalige Verhältnisse bemerkenswerte 157,7 Höhenmeter zu überwinden gilt.

Um die Schiefe Ebene zu bewältigen, mussten spezielle Lokomotiven eingesetzt werden, wie die Mallet Schublokomotive Gt 2x4/4, die zu einer Leistung von 1081 kW im Stande war. Sie hat eine Dienstmasse von 123,2 t und eine Lokreibungslast von ebenfalls 123,2 t, die gesamte Masse liegt also auf den Treibrädern auf. Sie kann eine

Steigung von 25 ‰ mit einer maximalen Geschwindigkeit von $v_{\max} = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ bewältigen.

Die Mallet Schublokomotive war speziell für die Steilrampen auf dem Gebiet der Königlich Bayerischen Staats-Eisenbahnen (K.Bay.Sts.B.) entwickelt worden. Sie konnte am Bahnhof Neuenmarkt an den Güterzug angekoppelt werden, um diesen die Schiefe Ebene hinaufzuziehen oder -zuschieben. Der Name „Schiefe Ebene“ ist hierbei ein Fachbegriff der Bahndirektion für diesen speziellen Streckenabschnitt, deckt sich aber exakt mit dem entsprechenden physikalischen Fachbegriff. Man sieht an diesem Beispiel besonders schön, wie Technik und Physik zusammenpassen.

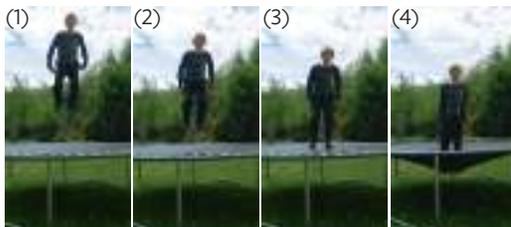
Im Ort Neuenmarkt kann man heute das „Deutsche Dampflokomotiv Museum“ besuchen und entlang der Schiefen Ebene wurde ein Lehrpfad errichtet.

Arbeitsauftrag

- Berechne aus der Leistung der Schublokomotive und den Daten der Schiefen Ebene die maximale Güterzugmasse m , die von der Lok in Maximalgeschwindigkeit hinaufgeschafft werden kann. Beachte, dass bei der Güterzugmasse die Masse der Lok nicht eingeschlossen ist. Ein Waggon hatte zur damaligen Zeit eine Masse von ca. 30 t. Gehe bei deiner Berechnung davon aus, dass sich der Zug mit konstanter Geschwindigkeit bewegt und die Reibung vernachlässigt werden kann.
- Erkläre den Grund dafür, dass diese Lokomotiven Sandkästen mit sich führten. Hinweis: Eine Recherche könnte hilfreich sein.
- Im Schubbetrieb konnte die Malletlok mehr bewirken. Ebenso steigt die Zahl der Waggonen bei langsamer Fahrt. Berechne die Anzahl der Waggonen, die der Güterzug bei einer Geschwindigkeit von $25 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ haben kann.
- Angenommen, du willst von einem Experten deine Abschätzung überprüfen lassen. Schreibe dazu an den fachlichen Leiter des Deutschen Dampflokomotiv Museums Neuenmarkt eine fiktive E-Mail, in der du ihn fragst, ob deine Berechnungen so den Tatsachen entsprechen.
- Entwirf selbst eine ähnliche Aufgabe bzw. mache eine ähnliche Abschätzung für eine selbst gewählte Lokomotive (z. B. Lokomotive aus dem Deutschen Museum, Zahnrad-Dampflokomotiv HG2/3 1-8 der Visp-Zermatt-Bahn um 1900, ICE, usw.).

Basisaufgaben

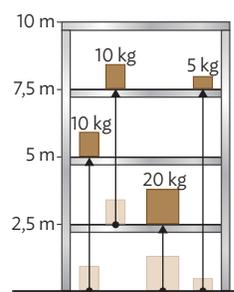
- 1 \ Beschreibe Alltagsvorgänge, bei denen in einem oder mehreren Körpern folgende Energieformen gespeichert sind: kinetische Energie; Höhenenergie; kinetische Energie und Höhenenergie; innere Energie; Lichtenergie; elektrische Energie; Spannenergie
- 2 \ Notiere die jeweils auftretende Energieumwandlung, z. B. für „Ein Apfel fällt vom Baum“:
 $E_{\text{pot}} \rightarrow E_{\text{kin}} + E_i$
 - a) Tanja hebt ihre Schultasche hoch.
 - b) Mit seinem Bogen schießt Max einen Pfeil ab.
 - c) Chiara fällt vom Ast eines Baums auf den Boden.
 - d) Mit einem Wasserkocher erhitzt Fabian Wasser.
- 3 \ Beurteile folgende Aussage: „Jeder Vorgang im Universum ist mit Energieumwandlungen verbunden.“
- 4 \ Moritz springt in seiner Freizeit gerne Trampolin. Ein solcher Sprung ist in der Bildfolge dargestellt, die Gesamtenergie ist in jedem Bild gleich groß. Die innere Energie soll für den Sprung vernachlässigt werden.



- a) Nenne jeweils die Bildnummer, bei der die Gesamtenergie...
 - der Höhenenergie
 - der Bewegungsenergie
 - der Spannenergie entspricht.
- b) Zeichne für den weiteren Verlauf von Moritz Bewegung vier weitere Bilder. Gib für jedes gezeichnete Bild die Energieformen an, die vorkommen.

- 5 \ Um 1 kg Wasser um 1 Grad zu erhitzen, werden 4,19 kJ benötigt. Der Salto Angel in Venezuela ist mit 979 m der höchste freifallende Wasserfall der Erde. Berechne, um wieviel Grad sich das Wasser beim Aufprall unten erwärmt.
- 6 \ a) Wird ein Ball fallen gelassen, erreicht er nach dem ersten Aufkommen fast wieder seine Ausgangshöhe. Erkläre, dass nicht genau die Ausgangshöhe erreicht wird.
 b) Mia wirft einen Ball auf den Boden. Er springt anschließend bis an die Decke ihres Zimmers. Erkläre den Unterschied zu a) mithilfe von Fachbegriffen.
- 7 \ Janina und Paul klettern in der Boulderhalle beide die gleiche Wand hoch. Dabei schafft es Janina ($m = 60 \text{ kg}$) 5,0 m weit nach oben, Paul ($m = 70 \text{ kg}$) nur 4,0 m. Berechne, wer von beiden dabei mehr Arbeit verrichtet hat.
- 8 \ Ein Tanklöschfahrzeug der Feuerwehr pumpt Wasser in das 5. Stockwerk (Höhe 16 m) eines brennenden Hauses. Die Feuerlöschpumpe verrichtet dabei eine Arbeit von 315 kJ. Berechne die Wassermenge in Litern, die hochgepumpt wurde.

- 9 \ Ein Gabelstapler hat die vier Kisten in das Regal gestellt. Die Zeit, die er dafür benötigt, war bei jeder Kiste gleich. Ordne ohne Berechnung die dabei abgegebenen Leistungen der Größe nach. Argumentiere dazu geschickt mit den Massen der einzelnen Kisten und den Höhen des Regals.



- 10 \ Pro Minute transportiert das menschliche Herz etwa 4,2 l Blut ($\rho_{\text{Blut}} = 1,06 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$). Die dabei verrichtete Arbeit ist so groß, als ob das Blut um 1,5 m nach oben gepumpt würde. Vergleiche die Leistung des Herzens mit der des Gehirns (20 W).

Zusammenfassende Aufgaben

11 | Energie im Alltag – Energie in der Physik

Der Begriff „Energie“ ist dir im Alltag schon oft begegnet. Einige typische Aussagen oder Werbeanzeigen könnten so aussehen:

„Ich bin energiegeladener, ich bin ein Energiebündel.“

„Susi lädt ihr Handy mit Solarenergie auf.“

„Michi setzt sich mit viel Energie für seine Klasse ein.“

„Gabi versucht, möglichst viel Energie zu sparen.“

„Der Dieb hatte viel kriminelle Energie.“

a) Diskutiere in den fünf Aussagen links jeweils die Bedeutung des Worts „Energie“.

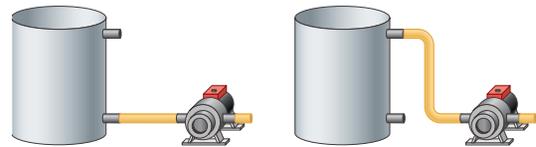
b) Betrachte die drei Bilder und bewerte das Anliegen des jeweiligen Herstellers, den Begriff „Energie“ in Werbeslogans zu verwenden.

c) Recherchiere die Bedeutung folgender Begriffe und stelle sie zusammen mit einer kurzen Beschreibung übersichtlich auf einem Plakat dar:
erneuerbare Energie; Energiewende; grüne Energie; fossile Energieträger; Kernenergie



12 | Wie schließe ich die Pumpe an?

In der Abbildung siehst du ein Wasserfass, das aus einem nahegelegenen See befüllt werden soll. Herr Yilmaz hat sich dafür extra eine neue Pumpe besorgt. Nun stellt er fest, dass sich an dem Wasserfass zwei Anschlüsse für den Schlauch befinden: einer ganz oben und einer ganz unten.



Er ist jetzt etwas verunsichert, welchen der beiden Anschlüsse er nehmen soll.

- a) Begründe physikalisch exakt, dass, solange das Fass nicht vollständig gefüllt ist, die Pumpe mehr Arbeit verrichten muss, wenn der Schlauch mit dem oberen Tankanschluss statt dem unteren verbunden ist. Gehe dabei wie folgt vor:
- Notiere dir zunächst die Größen, die bei der Bestimmung der Arbeit eine Rolle spielen.
 - Bestimme dann diejenigen dieser Größen, die sich ändern würden, wenn der Schlauch an den jeweils anderen Anschluss montiert wird.
 - Überlege dir, wie sich diese Größen ändern, wenn das Fass immer voller wird.
 - Analysiere am Ende genau, bei welcher der beiden Anschlussarten am Ende dann mehr Arbeit durch die Pumpe verrichtet wurde.
- b) Entscheide, ob deine Schlussfolgerung aus a) auch dann noch gilt, wenn das Fass schon vollständig gefüllt ist und die Pumpe weiterläuft.
- c) Diskutiere in diesem Kontext die Wegunabhängigkeit der Hubarbeit.

13 | Energie in Nahrungsmitteln

Auf Verpackungen von Lebensmitteln sind „Nährwertangaben pro 100 g“ angegeben (siehe Bild). Der Brennwert entspricht dem Energiegehalt von 100 g des Nahrungsmittels. Wie du weißt, misst man Energie in Joule. Eine weitere Einheit für die Energie ist die Kilokalorie (kcal). Den Begriff kennst du aus dem Alltag. Beispiel: „Schokolade hat viele Kalorien“. Damit meint man auch, dass viel Energie in der Schokolade steckt.

100 g enthalten durchschnittlich	
Brennwert	1403kJ (331 kcal)
Eiweiß	4,7 g
Kohlenhydrate	75,5 g
davon Zucker	1,8 g
Fett	0,4 g
davon -gesättigte Fettsäuren	0,2 g
Ballaststoffe	3,1 g
Natrium	1,2 g

- Formuliere die Aussage aus dem Beispiel so um, dass sie physikalisch richtig ist.
- Berechne aus den Angaben im Bild oben den Umrechnungsfaktor von kJ in kcal.
- Suche im Küchenschrank deiner Eltern nach Lebensmitteln mit Nährwertangaben und erstelle eine Tabelle mit den Lebensmitteln. Gib in der Tabelle jeweils den Energiewert in kJ an, der in 100 g des Nahrungsmittels enthalten ist.
- Recherchiere im Internet den täglichen Energiebedarf eines Jugendlichen in deinem Alter. Stelle dir drei mögliche Nahrungsmittelkombinationen für einen Tag zusammen, die diese Energiemenge enthalten. Notiere auch jeweils die Gesamtmasse der Nahrung, die du dann jeweils zu dir nehmen würdest.
- Vergleiche eure Ergebnisse in der Klasse und macht die Nahrungsmittel ausfindig, von denen ihr nur wenig am Tag zu euch nehmen könnt, um den Energiebedarf zu decken.

14 | Energieformen einer Fahrradtour

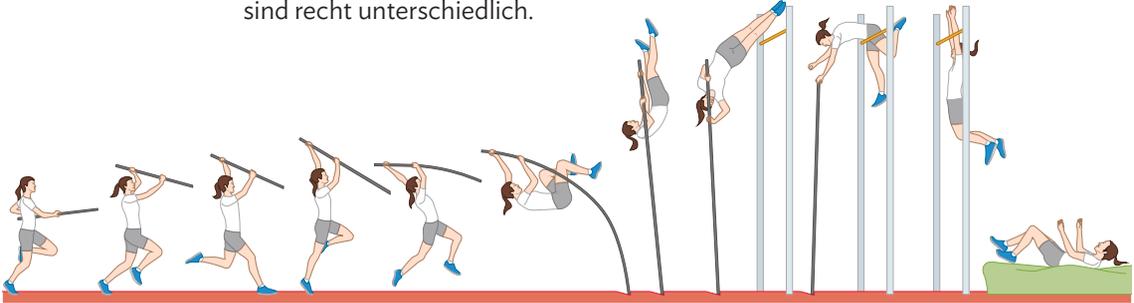
- Andreas fährt Fahrrad. Er fährt los und beschleunigt so lange, bis er eine für ihn angenehme Geschwindigkeit erreicht hat. Als er einen Hügel sieht, fährt er diesen hinauf. Oben angekommen, macht er eine kurze Pause und lässt sich anschließend den Hügel hinunterrollen. Dann fährt er heim. Beschreibe bei jeder der einzelnen Etappen die Energieformen, die dort beteiligt sind.



- Seine Schwester Julia meint: „Da konntest du ja ganz entspannt bis nach Hause rollen, nachdem du den Berg geschafft hast. Unser Haus ist zwar noch 2 km davon entfernt, aber die Strecke geht nach dem Fuß des Bergs ja nur leicht nach oben.“
Nimm Stellung zu dieser Aussage.

15 \ Stabhochsprung

In der Bilderfolge wird der Ablauf eines Stabhochsprungs gezeigt. Auf jedem einzelnen Bild ist die Gesamtenergie gleich groß. Die auftretenden Energieformen sind recht unterschiedlich.



a) Nimm Stellung zu folgenden Aussagen:

Moritz: „Die Gesamtenergie ist doch gar nicht erhalten. Von Bild 1 bis 3 wird die Bewegungsenergie immer größer.“

Elisabeth: „Vergiss nicht, dass die Sportlerin etwas gegessen hat. Sie wandelt die chemische Energie in der Nahrung unter anderem in Bewegungsenergie um. Die Gesamtenergie ist erhalten.“

Moritz: „Am Ende des Sprungs liegt die Sportlerin auf der Matte und die Gesamtenergie ist null.“

Elisabeth: „Nein, die Gesamtenergie ist in Form von innerer Energie vorhanden. Das bedeutet: Die Sportlerin, die Matte und die Luft haben sich ein wenig erwärmt.“

b) Ordne folgende Aussagen einzelnen Bildern zu:

- A. die Höhenenergie ist maximal
- B. die Spannenergie ist maximal
- C. die Sportlerin hat sowohl Höhenenergie als auch Bewegungsenergie
- D. die Höhenenergie ist größer als die Bewegungsenergie
- E. die Bewegungsenergie ist größer als die Höhenenergie
- F. die Bewegungsenergie beträgt null
- G. die Spannenergie beträgt null

16 \ Daumenkino

Erstelle ein Daumenkino mit ca. 10 – 20 Einzelseiten. Du kannst dazu einen kleinen Block verwenden oder du schneidest Papier passend zu und verwendest eine Klammer. Überlege dir einen Vorgang, bei dem eine Energieumwandlung stattfindet und den du leicht zeichnen kannst. Zum Beispiel kannst du einen hüpfenden Gummiball oder einen Sprung vom Sprungturm zeichnen. Tauscht eure Daumenkinos



und benennt die Energieumwandlungen. Tipp: Haltet die Seite gegen eine Fensterscheibe, legt eine zweite Seite über euer Motiv, paust es ab und verändert es ein kleines bisschen. Nehmt die neue Zeichnung als Vorlage für die folgende Seite.

17 \ Energieumwandlung an der schiefen Ebene

Lili ($F_{G,L} = 450 \text{ N}$) fährt mit ihrem Skateboard ($F_{G,S} = 20 \text{ N}$) am liebsten über die Rampe im Skatepark. Diese weist einen Steigungswinkel von 30° auf. Dabei legt Lili eine Strecke von $2,0 \text{ m}$ zurück.



- Bestimme durch Konstruktion den Betrag der Hangabtriebskraft, die auf Lili beim Hochfahren wirkt.
- Gib die Energieumwandlung an, die während des Hochfahrens stattfindet, wenn Lili sich während der Fahrt nicht mehr abstößt.
- Berechne die kinetische Energie, die Lili vor der Rampe mindestens haben muss, damit sie auf die Rampe kommt.

18 \ Rube-Goldberg-Maschine

- ▼ Mit einer Rube-Goldberg-Maschine lassen sich tolle Kettenreaktionen auslösen und gleichzeitig sehr schön verschiedene Arten der Energieumwandlung veranschaulichen



- Recherchiere im Internet nach Informationen über Rube-Goldberg-Maschinen und suche nach einem Video dazu.
- Baue eine einfache Rube-Goldberg-Maschine mit drei Energieumwandlungen. Überlege dir dafür zunächst, was du dazu aus dem Haushalt oder deinem Zimmer verwenden kannst.
- Erstelle einen Film oder Fotos von deiner Rube-Goldberg-Maschine und benenne die Energieumwandlungen. Stelle die Ergebnisse deiner Klasse vor.

19 \ Verschiedene Arten von Arbeit

- Führe die unten beschriebenen Versuche durch.

- ▼ Erstelle anschließend eine Skizze zum Versuchsablauf und beschreibe die Arten von Arbeit, die bei den einzelnen Schritten eine Rolle spielen.
- Ein Holzklötz wird mit einem Seil einen 1 m hohen Tisch hochgezogen.
 - Der Klotz wird 20 cm weit an eine Startlinie geschoben.
 - Bei der Startlinie wird der Klotz in Bewegung gesetzt.
 - Der Klotz landet in einem Knetwürfel.

Benötigte Materialien:

- Tisch
- Holzklötz
- Seil
- Knetwürfel

- Finde weitere Beispiele aus dem Alltag, in denen mehrere Arten von Arbeit gleichzeitig auftreten.



Selbsttest-Checkliste

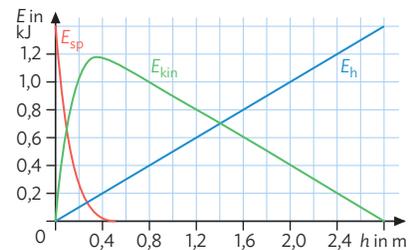
- ✓ Bearbeite die Aufgaben schriftlich in ordentlicher Form. Die Auswertungstabelle zeigt die Kompetenzerwartungen und Hilfestellungen.
- ✓ Vergleiche deine Lösungen mit den Lösungsskizzen auf S. 169.
- ✓ Bewerte nun deine Lösungen selbst mit den Symbolen 😊, 😐 oder ☹.

1 Das nebenstehende Bild zeigt einen Trampolinspringer zu dem Zeitpunkt, an dem das Trampolin am stärksten gespannt ist.

- a) Begründe, dass es günstig ist, diese Position des Trampolinspringers als Nullpunkt der Höhenenergie festzulegen.
- b) Beschreibe einen vollständigen Trampolinsprung aus energetischer Sicht, ausgehend vom tiefsten Punkt, bis der Springer diesen tiefsten Punkt wieder erreicht. Wähle dafür sinnvolle Zeitpunkte und gib jeweils die Energieformen an, die der Trampolinspringer besitzt.



- c) Das abgebildete Diagramm zeigt die Beträge der Spannenergie, der kinetischen Energie und der Höhenenergie in Abhängigkeit von der Höhe des Springers bis zum höchsten Punkt des Sprungs.

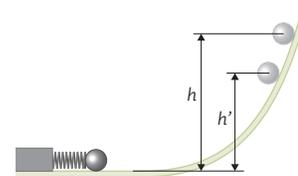


Beschreibe den Verlauf der Kurven und gehe dabei insbesondere auf die Energieumwandlungen ein.

Erkläre anhand des Diagramms, dass die Gesamtenergie während des Sprungs konstant ist.

- d) Zeichne ohne Angabe von konkreten Werten ein Energiediagramm des Trampolinsprungs, ausgehend vom höchsten Punkt des Springers bis zum tiefsten Punkt.

2 Eine zusammengedrückte Feder besitzt eine Spannenergie von 0,25 J. Mit dieser Feder wird eine Kugel der Masse $m = 20$ g in Bewegung versetzt. Die Kugel rollt entlang der abgebildeten Bahn bis zu einer maximalen Höhe h .



(Reibungsverluste sind zu vernachlässigen.)

- a) Beschreibe die Energieumwandlungen, die bei diesem Versuch auftreten.
- b) Erstelle die Energiebilanz der Kugel am unteren Ende der Rampe sowie an ihrem höchsten Punkt.
- c) Berechne die Geschwindigkeit der Kugel, nachdem sie die Feder verlassen hat.
- d) Berechne die maximale Höhe h , die die Kugel erreicht.
- e) Berechne die kinetische Energie und die Höhenenergie der Kugel in einer Höhe $h' = 80$ cm.

- 3** Ein Stein der Masse $m = 60 \text{ kg}$ soll in eine Höhe von $h = 8,0 \text{ m}$ transportiert werden.
- Eine Möglichkeit besteht darin, den Stein reibungsfrei mithilfe eines Seils senkrecht nach oben zu ziehen. Berechne die dafür notwendige Kraft sowie die zu verrichtende Arbeit. Erläutere kurz die Auswirkung, die die zu verrichtende Arbeit hat.
 - Eine zweite Möglichkeit besteht darin, den Stein auf Rollen zu lagern und ihn über eine 30 m lange, schiefe Rampe nach oben zu schieben.
Begründe, dass die dafür notwendige Kraft geringer als die in Aufgabe a) berechnete Kraft ist. Bestimme ohne Rechnung die verrichtete Arbeit.
- 4**
- Fertige eine übersichtliche Zusammenstellung (z. B. eine Mindmap) der Größen Kraft, Energie, Arbeit und Leistung an. Definiere dazu diese Größen entsprechend und gib die jeweilige Einheit an. Veranschauliche die Zusammenhänge zwischen den Größen, beispielsweise durch beschriftete Pfeile.
 - Im Alltag werden die Begriffe Kraft, Energie, Arbeit und Leistung oft physikalisch falsch verwendet. Begründe, dass die nachfolgenden Aussagen physikalisch nicht korrekt sind, und verbessere sie im Heft:
 - Die neue Windkraftanlage liefert jährlich eine Leistung von 12 MW .
 - Der Aufstieg auf den Gipfel war eine große Kraftleistung.
 - Zu den erneuerbaren Energien gehören Sonnenenergie, Windenergie, Wasserkraft und Biomasse.
 - Solarenergie – Kraft aus der Sonne.
 - Windkraftträder wandeln Windenergie in elektrischen Strom um.
- 5** Du hast im Schülerexperiment die Leistung des menschlichen Körpers beim Treppensteigen untersucht.
- Nenne die physikalischen Größen, die du vor dem Versuch bestimmen musst.
 - Erläutere mithilfe der entsprechenden Formeln die Berechnung der Leistung des menschlichen Körpers beim Treppensteigen.
 - Beschreibe kurz die experimentelle Durchführung dieser Leistungsmessung.
 - Überlege dir Möglichkeiten, um die Leistung beim Treppensteigen zu vergrößern, und begründe deine Überlegungen aus physikalischer Sicht.

Auswertungstabelle

Ich kann...	Hilfe
1 bei Vorgängen in Technik und Natur die Umwandlung der Energieformen kinetische Energie, Höhenenergie und Spannenergie beschreiben und erläutern.	S. 12 ff
2 das Prinzip der Energieerhaltung anwenden, um damit mechanische Energien zu bilanzieren und relevante Größen der Energieformen zu berechnen.	S. 18 ff
3 die Prozessgröße Arbeit bei der Anwendung des Prinzips der Energieerhaltung miteinbeziehen und damit mechanische Vorgänge beschreiben und berechnen.	S. 26 ff
4 die Unterschiede und die Zusammenhänge zwischen den Größen Kraft, Energie, Arbeit und Leistung erklären und diese Begriffe fachsprachlich korrekt verwenden.	S. 32 ff
5 ein Experiment zur Bestimmung der menschlichen Leistung oder technischer Geräte planen, durchführen und ein strukturiertes Versuchsprotokoll erstellen.	S. 34/35

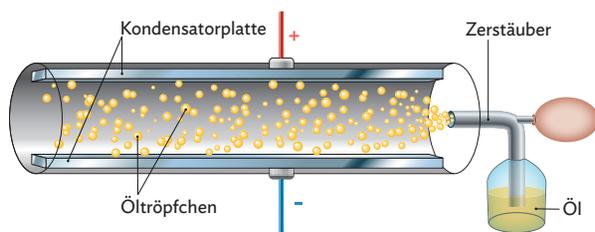


4 Elektrische Energie

Versuche und Materialien zu Kapitel 4.1

M1 Die Elementarladung

Historisch war es ein wichtiger Erkenntnisgewinn, dass Ladungen nur als Vielfache einer kleinsten Ladungsmenge auftreten können. Eine zentrale Rolle spielte dabei ein Versuch von Robert Millikan, der sogenannte Millikan-Versuch. In vereinfachter Form werden dabei negativ geladene Öltröpfchen zwischen geladenen Metallplatten („Kondensator“) in der Schwebelage gehalten. Man spricht daher auch von der Schwebemethode. Ist der Radius der Öltröpfchen, die Dichte des Öls und der Luft, die Spannung an den Kondensatorplatten und deren Abstand bekannt, so lässt sich die Ladung der Tröpfchen berechnen.



Arbeitsauftrag

- Erkläre die physikalische Bedingung, die erfüllt sein muss, damit die Öltröpfchen zwischen den Kondensatorplatten schweben.
- Überlege dir ein Vorgehen, mit dem du beeinflussen kannst, ob ein Öltröpfchen schwebt, sinkt oder steigt.
- Die beschriebene Schwebemethode ist nicht sehr genau. Recherchiere die Methode, die beim Millikan-Versuch bessere Ergebnisse liefert, und beschreibe das Vorgehen.
- Millikan hat bei seinen Messungen nur bestimmte Ergebnisse veröffentlicht, die für eine kleinste Ladungsmenge sprachen. Diskutiere, ob ihm deswegen wissenschaftliches Fehlverhalten vorgeworfen werden kann.

Versuche und Materialien zu Kapitel 4.2

M2 Das Wasserrutschenmodell

Als Modell eines Stromkreises soll eine „Wasserrutschenanlage“ dienen. Diese Anlage besteht aus einem Förderband, das die Schwimmreifen bzw. Boote mit den Badegästen nach oben bringt, und der Rutsche, auf der es wieder nach unten geht. Anders als im Freizeitpark sind beide durch waagrechte Wasserrinnen verbunden, in denen die Schwimmreifen auch ohne Gefälle dahingleiten. Da im Stromkreis die Leitungen mit Ladungsträgern dicht gefüllt sind, nehmen wir außerdem an, dass sich die Schwimmreifen

Arbeitsauftrag

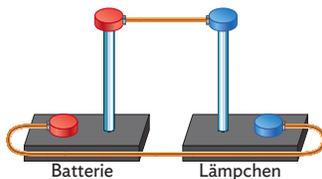
- Stelle übersichtlich die Änderung der potentiellen Energie eines Fahrgastes während einer Fahrt in unserem Wasserrutschenmodell dar.
- Gib die Energieumwandlungen an, die in einem Stromkreis möglich sind, und nenne Beispiele.

alle berühren. Damit müssen aber alle Schwimmreifen immer denselben Geschwindigkeitsbetrag haben, auch wenn es die Rutsche hinab geht. In der Realität würden die Schwimmreifen durch Zusammenstöße gebremst und durch die Reibung dabei würde ein Teil der Energie in innere Energie umgewandelt werden.



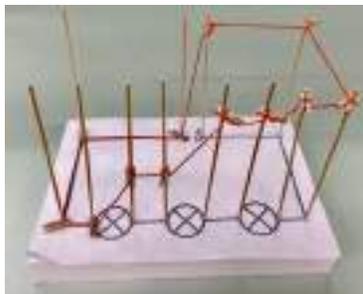
- c) Erkläre die Veranschaulichung der elektrischen Stromstärke im Wasserrutschenmodell und beschreibe die Darstellung der verschiedenen Stromstärken im Wasserrutschenmodell.
- d) Im Wasserrutschenmodell fahren die Schwimmreifen überall mit gleichbleibender Geschwindigkeit – auch auf der Rutsche. Erkläre, dass das mit der Energieerhaltung in Einklang gebracht werden kann.
- e) Beurteile anhand der bisherigen Gesichtspunkte, inwieweit das Wasserrutschenmodell den elektrischen Stromkreis gut oder schlecht wiedergibt.

M3 Das Stäbchenmodell oder Klötzchenmodell



Im sogenannten Stäbchenmodell werden Unterschiede in der potentiellen Energie von Ladungen als Höhenunterschiede veranschaulicht. Dazu stellen wir die Anschlüsse von Energiequellen oder elektrischen Geräten beispielsweise durch kleine Scheiben dar: Je höher die potentielle Energie von Ladungen dort ist, umso höher sind sie mithilfe von Stäbchen anzuordnen. Alle Verbindungsleitungen zeichnen wir dagegen waagrecht.

Beim Nachbau (Bild unten) kannst du die Scheiben auch durch Wäscheklammern ersetzen, zwischen denen jeweils eine Schnur gespannt wird. Damit es stabiler ist, kannst du dabei die Schnur etwas um die Wäscheklammern wickeln, aber immer auf die gleiche Weise, damit sich die Höhe der

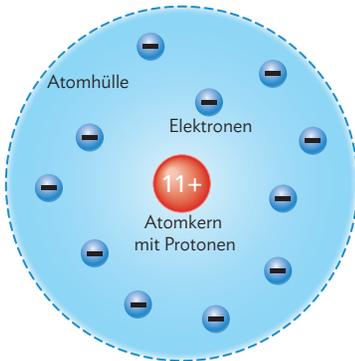


gespannten Schnur nicht verändert! Statt der Stäbe lassen sich auch gestapelte Bauklötzchen oder Bausteine verwenden, zwischen denen die Schnur eingeklemmt wird.

Arbeitsauftrag

- a) Baue das Stäbchenmodell (Bild links unten) mit Stäben und Wäscheklammern oder mit Bausteinen nach und dokumentiere es.
- b) Vergleiche den realen Stromkreis mit dem Stäbchenmodell und beschreibe die Stärke des Stäbchenmodells.
- c) Stelle die Parallel- und die Reihenschaltung von zwei gleichen Glühlampen im Stäbchenmodell dar und erläutere damit die Gesetze für die Spannungen.
- d) Begründe für das Foto links, dass hier keine drei baugleichen Glühlampen vorliegen können. Gib die Glühlampe mit dem geringsten Widerstand an und erkläre deine Entscheidung.
- e) Zwei baugleiche Glühlampen werden parallel geschaltet. Erkläre die Veränderung der Helligkeit der Lampen, wenn man in einen Parallelzweig noch eine baugleiche Glühlampe in Reihe einbaut.

4.1 Elektrische Ladung und Stromstärke



B1 | Modell eines Natriumatoms mit 11 Elektronen in der Hülle und 11 Protonen im Kern.

i | Zwischen den Protonen und den Neutronen im Kern wirkt eine besondere Kraft, die sie zusammenhält!

i | Der Wert der Elementarladung ist seit 2019 exakt festgelegt und damit im Internationalen Einheitensystem (SI) Grundlage für die Festlegung anderer Einheiten.

i | Freie Elektronen gelten heute als punktförmig, während Protonen und Neutronen noch eine innere Struktur aus sogenannten Quarks besitzen.

i | Ladung eines Protons: $Q_p = e$
Ladung eines Elektrons: $Q_e = -e$
Es gibt noch weitere sogenannte Elementarteilchen, die eine Elementarladung besitzen, wie z. B.:
Ladung eines Positrons: $Q_{\text{Positron}} = e$
Ladung eines Myons: $Q_{\text{Myon}} = -e$

Ladungen als Vielfache der Elementarladung

Wir haben schon erfahren, dass alle Körper aus Atomen bestehen. Der Atomkern darin setzt sich aus positiv geladenen Protonen und ungeladenen Neutronen zusammen. Die Atomhülle um den Kern herum besteht dagegen aus negativ geladenen Elektronen (vgl. B1). Experimente zeigen, dass die Elektronen bzw. die Protonen und Neutronen bei allen chemischen Elementen stets die gleichen Eigenschaften haben. Deshalb besitzen auch alle Elektronen, egal woher sie stammen, die gleiche elektrische Ladung. Gleiches gilt für die Protonen. Da Atome stets dieselbe Zahl an Elektronen und Protonen besitzen und nach außen elektrisch neutral sind, muss die Ladung von Elektron und Proton denselben Betrag haben, bei Elektronen mit negativem und bei Protonen mit positivem Vorzeichen. Sie ist zugleich die kleinste Ladungsmenge, die sich frei nachweisen lässt. Der Betrag der Ladung eines Elektrons oder Protons wird daher Elementarladung e genannt.

Bevor man überhaupt etwas von Elektronen und Protonen wusste, wurde bereits eine Einheit zur Messung von Ladungen im Alltag eingeführt:

Das Formelzeichen der elektrischen Ladung ist Q . Die Ladung wird in der Einheit Coulomb (1 C) angegeben.

Die kleinste einzeln messbare Ladung ist die Elementarladung e . Sie hat den Wert: $e = 1,602176634 \cdot 10^{-19}$ C.

In einem stabilen Atom kann sich lediglich die Anzahl der Elektronen in der Hülle verändern, da die Protonen im Kern zu stark gebunden sind. Fehlen dem Atom Elektronen oder hat es zu viele, so bildet es ein positiv oder negativ geladenes Ion. Ebenso besitzen geladene Gegenstände mehr oder weniger Elektronen als Protonen - in unserem Alltag sind das jeweils extrem viele!

Ladungen auf Gegenständen treten nur als Vielfache N der Elementarladung e auf: $Q = -N \cdot e$ bzw. $Q = N \cdot e$

Damit ist die unvorstellbare Zahl von $6\,241\,509\,074\,460\,762\,608 \approx 6,2 \cdot 10^{18}$ Protonen nötig, um eine Ladung von 1 C zu erhalten.

Musteraufgabe

Die Erde hat eine Weltbevölkerung von rund 8 Milliarden Menschen. Berechne die Ladung einer Metallkugel, wenn 8 Milliarden Elektronen auf ihr sitzen.

Lösung

Da Elektronen negativ geladen sind, ist die Ladung negativ:
 $Q = -N \cdot e = -8 \cdot 10^9 \cdot 1,602176634 \cdot 10^{-19}$ C
 $\approx -1,3 \cdot 10^{-9}$ C.

Ladung und Stromstärke

In einer Batterie findet durch chemische Vorgänge eine Ladungstrennung statt, sodass am Minuspol ein Elektronenüberschuss und am Pluspol ein Elektronenmangel vorliegt. Bewegen sich die Elektronen in einem angeschlossenen Stromkreis vom Minus- zum Pluspol, dann fließt ein Strom, so als würden Autos ein Parkhaus verlassen und entlang einer Straße fahren. Um diesen „Autostrom“ zu messen, müssten wir nur zählen, wie viele Autos pro Stunde das Parkhaus verlassen oder eine bestimmte Straße passieren. In gleicher Weise könnten wir an einer Messstelle im Stromkreis die Elektronen zählen, die pro Sekunde hindurchgehen. Mit der Elementarladung e ließe sich dann die Ladung ΔQ bestimmen, die in einer Sekunde an dieser Stelle durch die Leitung hindurchfließt.

Die elektrische Stromstärke I ist ein Maß für die Ladung ΔQ , die pro Zeitspanne Δt durch einen Leitungsquerschnitt fließt.

Es gilt: $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{N \cdot e}{\Delta t}$. Einheit: $[I] = 1 \text{ A (Ampere)}$

Die Definitionsgleichung oben lässt sich umstellen. Dann gilt: $\Delta Q = I \cdot \Delta t$. Als Folge ergibt sich: $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ As}$. Damit sind weitere mögliche Einheiten für Ladungen: 1 As , 1 Amin , 1 mAh , 1 kAs .

i Erinnerung: Stromstärkemessgeräte werden immer direkt in die Stromleitung eingefügt (Fachsprache: in Reihe geschaltet). Im Modell entspricht das der Zählstelle an der Ausfahrt des Parkhauses.

i Vergleiche:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad 5 = \frac{10}{2}$$

Dann gilt:

$$I \cdot \Delta t = \Delta Q \quad 5 \cdot 2 = 10$$

und

$$\Delta t = \frac{\Delta Q}{I} \quad 2 = \frac{10}{5}$$

i Erinnerung:
M für Mega (10^6)
k für kilo (10^3)
m für milli (10^{-3})
 μ für mikro (10^{-6})

Musteraufgabe

Durch eine Glühlampe fließt ein Strom der Stärke $I = 0,15 \text{ A}$.

Berechne die Ladung ΔQ , die in einer Zeitspanne von $\Delta t = 1,0 \text{ min}$ durch die Lampe transportiert wird.

Lösung

Aus $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ folgt sofort: $\Delta Q = I \cdot \Delta t$.

Die Zeitspanne sollte in der Regel in Sekunden eingesetzt werden: $\Delta t = 1,0 \text{ min} = 60 \text{ s}$. Daraus ergibt sich nun:

$$\Delta Q = I \cdot \Delta t = 0,15 \text{ A} \cdot 1,0 \text{ min} = 0,15 \text{ A} \cdot 60 \text{ s} = 9,0 \text{ As} = 9,0 \text{ C}$$

Arbeitsaufträge

- Die Akku-Kapazität eines Smartphones wird mit 3000 mAh angegeben.
 - Berechne die Anzahl an Elektronen, die einer Ladung von 3000 mAh entsprechen.
 - Zugleich soll das Smartphone eine Sprechzeit von bis zu $17,5 \text{ h}$ und eine Stand-by-Zeit von bis zu 450 h ermöglichen. Berechne den Betrag der Stromstärke, die dabei im Smartphone jeweils durchschnittlich zu messen wäre.
 - Gib zum oben beschriebenen Parkhausmodell die Entsprechung der Elementarladung der Elektronen an. Diskutiere auch die Schwächen des Modells.
 - Wiederhole die Regeln für die Stromstärken bei einer Parallelschaltung. Beschreibe diese Situation mit dem Parkhausmodell und begründe so das Verhalten der Stromstärken.
 - Eine Hauptentladung eines Blitzes dauert nur etwa $0,030 \text{ ms}$. Die durchschnittliche Stromstärke beträgt dabei $20\,000 \text{ A}$. Berechne den Betrag der Ladung, die übertragen wird, und die Anzahl der Elektronen, die dabei fließen.
 - Statt Elektronen in einem Draht wandern bei der Ionenleitung einfach oder mehrfach geladene Ionen in Flüssigkeiten. Überprüfe, ob die Definition der Stromstärke auch diesen Fall erfasst oder anzupassen ist.
- weitere passende Aufgaben: S. 60, Nr. 1, 2, 3, 7

+ Hilfestellung auf Seite 186-188

4.2 Potentialdifferenz und Energie



B1 Förderband mit Wasserrutsche in einem Freizeitpark: Höhe h_1 am unteren Ende und Höhe h_2 am oberen Ende der Wasserrutsche.

i Der griechische Buchstabe Phi:
Großes Phi: Φ
Kleines Phi: φ

i Eine Potentialdifferenz, eine Teilspannung oder ein Spannungsabfall bezieht sich stets auf zwei verschiedene Punkte einer Schaltung – dort ist jeweils das Spannungsmessgerät anzuschließen.

Spannung als Potentialdifferenz

Erhöhen wir die Spannung an einer Glühlampe, so leuchtet die Lampe heller. Das zeigt an, dass dort eine größere elektrische Energie umgesetzt wird. Betrachten wir das im Wasserrutschenmodell mit Förderband und Rutsche (vgl. M2 und B1): Die potentielle Energie eines Boots am oberen Ende des Förderbandes gibt den Antrieb für seine weitere Bewegung. Soll das Boot schneller durch den ganzen Kreislauf rutschen, dann muss das Förderband das Boot auf eine größere Höhe bringen (ihm also größere potentielle Energie geben). Damit wird die Höhe h zur bestimmenden Größe. Die Energie, die in einem Abschnitt der Rutschbahn umgesetzt wird, hängt vom Höhenunterschied ab, der in diesem Abschnitt durchfahren wird. Entscheidend ist also nur $\Delta h = |h_2 - h_1|$.

Der Höhe h im Modell ordnen wir im Stromkreis eine neue physikalische Größe zu: Das elektrische Potential φ . Genauso wie ein Förderband die Höhe der Boote um Δh vergrößert, vergrößert eine Elektrizitätsquelle das elektrische Potential um $\Delta\varphi$. Weil die „Stärke“ der Elektrizitätsquelle durch ihre Spannung U beschrieben wird, messen wir auch das Potential in der Einheit Volt. Beim Hinunterrutschen gilt: Entscheidend für die Geschwindigkeit der Boote auf der Rutsche ist ihr Höhenunterschied $\Delta h = |h_2 - h_1|$. Dem entspricht im Stromkreis eine Potentialdifferenz $\Delta\varphi = |\varphi_2 - \varphi_1|$ als Antrieb für die Ladungsträger.

Sind in einem Stromkreis mehrere elektrische Geräte hintereinander geschaltet, so ist an jedem eine Potentialdifferenz nötig, um die Ladungsträger hindurch zu treiben („Teilspannung“ bzw. „Spannungsabfall“). Das entspricht im Wasserrutschenmodell einer Abfolge von Rutschen. Wie bei den Rutschen findet in jedem Elektrogerät eine Energieumwandlung statt.

Wasserrutschenmodell	Elektrischer Stromkreis
Boot	Ladungsträger
Höhe h einer Stelle (in m)	Potential φ an einer Stelle (in V)
Höhenunterschied Δh zwischen den Enden des Förderbandes (in m)	Potentialdifferenz $\Delta\varphi$ oder Spannung U zwischen den Polen des Netzgerätes (in V)
Höhenunterschied Δh zwischen den Enden der Rutsche (in m)	Potentialdifferenz $\Delta\varphi$ oder Spannungsabfall U an den Enden des Elektrogerätes (in V)

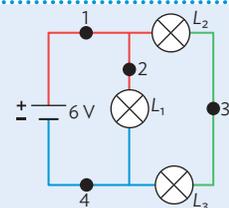
Musteraufgabe

Bestimme für die abgebildete Schaltung von gleichen Glühlampen die Teilspannungen zwischen den markierten Punkten. Die Farben stehen für unterschiedliche Potentialwerte.

Lösung

Modellvorstellung: Bei L_1 führt eine Rutsche über die volle Höhe, bei L_2 und L_3 geht es nacheinander über zwei Rutschen. Daraus ergibt sich:

$$U_{12} = 0 \text{ V}; U_{13} = U_{23} = U_{34} = 3 \text{ V}; U_{14} = U_{24} = 6 \text{ V}.$$



Energie im Stromkreis

Im Wasserrutschenmodell werden die Boote (Masse m) vom Förderband von der Höhe h_1 auf die Höhe h_2 gehoben und wandeln dann in der Rutsche die potentielle Energie $\Delta E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot \Delta h$ in kinetische Energie und innere Energie um. Dabei verringert sich die Höhe um Δh .

Ebenso bringt eine Elektrizitätsquelle die Ladung Q vom Potential φ_1 auf das Potential φ_2 . Die entsprechende potentielle Energie wird dann in einem elektrischen Gerät in Licht oder innere Energie umgewandelt. Dabei nimmt das Potential um $\Delta\varphi = U$ ab. Der Vergleich mit dem Wasserrutschenmodell legt daher für die umgewandelte potentielle Energie der Ladung Q nahe:
 $\Delta E_{\text{pot}} = Q \cdot U$.

Durchläuft eine Ladung Q in einem elektrischen Bauteil eine Potentialdifferenz $\Delta\varphi = U$, so wird im Bauteil eine Energie $\Delta E_{\text{el}} = Q \cdot U$ umgesetzt.

Ein Vergleich der Einheiten zeigt:
 $1 \text{ J} = 1 \text{ As} \cdot 1 \text{ V} = 1 \text{ VAs} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1 \text{ VC}$.

i Vergleiche:
 $\Delta E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot \Delta h$
 $\Delta E_{\text{pot}} = Q \cdot \Delta\varphi$
 Die elektrische Energie hängt nicht vom Ort ab, deshalb gibt es keine Entsprechung zur Erdbeschleunigung g .

i Damit lässt sich die Spannung auch mithilfe der potentiellen Energie der Ladung Q festlegen:

$$U = \frac{\Delta E_{\text{pot}}}{Q}$$

i Erinnerung aus der Mechanik:
 $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$

Musteraufgabe

Beschreibe die Energieumwandlungen für die Ladungsträger in einer Reihenschaltung von drei Glühlampen und vergleiche mit dem Wasserrutschenmodell. Gehe dabei auf die Teilspannungen und die Stromstärke ein.

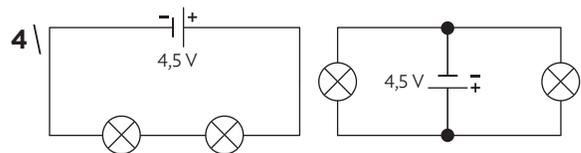
Lösung

In jeder Lampe wird ein Teil der potentiellen Energie der Ladungen in Licht und innere Energie umgewandelt. Dabei kommt es jeweils zu einem Spannungsabfall. Im Modell nimmt die potentielle Energie der Boote an jeder Rutsche ab und wird in innere Energie umgewandelt. Dabei nimmt jeweils die Höhe der Boote ab. Die Stromstärke ist in jeder Lampe gleich, so wie im Modell die Boote eine durchgehende Kette bilden, die sich vorwärts bewegt.

Arbeitsaufträge

- 1 \ Stelle in einer Tabelle das Wasserrutschenmodell dem elektrischen Stromkreis gegenüber. Beziehe dabei alle bisher angesprochenen Größen mit ein.
- 2 \ Zum Skifahren werden Schüler von einem Schlepplift auf einen Berg gebracht. Entwickle aus dem Abfahrtskifahren ein Modell für den elektrischen Stromkreis und erkläre darin die Begriffe Potential und Spannung.
- 3 \ Dein Handyakku liefert eine Spannung von 3,8 V und es ist eine Ladung von 3500 mAh gespeichert. Berechne die elektrische Energie, die im Handy umgesetzt werden kann.

↳ weitere passende Aufgaben: S. 60, Nr. 8, 11; S. 61, Nr. 12



- a) Stelle die beiden Schaltungen im Wasserrutschenmodell dar und diskutiere daran die Spannungen und Stromstärken im Stromkreis.
- b) Zeichne die Schaltungen ab und markiere jeweils farblich die Stellen mit gleichen Potentialwerten. Gib diese Potentialwerte jeweils an.
- c) Baue zu der rechten Schaltung ein Stäbchen- oder Klötzchenmodell wie in M3 (S. 45).

✚ Hilfestellung auf Seite 186-188



5

Elektrische Leistung

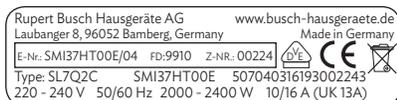
Versuche und Materialien zu Kapitel 5.1

M1 Typenschilder

Unser Alltag ist voll von elektrischen Geräten, ohne die wir uns unser Leben kaum mehr vorstellen können – vom batteriebetriebenen Wecker, über Lampen, Handy und Computer bis hin zu Kühlschrank, Waschmaschine und Elektroherd. Durch eine EU-Richtlinie ist vorgeschrieben, dass auf einem Gerät folgende Angaben deutlich lesbar und dauerhaft angebracht sein müssen:

- Firmenname und vollständige Anschrift des Herstellers
- Bezeichnung des Gerätes
- CE-Kennzeichnung
- Baureihen- und Typbezeichnung
- gegebenenfalls Seriennummer
- Baujahr
- alle für die Sicherheit bei Verwendung wesentlichen Hinweise

Das geschieht in der Regel durch ein sogenanntes Typenschild – hier ein mögliches Beispiel für eine Spülmaschine:



Arbeitsauftrag

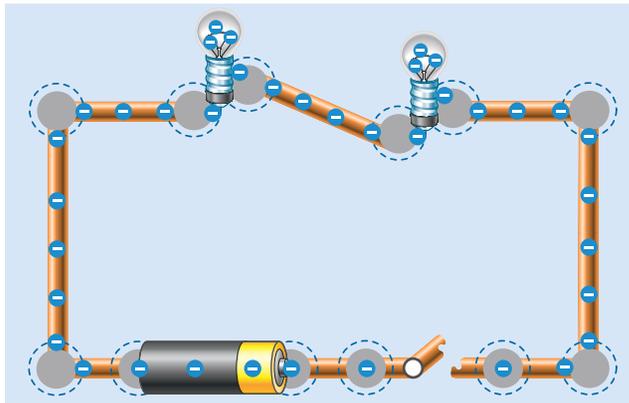
- Halte tabellarisch die Anzahl der elektrischen Geräte in jedem Zimmer zu Hause fest. Erstelle eine Liste der verschiedenen Geräte – auch batteriebetriebene und nicht angeschlossene! Beschreibe die Bedeutung der Elektrizität für deinen Alltag.
- Recherchiere die Bedeutung der CE-Kennzeichnung im Internet. Gib auch die Bedeutung der Kennnummer an.
- Versuche die Angaben für das abgebildete Typenschild soweit wie möglich zu deuten. Entscheide, ob es den Vorgaben entspricht. Recherchiere im Internet, was man unter einem „Piktogramm“ versteht und finde dann die Bedeutung der auf dem Typenschild abgebildeten Piktogramme heraus.
- Fotografiere mehrere Typenschilder. Gib die Information an, aus der sich der Energiebedarf berechnen lässt.

M2 Vergleich elektrischer Leistung

In einer Glühlampe wird kontinuierlich elektrische Energie in Licht und Wärme umgewandelt. Die eingesetzte elektrische Energie lässt sich dabei nur angeben, wenn wir einen bestimmten Zeitraum betrachten, z.B. eine Minute. Je mehr identische Lampen in einem Stromkreis gleich hell leuchten, umso mehr elektrische Energie wird in derselben Zeiteinheit umgewandelt. Dabei ist zu untersuchen, wie die pro Zeiteinheit umgewandelte Energie von der Spannung und der Stromstärke im Stromkreis abhängt.

Arbeitsauftrag

- Es stehen drei identische Glühlampen zur Verfügung. Entwirf zwei Stromkreise, sodass einmal die einfache und einmal die doppelte elektrische Energie pro Zeiteinheit umgewandelt wird. Halte sie jeweils in einem Schaltplan fest. Gehe auf verschiedene Möglichkeiten ein!



! Achte darauf, dass die Spannung der Elektrizitätsquelle stets unter 12 V bleibt!

- b) Ergänze die Schaltpläne in sinnvoller Weise um Stromstärke- und Spannungsmessgeräte.
- c) Führe die Experimente durch und **v** halte die Abhängigkeit der pro Zeiteinheit umgewandelten elektrischen Energie von der Stromstärke bzw. Spannung im Stromkreis fest. Alternativ kannst du auch eine Simulationssoftware verwenden.



MC 67048-11

Versuche und Materialien zu Kapitel 5.2

M3 Wirkungsgrad von Lampen



Glühlampen sind heute weitgehend durch Kompaktleuchtstofflampen (KLL) oder insbesondere durch LED-Lampen abgelöst worden. Ein Grund dafür ist die Frage, wie viel der eingesetzten elektrischen Energie am Ende auch für die Beleuchtung genutzt wird und wie viel z. B. in Form von Abwärme ungenutzt bleibt. Auf einer Lampenverpackung steht die benötigte elektrische Leistung (z. B. 6 W). Ebenso muss angegeben werden, wie viel Licht eine Lampe pro Zeiteinheit abgibt – das ist der Lichtstrom, gemessen in der Einheit Lumen (z. B. 470 lm). Zum Vergleich ist außerdem zu nennen, welche elektrische Leistung für eine Glühlampe erforderlich wäre, um denselben Lichtstrom zu erzielen (z. B. 40 W). Ein Beispiel vergleichbarer Lampen gibt folgende Tabelle:

	Glühlampe	KLL	LED
el. Leistung	60 W	12 W	6,5 W
Lichtstrom	710 lm	741 lm	806 lm
Lichtleistung	2,0 W	2,1 W	2,3 W

Arbeitsauftrag

- a) Um Lampen zu vergleichen, wird oft die Lichtausbeute angegeben. Dazu teilt man den Lichtstrom durch die elektrische Leistung. Berechne die Lichtausbeute für die Beispiele.
- b) Um die genutzte Leistung mit der aufgewendeten Leistung zu vergleichen, wollen wir einen Quotienten bilden, dessen Wert zwischen 0 % und 100 % liegt. Formuliere diesen Quotienten und berechne seine Werte für die Beispiele.
- c) Eine Verringerung der benötigten elektrischen Leistung bei gleicher Helligkeit der Lampe schont die natürlichen Ressourcen. Bewerte die Umweltverträglichkeit der drei Lampentypen aus den Beispielen.
- d) Recherchiere im Internet den Lampentyp, der das giftige Schwermetall Quecksilber enthält. Stelle den Einfluss dieses Aspekts auf die Bewertung der Umweltverträglichkeit der Lampen dar und gib an, ob sich dadurch die Bewertung aus c) ändert.



B1 Unterschiedlicher Energiebedarf in derselben Zeiteinheit.

i Erinnerung: Einheit Watt
 $1\text{W} = 1\frac{\text{J}}{\text{s}} = 1\frac{\text{Nm}}{\text{s}}$

i Häufig sind auch die Einheiten:
 kW: Kilowatt
 MW: Megawatt
 GW: Gigawatt

Elektrische Leistung

Elektrische Geräte wandeln elektrische Energie, wie sie von einem Kraftwerk, einer Solaranlage oder einer Batterie zur Verfügung gestellt wird, in Licht, Wärme oder Bewegung um. Je nach Art des Gerätes, z. B. Tablet oder Wasserkocher, wird aber für eine bestimmte Betriebszeit, z. B. von einer Minute, eine ganz unterschiedliche Energiemenge benötigt (vgl. B1). Der Bedarf an elektrischer Energie pro Zeiteinheit ist daher ein gutes Maß, um elektrische Geräte miteinander zu vergleichen oder ihre Betriebskosten zu berechnen.

Wie die Leistung in der Mechanik lässt sich auch die elektrische Leistung festlegen als die Arbeit, die pro Zeiteinheit verrichtet wird, oder als die Energiemenge, die pro Zeiteinheit umgesetzt wird.

Die elektrische Leistung P_{el} ist die in der Zeit Δt an einem Bauteil erfolgte Energieänderung ΔE_{el} .

elektrische Leistung $P_{el} = \frac{\text{Energieänderung}}{\text{dafür benötigte Zeitspanne}}$

In Formelzeichen: $P_{el} = \frac{\Delta E_{el}}{\Delta t}$.

Die Einheit der elektrischen Leistung ist wie in der Mechanik 1 W (Watt).

Elektrische Energie

Aus dem vorherigen Kapitel wissen wir bereits: Wenn eine Ladung Q in einem Bauteil einen Spannungsabfall U durchläuft, so wird darin eine elektrische Energie $\Delta E_{el} = U \cdot Q$ umgesetzt. Außerdem erinnern wir uns noch daran, dass bei einer konstanten Stromstärke I pro Zeiteinheit Δt eine Ladung $Q = I \cdot \Delta t$ durch den Leiter fließt. Damit folgt für die umgesetzte elektrische Energie: $\Delta E_{el} = U \cdot I \cdot \Delta t$.

Für die elektrische Leistung gilt dann: $P_{el} = \frac{\Delta E_{el}}{\Delta t} = \frac{U \cdot I \cdot \Delta t}{\Delta t} = U \cdot I$.

Liegt an einem Bauteil eine konstante Spannung U an, sodass ein Strom konstanter Stärke I fließt, so wird im Bauteil eine elektrische Leistung P_{el} umgesetzt. Diese lässt sich als Produkt aus der Spannung und der Stromstärke berechnen: $P_{el} = U \cdot I$. Für die in der Zeiteinheit Δt umgesetzte elektrische Energie ΔE_{el} gilt: $\Delta E_{el} = U \cdot I \cdot \Delta t$

Für die Einheiten der elektrischen Größen folgt damit sofort:

$$\text{Leistung: } 1\text{W} = 1\text{V} \cdot 1\text{A} = 1\text{VA} = 1\frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$\text{Energie: } 1\text{J} = 1\text{V} \cdot 1\text{A} \cdot 1\text{s} = 1\text{VAs} = 1\text{Ws}$$

Statt der Einheit Wattsekunde verwendet man häufig auch die Einheit Kilowattstunde: $1\text{kWh} = 1\text{kW} \cdot 1\text{h} = 1000\text{W} \cdot 3600\text{s} = 3\,600\,000\text{Ws}$
 $= 3\,600\,000\text{J} = 3600\text{kJ} = 3,6\text{MJ}$

Elektrische Leistung in der Praxis

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über typische Leistungswerte verschiedener elektrisch betriebener Geräte.

Elektrogerät	Leistung	Elektrogerät	Leistung
Tablet	4 W	Wasserkocher	2,2 kW
Kompaktleuchtstofflampe	20 W	Waschmaschine	2,2 kW
LED-Lampe (gleiche Lichtstärke)	13 W	Elektroauto	190 kW
Glühlampe (gleiche Lichtstärke)	100 W	ICE	bis zu 9,9 MW

Auch bei Elektroautos spielt die Leistung eine große Rolle. Für die Reichweite eines solchen Autos ist einerseits die in der Batterie gespeicherte Energie und andererseits die für eine bestimmte zurückgelegte Strecke benötigte Energie (umgangssprachlich „Verbrauch“) entscheidend. Kann beispielsweise in der Batterie eine Energie von 45 kWh gespeichert werden und beträgt die vom Elektroauto benötigte Energie 15 kWh pro 100 km, so beträgt die theoretische Reichweite des Autos 300 km.

Um die Batterie eines Elektroautos zu laden, kann man das Auto beispielsweise an eine herkömmliche Steckdose anschließen. Um die Ladezeit zu verkürzen, verwendet man in der Regel eine sogenannte „Wallbox“, die eine größere elektrische Leistung besitzt.

i Die Reichweite ist in der Praxis meist geringer, weil beispielsweise durch häufiges Anfahren im Stadtverkehr mehr Energie benötigt wird.

Musteraufgabe

Eine Schreibtischlampe trägt die Aufschrift 9,5 W. Berechne die Stromstärke, die bei Betrieb durch die Zuleitung fließt, und die Zeitspanne, in der die Lampe betrieben werden kann, bis eine elektrische Energie von 1,0 kWh umgesetzt wurde.

Lösung

Es gilt: $P_{el} = U \cdot I$. Eine Schreibtischlampe wird bei einer Netzspannung von $U = 230 \text{ V}$ betrieben. Daraus folgt:

$$I = \frac{P_{el}}{U} = \frac{9,5 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 0,041 \text{ A} = 41 \text{ mA}$$

Außerdem gilt: $\Delta E_{el} = U \cdot I \cdot \Delta t = P_{el} \cdot \Delta t$. Daraus folgt für die

$$\text{Betriebsdauer: } \Delta t = \frac{\Delta E_{el}}{P_{el}} = \frac{1,0 \cdot 10^3 \text{ Wh}}{9,5 \text{ W}} = 105 \text{ h} = \frac{110 \text{ h}}{24 \frac{\text{h}}{\text{d}}} = 4,4 \text{ d}$$

Arbeitsaufträge

- 1 | Elektroherde sind an einer eigenen 16 A-Sicherung angeschlossen. Berechne die elektrische Leistung, die maximal zum Kochen zur Verfügung steht. Gehe vereinfacht von einer konstanten Spannung und einer konstanten Stromstärke aus.
- 2 | Das Ladegerät eines Handys trägt die Aufschrift 5,0 V und 2,0 A, während das Handy einen Akku mit 3000 mAh besitzt.
 - a) Berechne die maximale Leistung, mit der das Handy geladen werden kann.
 - b) Berechne die Ladezeit für den Akku und die im Akku gespeicherte elektrische Energie.
- 3 | Ein Wasserkocher (siehe Tabelle) bringt in 3,8 Minuten eine bestimmte Wassermenge zum Kochen. Berechne die mindestens aufgewendete Energie.
- 4 | a) Berechne die theoretische Ladezeit des oben genannten Elektroautos, wenn man es...
 1. an eine Haushaltssteckdose anschließt und die Stromstärke 10 A beträgt.
 2. mit einer 11 kW-Wallbox auflädt.
 b) Recherchiere nach Gründen dafür, dass das Aufladen in der Realität länger dauert als berechnet.
- 5 | Untersuche und vergleiche verschiedene Arten von Lampen (siehe auch obige Tabelle). Sammle zuerst Kriterien, die dabei eine Rolle spielen.

↳ weitere passende Aufgaben:
S. 60, Nr. 4; S. 61, Nr. 13

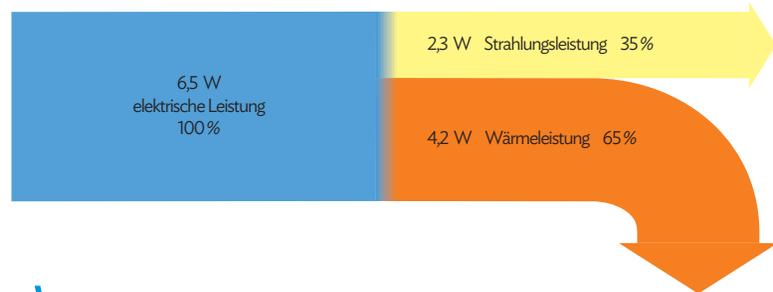
5.2 Wirkungsgrad



B1 | Glühlampe, Kompaktleuchtstofflampe und LED-Lampe.

Aufgewendete und genutzte Energie

Mit einer Lichtquelle soll zur Beleuchtung Strahlungsleistung bereitgestellt werden. Gleichzeitig geht jedoch ein erheblicher Teil der eingesetzten elektrischen Leistung in Form von Wärme für die Nutzung verloren. Dieses Problem zeigt sich nicht nur bei Lampen, sondern bei allen Formen von elektrischen oder mechanischen Geräten und Maschinen. Da ungenutzte Abwärme entsteht, in Drehlagern Reibung auftritt oder ein Luftwiderstand überwunden werden muss, wird stets nur ein Bruchteil der aufgewendeten Energie oder Leistung in der jeweils gewünschten Form tatsächlich genutzt. Besonders anschaulich wird das an einem Flussdiagramm für die Energie bzw. Leistung, z. B. wie in B2 für eine LED-Lampe.



B2 | Flussdiagramm einer LED-Lampe.

Wirkungsgrad

Wie das Diagramm in B2 zeigt, sind die absoluten Werte (z. B. 2,3 W von 6,5 W) nicht so aussagekräftig wie die prozentualen Werte (z. B. 35 %). Dabei interessiert in der Regel vor allem die genutzte Energie bzw. Leistung.

Der Wirkungsgrad η ist das Verhältnis von genutzter Energie (bzw. Leistung) zur aufgewendeten Energie (bzw. Leistung).

$$\text{In Kurzform: } \eta = \frac{\Delta E_{\text{nutz}}}{\Delta E_{\text{auf}}} \text{ bzw. } \eta = \frac{P_{\text{nutz}}}{P_{\text{auf}}}$$

Der Wirkungsgrad hat keine Einheit, da wir das Verhältnis ein und derselben Größe bilden – die Einheiten kürzen sich also weg. Der Wirkungsgrad kann Werte zwischen 0 und 1 bzw. 0 % und 100 % annehmen, da niemals mehr Energie genutzt werden kann, als vorher zur Verfügung gestellt wurde. Bei allen Energieumwandlungen, die in der Natur und in der Technik vorkommen, ist der Wirkungsgrad daher stets kleiner als Eins.

Kraftwerke	Nennleistung	Wirkungsgrad
Stein- / Braunkohle	bis 1,1 GW	44 % / 39 %
Kernenergie	bis 1,4 GW	33 %
Wasser	bis 148 MW	90 %
Wind(park)	bis 605 MW	50 %
Photovoltaik (maximal)	bis 84 MW	15 %

i η – spricht „eta“ – ist ein griechischer Buchstabe.

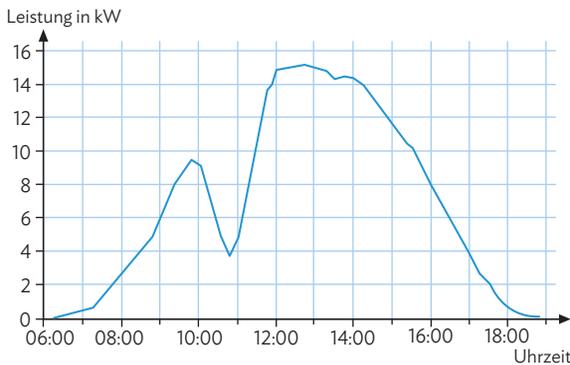
i Ein Perpetuum mobile, d. h. eine Maschine, die ständig mindestens so viel Energie erzeugt, wie zu ihrem Betrieb erforderlich ist, ist physikalisch unmöglich.

i Die Nennleistung eines Kraftwerks ist die maximale abgegebene Leistung des Kraftwerks im Dauerbetrieb.

Leistung und Wirkungsgrad beim Stromnetz

Wird ein elektrisches Gerät am Stromnetz betrieben, so muss gleichzeitig die benötigte Leistung von einem geeigneten Kraftwerk zur Verfügung gestellt werden. In Deutschland stehen so maximal rund 215 GW zur Verfügung, in Bayern rund 30 GW. Dabei spielt der Wirkungsgrad bei der Erzeugung elektrischer Energie eine zentrale Rolle. Die Tabelle auf S. 54 gibt einen Überblick über entsprechende maximale Leistungen und Wirkungsgrade. Weil der Bedarf an elektrischer Leistung mit der Zeit stark schwanken kann, ist es eine Herausforderung für die Betreiber, die Spannung stabil zu halten. Dabei muss berücksichtigt werden, dass auch die eingespeiste Leistung nicht konstant ist (vgl. B3).

i Die Zahlen stammen von der Bundesnetzagentur. Diese und weitere Daten zur Energieerzeugung in Deutschland findet man unter **MC** 67049-23



B3 Leistung einer privaten Photovoltaikanlage.

i Photovoltaik: Umwandlung der Energie des Sonnenlichts in elektrische Energie mithilfe von Solarzellen.

Musteraufgabe

Um einen Liter Wasser zum Kochen zu bringen, benötigen wir eine Energie von 335 kJ. Berechne für einen Wasserkocher ($P_{el} = 2,20 \text{ kW}$; $\eta = 88,7\%$) die dabei benötigte elektrische Energie und Zeit.

Lösung

$$\eta = \frac{\Delta E_{\text{nutz}}}{\Delta E_{\text{auf}}} \Rightarrow \Delta E_{\text{auf}} = \frac{\Delta E_{\text{nutz}}}{\eta} = \frac{335 \text{ kJ}}{0,887} = 378 \text{ kJ}$$

$$\Delta E_{\text{auf}} = P_{el} \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta E_{\text{auf}}}{P_{el}} = \frac{378 \cdot 10^3 \text{ J}}{2,20 \cdot 10^3 \text{ W}} = 172 \text{ s}$$

Arbeitsaufträge

- 1 \ Eine Halogenlampe trägt die Aufschrift 42 W und besitzt einen Wirkungsgrad von 12%. Berechne die verfügbare Strahlungsleistung.
- 2 \ Ein Elektromotor ($\eta = 85\%$) soll einen Aufzug (270 kg) mit 3 Schülern (130 kg) vom Erdgeschoss um 8 m in den 2. Stock heben.
 - a) Berechne die vom Motor aufzubringende Hubarbeit und die benötigte elektrische Energie für das Heben der Schüler.
 - b) Recherchiere den Aufbau eines Aufzugs und nenne Bestandteile, die den Wirkungsgrad erhöhen.
- 3 \ a) Erkläre den grundsätzlichen Verlauf der Kurve in B3. Recherchiere den Grund des Leistungseinbruchs an dem wolkenlosen Tag.
 - b) Schätze den Betrag der elektrischen Energie ab, den die Anlage an diesem Tag erzeugt hat.
 - c) Die Anlage hat eine Fläche von 98 m^2 . Schätze den Wirkungsgrad der Anlage ab, wenn die Sonne zur Mittagszeit maximal $750 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ einstrahlt.
 - d) Beurteile die Herausforderungen für Stromversorger bei der Einspeisung aus Photovoltaikanlagen statt z. B. aus Kohlekraftwerken.

↳ weitere passende Aufgaben:
S. 60, Nr. 5, 6, 9, 10; S. 61, Nr. 14

+ Hilfestellung auf Seite 186-188



V1 Elektrische Leistung bei Widerständen

Wenn durch ein elektrisches Gerät bei der anliegenden Spannung U ein Strom der Stärke I fließt, dann lässt sich die elektrische Leistung $P_{\text{el}} = U \cdot I_{\text{el}}$ berechnen.

Ist der elektrische Widerstand R des Geräts bekannt, dann reicht es aus, eine der beiden Größen U oder I zu kennen.

Aus $U = R \cdot I$ folgt: $P_{\text{el}} = U \cdot I = R \cdot I \cdot I = R \cdot I^2$

Aus $I = \frac{U}{R}$ folgt: $P_{\text{el}} = U \cdot I = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$

Oder kurz: $P_{\text{el}} = R \cdot I^2$

$P_{\text{el}} = \frac{U^2}{R}$

Mithilfe der neuen Formel lässt sich nun die Leistung an den Widerständen einer elektrischen Schaltung leicht bestimmen: Bei bekanntem Widerstand muss nun lediglich die Spannung an den jeweiligen Widerständen gemessen werden statt der Spannung und der Stromstärke.

Arbeitsauftrag

- Baue eine Schaltung mit drei Widerständen **V** auf und miss die Spannung und/oder die Stromstärke an den einzelnen Widerständen. Zeichne ein zugehöriges Schaltbild. Zeichne auch die benötigten Messgeräte ein.
- Bestimme die elektrische Leistung der einzelnen Widerstände sowie die Leistung, die im gesamten Stromkreis aufzuwenden ist.
- Variiere die Schaltung der Widerstände (Parallelenschaltung, Reihenschaltung, beides kombiniert) und bestimme jeweils die elektrischen Leistungen wie in Aufgabe b). Zeige, dass für jede Schaltung mit drei Widerständen gilt: $P_{\text{el,ges}} = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3}$
Erkläre die Ursache für den Zusammenhang.

Methode

Einsatz von Messgeräten



Stromstärkemessgeräte werden direkt in die Stromleitung eingefügt – der Strom fließt durch sie hindurch. Daher besteht auch die Gefahr, dass die Sicherung durchbrennt!



Spannungsmessgeräte werden vor und nach dem Bauteil angeschlossen – sie messen den Potentialunterschied zwischen zwei Punkten. Dazu ist nur ein winziger Strom nötig.

V2 Schiebewiderstand oder Potentiometer

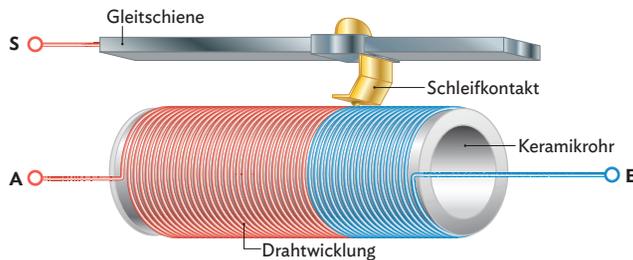
Funktionsweise eines Potentiometers

In unserem Alltag sind wir es gewohnt, Helligkeit, Lautstärke, Temperatur, Drehzahl oder Saugleistung an elektrischen Geräten unserem Wunsch entsprechend einzustellen. Das geschieht oft durch Knöpfe, aber auch durch Schiebe- oder Drehregler. Insbesondere bei Lichtschaltern hat sich dafür die Bezeichnung Dimmer eingebürgert. Im Folgenden werden wir die einfachste Form eines Dimmers aus wenigen Widerständen auf seine Leistungsaufnahme, seinen Wirkungsgrad und seine Umweltverträglichkeit untersuchen.

Elektrische Größen lassen sich sehr einfach über einen veränderlichen Widerstand regeln.



Den Aufbau eines solchen Schiebewiderstands oder Potentiometers zeigt die folgende Abbildung:



Ein Draht mit den Enden A und E ist auf ein Keramikrohr gewickelt. Diese Anordnung besitzt abhängig vom Draht einen festen Widerstandswert. Ein weiterer Anschluss S ist mit einer Gleitschiene verbunden, auf der sich ein Schleifkontakt über den Draht bewegen kann. Der Draht ist in diesem Bereich nicht isoliert, sodass eine leitfähige Verbindung entsteht. Infolgedessen ist der Widerstandswert des Drahtes zwischen S und A (rot) bzw. S und E (blau) jeweils von der Position des Schleifkontakts abhängig. Der Gleiter auf der Gleitschiene wird zum Schieberegler. Rechts ist das Schaltsymbol des Potentiometers abgebildet.

Zur Helligkeitssteuerung einer Lampe dient die abgebildete Schaltung. Je nach Position des Schleifkontakts (Pfeilspitze) liegt an der Glühlampe die volle Spannung (Schleifkontakt ganz oben) bzw. gar keine Spannung (Schleifkontakt ganz unten) oder eine entsprechende Teilspannung an.

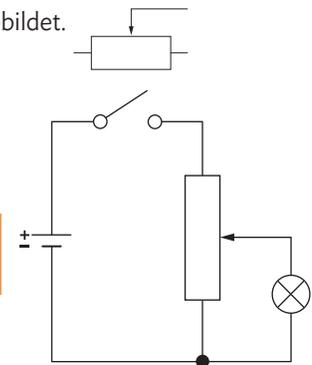
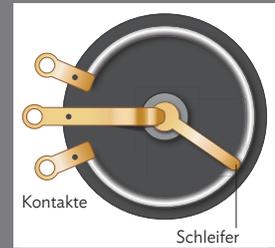
! Verwende zum Experimentieren maximal eine Spannung von 25 V!
Nimm die Schaltung erst in Betrieb, wenn es die Lehrkraft erlaubt hat!

Leistungsbilanz

Ähnlich wie im Flussdiagramm auf S. 54 wird bei der Leistungsbilanz zusammengestellt, wie groß die aufgewendete und die genutzte Leistung an der Schaltung sind. Dazu müssen alle Bauteile einzeln betrachtet werden, im Fall des Potentiometers auch noch die beiden Teile getrennt. Im Stromkreis sind für die einzelnen Bauteile jeweils Spannungsabfall und Stromstärke zu bestimmen (bzw. bei bekanntem Widerstand nur die Spannung, siehe V_1), um daraus auf die zugehörigen elektrischen Leistungen zu schließen. Die aufgewendete Gesamtleistung ergibt sich aus der Spannung der Elektrizitätsquelle und der Gesamtstromstärke durch die Schaltung.

Mit der Leistungsbilanz lässt sich der Wirkungsgrad des Dimmers untersuchen. Dazu ist zu vergleichen, welche elektrische Leistung an der Lampe umgesetzt wird und welche elektrische Leistung im gesamten Stromkreis aufzuwenden ist. Der Wirkungsgrad gibt Auskunft über die Energieeffizienz des Dimmers.

i Für die Verwendung als Drehknopf wird die Anordnung entsprechend kreisförmig gebogen.



Arbeitsauftrag

- Baue mit einer Glühlampe eine Potentiometerschaltung auf.
- Entscheide sorgfältig, wo auf alle Fälle Spannungsabfall und Stromstärke zu messen sind, um die elektrische Leistung berechnen zu können.
- Baue die Messgeräte ein und führe die Messungen durch.
- Erstelle die Leistungsbilanz und berechne den Wirkungsgrad der Dimmerschaltung.
- Beurteile für deine Eltern die Umweltverträglichkeit dieser Form einer Dimmerschaltung.

M1 „Energiefresser“ Wäschetrockner?

Bei einem Wäschetrockner wird elektrische Energie in innere Energie und Rotationsenergie umgewandelt. Man unterscheidet folgende Bauweisen:

- Bei einem Ablufttrockner wird die Wäsche in der Trommel von warmer Luft durchströmt, die der Wäsche Feuchtigkeit entzieht und über einen Abluftschlauch ins Freie abgeleitet wird. Ein Ablufttrockner benötigt für einen Trocknungsprozess zwischen 3,3 und 3,9 kWh elektrische Energie.
- Ein Kondentrockner ermöglicht das Trocknen der Wäsche, ohne dass ein Abluftschlauch nötig wird. Kalte Außenluft wird angesaugt und im Gerät erwärmt. Die während der Trocknung entstehende feuchte Luft wird im sogenannten Kondensator abgekühlt. Die Feuchtigkeit gelangt in den Kondenswasserbehälter, der nach der Trocknung geleert werden muss. Ein Kondentrockner benötigt pro Trocknungsvorgang zwischen 3,5 und 4,4 kWh elektrische Energie.
- Bei einem Wärmepumpentrockner wird die entstehende warme Abluft mithilfe des in der eingebauten Wärmepumpe enthaltenen Kühlmittels abgekühlt und entfeuchtet. Anschließend wird die Luft wieder aufgewärmt und erneut in den Trockenprozess eingebracht. Ein Wärmepumpentrockner benötigt pro Trocknungsvorgang zwischen 1,5 und 2,5 kWh elektrische Energie.



Arbeitsauftrag

- a) Schätze bei den genannten Wäschetrocknertypen jeweils den jährlichen Strombedarf ab. Berechne die entstehenden Kosten, wenn für eine kWh 30 ct berechnet werden.
- b) Recherchiere verschiedene Wäschetrockner und vergleiche sie hinsichtlich Art, Preis, angegebenen jährlichen Strombedarf und evtl. weiteren Kriterien wie z. B. Fassungsvermögen, Größe, Aussehen...
- c) Schreibe eine Bewertung des von dir favorisierten Wäschetrockners (siehe [Methode](#)). Beziehe auch den Aspekt der Umweltverträglichkeit mit ein.
- d) Vergleiche deine Bewertung mit der deiner Nachbarin/deines Nachbarn und überlege dir die Gründe für die (eventuell) vorhandenen Unterschiede.

Methode

„Beurteilen“ und „Bewerten“

Beurteilen

1. Bestimmung eines Sachverhalts, z. B. des Ergebnisses eines Experiments
2. Festlegung von Kriterien bzw. Maßstäben
3. Urteil finden

Das Ziel einer Beurteilung ist eine fundierte und wissenschaftliche Aussage, bzw. ein Urteil über einen Sachverhalt, dem bestimmte Kriterien, bzw. Maßstäbe zugrunde liegen. Eine Beurteilung sollte objektiv und unabhängig überprüfbar sein. Eine Überprüfung sollte zum gleichen Ergebnis führen.

Bewerten

1. Bestimmung eines Sachverhalts, z. B. des Ergebnisses eines Experiments
2. Festlegung von Kriterien bzw. Maßstäben
3. Überlegung, welche Kriterien/Maßstäbe für die eigene Entscheidung von besonderer Bedeutung sind, inklusive Begründung
4. Wertentscheidung

Eine Bewertung ist eine wissenschaftlich fundierte Aussage, der eine persönliche Meinung bzw. eine eigene Position zugrunde liegt. Sie sollte immer begründet sein und auf wissenschaftlichen und möglichst umfassenden Daten beruhen.

M2 Elektrische Energie in Stromkabeln



Eine Kabeltrommel ist eine Kombination aus Steckerleiste und Verlängerungskabel, bei der das Kabel einfach aufgerollt wird. Jedoch ist es gefährlich, wenn das Kabel im Betrieb auf der Trommel aufgewickelt bleibt: Schließen wir Elektrogeräte mit einer hohen elektrischen Leistung an, besitzt der Strom im Kabel eine hohe Stromstärke. Infolge des Ohmschen Widerstands des Kabels kommt es zu einer Umwandlung von elektrischer Energie in Wärme, die im aufgewickelten Zustand kaum an die Umgebung abgegeben werden kann: Brandgefahr!

Arbeitsauftrag

Das 20 m lange Kabel einer Kabeltrommel ist über eine 16 A-Sicherung abgesichert. Jeder der beiden stromdurchflossenen Kupferdrähte im Kabel besitzt einen elektrischen Widerstand von $0,19 \Omega$.

- Berechne die Spannung, die maximal am Draht abfällt, und die elektrische Leistung, die maximal im Elektrokabel aufgenommen wird.
- Zum Vergleich: Eine Glühbirne von 40 W gibt die elektrische Energie weitgehend als Wärme ab. Sie ist dabei sehr heiß. Berechne die elektrische Stromstärke im Kabel, bei der eine Leistung von 40 W umgesetzt wird.
- Wenn das Kabel vollständig ausgewickelt ist, stellt es einem daran angeschlossenen Gerät eine Leistung von 90 W zur Verfügung. Schließe daraus auf den Wirkungsgrad des Kabels.

M3 Umweltverträglichkeit von Lampen

„Kompaktleuchtstofflampen werben mit einer Lebensdauer von bis zu 25 000 Stunden. Damit ist gemeint, dass nach dieser Zeit die Hälfte der getesteten Lampen noch leuchtet. [...] Insgesamt blieben sehr viele Kompaktleuchtstofflampen hinter den Herstellerangaben zurück: Oft leuchteten sie weniger als 3 000 Stunden mit mehr als 80 Prozent Leuchtkraft – das [festgelegte] Kriterium für die Nutzlebensdauer. [...] Besondere Schwachstelle vieler Kompaktleuchtstofflampen ist die geringe Schaltfestigkeit – häufiges An- und Ausschalten verkürzt die Lebensdauer. Dies ist vor allem bei preisgünstigen Modellen der Fall. Hochwertige Lampen sind dagegen sehr schaltfest: Sie überstehen bis zu 200 000 Schaltvorgänge. Auch bei LEDs lohnt sich der Griff zu hochwertiger Ware. Langzeittests ermittelten eine hohe Lebensdauer und gute Lichtausbeute. LEDs sind zudem unbegrenzt schaltfest und können damit beliebig oft an- und ausgeschaltet werden. Die Lebensdauer bezeichnet bei LEDs die Zeitspanne, bis die Helligkeit um 20 bis 30 Prozent abnimmt.“

© Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2016

Arbeitsauftrag

- Stelle diejenigen Aspekte aus dem Text zusammen, die die Umweltverträglichkeit von Lampen beeinflussen.
- Gib zu jedem Aspekt eine Gruppe von Anwendern an, für die der Aspekt besonders wichtig ist.
- Formuliere Kaufempfehlungen für die einzelnen Anwendergruppen. Gehe dabei davon aus, dass sie sich gut in der Thematik auskennen.
- Gehe vor wie in c). Nimm diesmal allerdings an, dass sich die Gruppen nicht mit der Thematik befasst haben.
- Bewerte die genannten Aspekte hinsichtlich der Umweltverträglichkeit (siehe [Methode](#)).

Basisaufgaben

- 1 | Bei einem elektrischen Leiter fließen pro Minute $2,5 \cdot 10^{15}$ Elektronen durch den Leiterquerschnitt.

Berechne die Stromstärke I .

- 2 | In einer klassischen Armbanduhr fließt ein Strom der Stärke $1 \mu\text{A}$.

Berechne die Zahl der Elektronen, die pro Sekunde durch den Leiterquerschnitt fließt.

- 3 | Ergänze die fehlenden Größen in folgender Tabelle:

I	0,25 A	200 mA	■	0,10 A
ΔQ	■	0,05 C	40 Ah	2,5 mC
Δt	10 min	■	1,2 h	■

- 4 | Ordne verschiedene Elektrogeräte im Haushalt (z. B. Toaster, Mixer, Fön) nach der auf dem jeweiligen Typenschild angegebenen Leistung. Überlege dir die Ursachen für die unterschiedlichen Leistungen.

- 5 | Ein Kran besitzt einen Elektromotor mit einer Leistung von $8,0 \text{ kW}$. Sein Wirkungsgrad beträgt $\eta = 80 \%$.

Berechne die Zeitdauer, die der Kran mindestens benötigen würde, um einen leeren Container der Masse $m = 200 \text{ kg}$ eine Höhe von 10 m hochzuziehen.

- 6 | Erkläre, dass der Wirkungsgrad η bei einer Energieübertragung stets kleiner als 1 ist.

- 7 | Ein Rauchmelder hat eine Batterie, die mit 1600 mAh gekennzeichnet ist. Im Stand-By-Modus liegt seine Stromaufnahme bei rund $8 \mu\text{A}$. Berechne die Zeitspanne, die der Rauchmelder betriebsbereit sein kann. Beurteile das Ergebnis kritisch.

- 8 | Überlege dir fünf Maßnahmen, die dazu beitragen, dass du an einem bestimmten Tag weniger elektrische Energie umwandelst, als es normalerweise bei dir üblich ist.

- 9 | Bei dem nachfolgenden Text werden einige Fachbegriffe unkorrekt verwendet.

Schreibe den Text mit den physikalisch richtigen Begriffen ab:

„Elektrischer Strom ist das Fließen von Ladung. Die Ursache für das Fließen der Ladung ist die Kraft der Batterie, die die Ladungen antreibt. Übersteigt die elektrische Energie einen Wert von 25 mA , so kann dies für den Menschen lebensgefährlich werden.“

Die Leistung einer Lampe gibt an, wie viel Strom sie in einer Sekunde verbraucht. Je größer der Wirkungsgrad eines elektrischen Geräts ist, desto geringer ist sein Stromverbrauch.“

- 10 | Auf einer Energiesparlampe ist der Aufdruck „ $230\text{V}/15\text{W}$ “ zu lesen.

a) Erkläre diese Angaben.

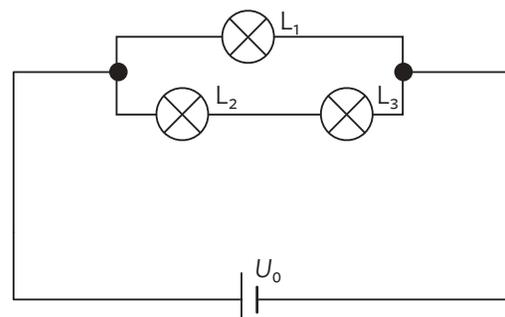
b) Berechne die Stromstärke beim Betrieb der Lampe.

c) Der Wirkungsgrad einer solchen Lampe beträgt 25% .

Erkläre die Bedeutung des Wirkungsgrads bei dieser Lampe.

d) Berechne die innere Energie, die bei einem Betrieb von $4,0 \text{ h}$ an die Umgebung abgegeben wird.

- 11 | Im nachfolgenden Stromkreis sind drei gleiche Lampen eingebaut.



Stelle den Stromkreis im Wasserrutschenmodell dar.

Erkläre damit, dass folgende Beziehungen gelten: $U_0 = U_1$; $U_0 = U_2 + U_3$; $U_2 = U_3 = \frac{1}{2} \cdot U_0$

Zusammenfassende Aufgaben

12 \ Jährliche Stromrechnung des Energieversorgungsunternehmens

Zur Bereitstellung der elektrischen Energie durch das Energieversorgungsunternehmen erhält man eine jährliche „Stromrechnung“.

- Die Bezeichnung „Stromrechnung“ ist irreführend, physikalisch korrekt müsste es „Energierrechnung“ heißen. Erläutere.
- Recherchiere die elektrische Energie und die Kosten in eurem Haushalt. Wandle den „Gesamtverbrauch“ von eurer Rechnung in die physikalische Energieeinheit „Joule“ um.
- Häufig besteht die Möglichkeit, einen Teil der benötigten Energie zu einem höheren Preis aus „Ökostrom“ zu beziehen. Informiere dich darüber im Internet und beziehe dazu Stellung, ob du „Ökostrom“ verwenden würdest.

13 \ LED-Taschenlampe

Eine über den USB-Port wiederaufladbare LED-Taschenlampe enthält einen einzelnen Li-Ion Akku des Typs „18 650“.

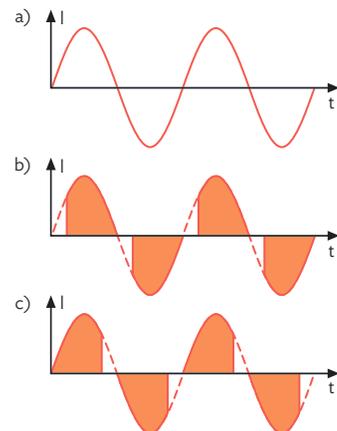
- Berechne aus den Angaben auf dem Akku die im Akku gespeicherte Energie. Gib das Ergebnis in kJ und in Wh an.
- Im Mittelstrahlmodus kann die LED-Taschenlampe bis zu 7,0 Stunden betrieben werden. Berechne die elektrische Leistung der LED-Taschenlampe.
- Ein „18 650 Li-Ion Akku“ kostet 19,95 € und hat eine Lebensdauer von ca. 1000 Ladezyklen. Berechne die Kosten für eine Kilowattstunde elektrischer Energie, wenn sie von diesem Akku abgegeben wird, und beurteile sie im Vergleich zu den Energiekosten von ca. 30 ct pro kWh bei einem Energieversorger.



14* \ Phasenanschnitt- und Phasenabschnittsteuerung

Eine Glühlampe, die mit Wechselstrom betrieben wird (siehe Abb. a)), lässt sich auch anders als im Schülerexperiment von S. 56 dimmen. Bei der Phasenanschnittsteuerung steigt die Stromstärke nicht wie bei einer Sinuskurve an, sondern bleibt noch eine gewisse Zeit bei 0 A und „springt“ dann auf den Funktionswert der ursprünglichen Sinuskurve (siehe Abb. b)). Bei der Phasenabschnittsteuerung schaltet man den Strom dagegen vorzeitig ab, bevor die Stromstärke Null wird (siehe Abb. c)). In beiden Fällen ist der Mittelwert der Stromstärke reduziert und damit auch die Leistungsaufnahme.

- Erkläre, dass das Potentiometer in der Potentiometerschaltung aus dem Schülerexperiment von S. 56 so gewählt werden muss, dass es bei der maximalen Stromstärke durch die Lampe nicht durchbrennt.
- Eine Potentiometerschaltung dient als Dimmer. Erkläre den Unterschied, ob der Stromkreis mit einem Schalter unterbrochen wird oder ob die Helligkeit mit dem Dimmer ganz heruntergeregelt wird.
- Begründe, dass die Phasenanschnittsteuerung energieeffizienter ist als eine Potentiometerschaltung.





Selbsttest-Checkliste

- ✓ Bearbeite die Aufgaben schriftlich in ordentlicher Form. Die Auswertungstabelle zeigt die Kompetenzerwartungen und Hilfestellungen.
- ✓ Vergleiche deine Lösungen mit den Lösungsskizzen auf S. 174.
- ✓ Bewerte nun deine Lösungen selbst mit den Symbolen 😊, 😐 oder ☹️.

- 1 a) Stelle den Aufbau eines Atoms in einer Zeichnung dar und gib die exakte Ladung der einzelnen Teilchen an.
b) Ein Magnesiumatom gibt zwei Elektronen ab und ein Stickstoffatom nimmt drei Elektronen auf. Gib jeweils die exakte Ladung der so entstandenen Ionen an.
c) Ein Akku trägt die Aufschrift 2600 mAh. Erkläre die Angabe und berechne die damit am Minuspol maximal verfügbare Anzahl an Elektronen.
d) Erkläre die elektrische Stromstärke unter Bezug auf die Elementarladung anhand eines mechanischen Modells.
- 2 Ein einfacher elektrischer Stromkreis besteht aus einer Elektrizitätsquelle (4,5 V) und drei zueinander parallel geschalteten Lampen.
a) Zeichne ein Schaltbild des Stromkreises und gib jeweils die entsprechenden Komponenten des Wasserrutschenmodells an.
b) Beschreibe die potentielle Energie eines Fahrgastes auf seinem Weg durch das Wasserrutschenmodell und vergleiche mit der potentiellen Energie eines Elektrons im Stromkreis. Stelle die potentielle Energie eines Elektrons im Stromkreis in einem vereinfachten Modell dar.
c) Markiere im Schaltbild alle Bereiche, die dasselbe Potential besitzen, mit derselben Farbe. Gib jeweils mehrere Paare von Punkten an, zwischen denen die Potentialdifferenz 0 V bzw. 4,5 V herrscht.
d) Nun werden zwei Spannungsmessgeräte in den Stromkreis eingefügt, um die Spannung der Elektrizitätsquelle und den Spannungsabfall an einer der Lampen zu messen. Zeichne die beiden Messgeräte in das Schaltbild ein und gib jeweils die Messgröße an, die im Wasserrutschenmodell der gemessenen Spannung entspricht.
- 3 a) Ein Akku trägt die Aufschrift „2600 mAh, 1,2 V“. Damit lässt sich ein Wecker für 360 Tage betreiben. Bestimme die Energie, die der Akku an einem elektrischen Bauteil umsetzen kann, und die durchschnittliche Stromstärke im Wecker.
b) Berechne die maximale Stromstärke, die bei einem Elektroherd mit einer Leistung von 7,7 kW im Haushaltsstromnetz (230 V) auftreten kann, und begründe, dass für einen Elektroherd in der Regel mehrere 16A-Sicherungen verbaut werden.
c) Ein Akkuladegerät trägt die Aufschrift „Input: 5 W, Output: 4,2 V, 0,65 A“. Berechne den Wirkungsgrad des Ladegerätes.

- 4 Eine Glühlampe ($R_1 = 100 \Omega$) wird mit einer zweiten Glühlampe ($R_2 = 200 \Omega$) in Reihe geschaltet. Eine dritte Glühlampe ($R_3 = 100 \Omega$) wird zu beiden noch parallel geschaltet. An diese elektrische Schaltung wird die Spannung $U = 15 \text{ V}$ angelegt.
- Zeichne das zugehörige Schaltbild.
 - Beschreibe und erkläre kurz die unterschiedlichen Weisen, auf die Stromstärke- und Spannungsmessgeräte in einen Stromkreis einzubauen sind.
 - Füge in das Schaltbild Stromstärke- und Spannungsmessgeräte ein, um bei unbekanntem Widerständen die Leistungsbilanz aufstellen zu können. Benutze dabei so wenige Messgeräte wie möglich.
 - Bestimme für die oben angegebenen Widerstandswerte Spannung und Stromstärke für jede Glühlampe. Nutze dazu auch ein geeignetes Modell.
 - Bestimme die elektrische Leistung, die in jeder einzelnen Glühlampe umgesetzt wird, und begründe den niedrigen Wirkungsgrad von Glühlampen.
- 5 Um einen halben Liter Wasser von 20°C zum Kochen zu bringen, benötigen wir eine Energie von 168 kJ .
- Berechne die Zeitspanne, die dazu mindestens mit einem Wasserkocher mit der Aufschrift $2,2 \text{ kW}$ erforderlich ist. Begründe, dass tatsächlich eine größere Energiemenge einzusetzen sein wird.
 - Bringe mit einem Wasserkocher einen halben Liter Wasser (20°C) zum Kochen.
 - ▼ Stoppe dabei die benötigte Zeit und lies am Typenschild des Wasserkochers die Leistungsaufnahme ab. Bestimme die dabei aufgewendete Energie und den Wirkungsgrad des Wasserkochers.
 - Beurteile anhand des Wirkungsgrades die Umweltverträglichkeit des Wasserkochers insbesondere im Vergleich zu einem Gasherd. Reflektiere, wie weit sich deine Bewertung verändert, wenn du die Stromerzeugung mit in deine Überlegungen einbeziehest.

Auswertungstabelle

Ich kann...	Hilfe
1 die Zusammenhänge zwischen Elementarladung, Ladungen und Stromstärke auch mithilfe einer mechanischen Analogie beschreiben.	S. 46 f
2 die elektrische Potentialdifferenz mit einem Modell des Stromkreises veranschaulichen. Dabei nutze ich meine Kenntnisse zur potentiellen Energie in der Mechanik.	S. 48
3 die an einem elektrischen Bauteil umgesetzte Leistung oder Energie bestimmen und den Wirkungsgrad berechnen.	S. 49, 52 ff
4 die Leistungsbilanz zu einer elektrischen Schaltung erstellen. Dabei setze ich Stromstärke- und Spannungsmessgeräte sachgerecht ein und nutze ein Modell des elektrischen Stromkreises zur Analyse von Spannung und Stromstärke.	S. 48, 56
5 an einem elektrischen Gerät die genutzte mit der aufgewendeten Leistung vergleichen und den Wirkungsgrad bestimmen. Das nutze ich, um die Umweltverträglichkeit eines Gerätes zu bewerten. Dabei bin ich mir bewusst, dass die Bewertung von der Auswahl und Gewichtung verschiedener Gesichtspunkte abhängt.	S. 56 ff

Zusammenfassung

Energieerhaltung

Die Energie E ist hilfreich, um physikalische Messgrößen in Beziehung zu setzen. Sie kann Veränderungen hervorrufen und tritt in verschiedenen Formen auf. Die Energie kann von einer Energieform in eine andere umgewandelt werden. Bei jeder Umwandlung bleibt die Gesamtmenge an Energie zu jeder Zeit erhalten. Ein Teil der umgewandelten Energie ist dabei immer innere Energie, die auf Reibungsprozesse zurückzuführen ist.

Einheit der Energie: 1 J (Joule)

Beispiele für Energieformen:

- Bewegungsenergie
- Höhenenergie
- Spannenergie
- innere Energie
- chemische Energie
- elektrische Energie
- Lichtenergie

Höhenenergie

Befindet sich ein Körper der Masse m in der Höhe h über einem gewählten Bezugsniveau, so hat er Höhenenergie E_h . Das Bezugsniveau kann je nach Bedarf gewählt werden, beispielsweise die Höhe über dem Erdboden. Formel: $E_h = m \cdot g \cdot h$

Einheit: 1 J (Joule)

Formelzeichen: E_h

Kinetische Energie (Bewegungsenergie)

Bewegt sich ein Körper der Masse m mit der Geschwindigkeit v fort, so hat er kinetische Energie E_{kin} .

Formel: $E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

Einheit: 1 J (Joule)

Formelzeichen: E_{kin}

Energiebilanz

Zur Lösung von energetischen Betrachtungen wird die Energiebilanz zu einem bestimmten Zeitpunkt gebildet. Dabei wird das Prinzip der Energieerhaltung genutzt: Zu jedem Zeitpunkt eines Prozesses bleibt die Gesamtenergie gleich. Wenn die Gesamtenergie zu einem bestimmten Zeitpunkt also bekannt ist, kann daraus auch auf andere, an dem Prozess beteiligte Größen geschlossen werden. Sofern Reibung dabei eine Rolle spielt, muss die daraus entstehende innere Energie in der Bilanz berücksichtigt werden.

Lösungsansatz für eine Situation, bei der die anfängliche Höhenenergie komplett in kinetische Energie umgewandelt wurde (z. B. Skateboarder am unteren Punkt einer Rampe):

$$\begin{aligned} E_{\text{vorher}} &= E_{\text{nachher}} \\ E_h &= E_{\text{kin}} \\ m \cdot g \cdot h &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \end{aligned}$$

Mechanische Arbeit und Leistung

Wird Arbeit verrichtet, ändert sich der Energiegehalt eines Körpers. Formel: $W = \Delta E$

Die mechanische Arbeit W ergibt sich aus dem Produkt der Kraft F , die aufgewendet werden muss, und der Wegstrecke s , während der die Kraft ausgeübt wird. Formel: $W = F \cdot s$

Die mechanische Leistung P ist die in der Zeitspanne Δt

erfolgte Energieänderung $\Delta E = W$. Formel: $P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{W}{\Delta t}$

Einheit der Arbeit: 1 J (Joule)

Formelzeichen: W

Beispiele für mechanische Arbeit:

- Hubarbeit
- Spannarbeit
- Reibungsarbeit

Einheit der Leistung: 1 W (Watt)

Formelzeichen: P

Elektrische Ladung, Stromstärke und Spannung

Die kleinste messbare elektrische Ladung Q ist die Elementarladung e . Ladungen auf Gegenständen treten nur als Vielfache N der Elementarladung auf:

$$Q = -N \cdot e \quad \text{bzw.} \quad Q = N \cdot e$$

Die elektrische Stromstärke I ist ein Maß für die Ladungsmenge ΔQ , die pro Zeitspanne Δt durch einen Leitungsquerschnitt fließt.

$$\text{Formel: } I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{N \cdot e}{\Delta t}$$

Die elektrische Spannung U gibt an, wie stark der Antrieb des elektrischen Stroms ist. Sie ist die Potentialdifferenz $\Delta \varphi$ zwischen zwei Punkten eines Stromkreises (vgl. die Höhendifferenz Δh eines Wasserstromkreises). Formel: $U = \Delta \varphi$

Einheit der Ladung:

1 C (Coulomb)

Formelzeichen: Q

Wert der Elementarladung:

$$e = 1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Einheit der Stromstärke:

1 A (Ampere)

Formelzeichen: I

Einheit der Spannung: 1 V (Volt)

Formelzeichen: U

Elektrische Energie und Leistung

Durchläuft eine Ladung Q in einem elektrischen Bauteil eine Potentialdifferenz $U = \Delta \varphi$, so wird im Bauteil eine Energie $\Delta E_{\text{el}} = Q \cdot U$ umgesetzt.

Die elektrische Leistung P_{el} ist die in der Zeitspanne Δt an einem Bauteil erfolgte Energieänderung ΔE_{el} .

$$\text{Formel: } P_{\text{el}} = \frac{\Delta E_{\text{el}}}{\Delta t} = U \cdot I$$

Einheit der elektrischen

Energie: 1 J (Joule)

Formelzeichen: E_{el}

Einheit der Leistung: 1 W (Watt)

Formelzeichen: P_{el}

Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad η ist das Verhältnis von genutzter Energie (bzw. Leistung) zur aufgewendeten Energie (bzw. Leistung).

$$\text{Formel: } \eta = \frac{\Delta E_{\text{nutz}}}{\Delta E_{\text{auf}}} \quad \text{bzw.} \quad \eta = \frac{\Delta P_{\text{nutz}}}{\Delta P_{\text{auf}}}$$

η hat keine Einheit und kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, da niemals mehr Energie genutzt werden kann, als vorher zur Verfügung gestellt wurde.

- 1 a) Es ist günstig, diese Position als Nullpunkt der Höhenenergie zu wählen, da dies der tiefste Punkt des Trampolinspringers während der gesamten Bewegung ist. In dieser Position sind dann sowohl die Höhenenergie als auch die kinetische Energie gleich null, die gesamte Energie steckt in der Spannenergie. Dies vereinfacht die Energieberechnungen.

- b) *Hinweis:* Bei den folgenden Betrachtungen wird die durch Reibungsprozesse stattfindende Umwandlung in innere Energie vernachlässigt.

Tiefster Punkt, Trampolin am stärksten gespannt:

Die Spannenergie ist maximal, die Höhenenergie und die kinetische Energie sind gleich null. Die Gesamtenergie ist gleich der Spannenergie.

Der Trampolinspringer verlässt gerade das Trampolin:

Die Spannenergie ist gleich null. Der Trampolinspringer besitzt nur wenig Höhenenergie, dafür steckt die restliche Energie in der kinetischen Energie, welche hier ihren maximalen Wert annimmt.

Der Trampolinspringer bewegt sich nach oben:

Der Trampolinspringer besitzt Höhenenergie und kinetische Energie. Die kinetische Energie nimmt immer weiter ab, die Höhenenergie nimmt in gleichem Maße zu.

Höchster Punkt des Sprungs:

Die kinetische Energie ist gleich null. Die gesamte Energie des Springers steckt in der Höhenenergie.

Der Trampolinspringer bewegt sich nach unten:

Der Trampolinspringer besitzt Höhenenergie und kinetische Energie. Die kinetische Energie nimmt wieder zu, die Höhenenergie nimmt in gleichem Maße ab.

Der Trampolinspringer berührt gerade das Trampolin:

Die Spannenergie ist gleich null. Der Trampolinspringer besitzt nur noch wenig Höhenenergie, dafür steckt die restliche Energie in der kinetischen Energie, die wieder ihren Maximalwert erreicht.

Tiefster Punkt, Trampolin am stärksten gespannt:

Die Spannenergie ist maximal, die Höhenenergie und die kinetische Energie sind wieder gleich null.

- c) Startpunkt ist der tiefste Punkt des Trampolinspringers:

$$E_{\text{Span}} \text{ ist maximal. } E_{\text{kin}} = E_{\text{h}} = 0; E_{\text{Span}} = E_{\text{ges}}$$

Während sich der Springer im Trampolin nach oben bewegt, nimmt E_{Span} ab und E_{kin} und E_{h} zu. Es gilt: $\Delta E_{\text{Span}} = \Delta E_{\text{kin}} + \Delta E_{\text{h}}$. Der Großteil der Spannenergie wird in kinetische Energie umgewandelt; die Höhenenergie nimmt nur langsam zu, der Großteil der Energie wird anfangs in kinetische Energie umgewandelt.

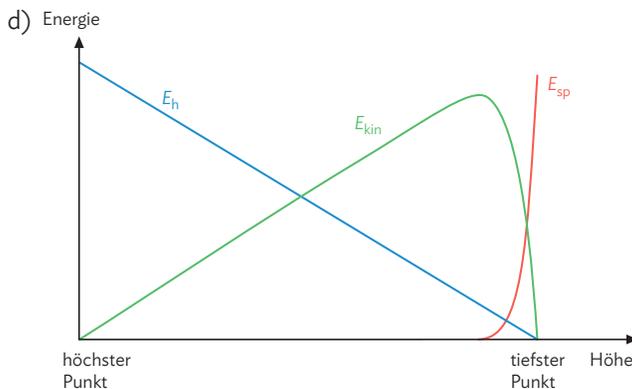
Wenn der Trampolinspringer das Trampolin verlässt (also nach 0,4 m Höhe) gilt:
 $E_{\text{Span}} = 0$; E_{kin} ist maximal; E_{Span} wurde vollständig in $E_{\text{kin,max}}$ und E_h umgewandelt.

Während der Bewegung nach oben nimmt E_{kin} ab und in demselben Maß E_h zu.
 Es gilt: $\Delta E_{\text{kin}} = \Delta E_h$.

Hat der Springer eine Höhe von 1,4 m erreicht, haben die kinetische Energie und die Höhenenergie den gleichen Wert erreicht. Die Gesamtenergie steckt also zur Hälfte in der kinetischen und zur Hälfte in der Höhenenergie: $E_{\text{ges}} = \frac{1}{2} E_{\text{kin}} + \frac{1}{2} E_{\text{pot}}$

Am höchsten Punkt ist $E_{\text{kin}} = 0$, E_h ist maximal; $E_{h,\text{max}} = E_{\text{ges}}$.

Wenn man zu jedem Zeitpunkt die Beträge aller Energien im Diagramm addiert, erhält man immer den gleichen Wert. Dies ist E_{ges} bzw. die anfängliche Spannenergie.



- 2 a) Als Nullpunkt der Höhenenergie wird die Höhe der waagrechten Bahn genommen. Zu Beginn ist die Feder zusammengedrückt, die gesamte Energie steckt dann in der Spannenergie. E_{Span} ist also maximal, $E_{\text{kin}} = E_h = 0$.

Beim Verlassen der Feder wurde die Spannenergie vollständig in kinetische Energie umgewandelt, die Höhenenergie ist weiterhin null.

Während des Rollens auf der waagrechten Bahn besitzt die Kugel nur kinetische Energie.

Beim Hochrollen der Rampe nimmt E_{kin} ab und E_h in gleichem Maße zu.

Am höchsten Punkt besitzt die Kugel nur noch Höhenenergie, diese hat hier ihren Maximalwert erreicht und entspricht der Spannenergie zu Beginn.

- b) Unteres Ende der Rampe: Die Anfangsenergie E_{Span0} wurde vollständig in E_{kin} umgewandelt:

$$E_{\text{ges}} = E_{\text{Span0}} = E_{\text{kin}}; E_{\text{Span}} = E_h = 0$$

Höchster Punkt der Rampe: E_{kin} wurde vollständig in E_h umgewandelt:

$$E_{\text{ges}} = E_{\text{Span0}} = E_h; E_{\text{kin}} = E_{\text{Span}} = 0$$

c) Die anfängliche Spannenergie wurde vollständig in E_{kin} umgewandelt:

$$E_{kin} = E_{Span}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = E_{Span} = 0,25 \text{ J}$$

$$v^2 = \frac{2 \cdot E_{Span}}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{Span}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,25 \text{ J}}{0,020 \text{ kg}}} = 5,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

d) Am höchsten Punkt gilt: $E_{ges} = E_h = 0,25 \text{ J}$

$$mgh = E_{ges} = 0,25 \text{ J}$$

$$h = \frac{E_{ges}}{mg} = \frac{0,25 \text{ J}}{0,020 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 1,3 \text{ m}$$

e) $E_h = mgh' = 0,020 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 0,80 \text{ m} = 0,16 \text{ Nm} = 0,16 \text{ J}$

Weil die Gesamtenergie sich auf die kinetische Energie und die Höhenenergie aufteilt, lässt sich die kinetische Energie wie folgt berechnen:

$$E_{kin'} = E_{ges} - E_h = 0,25 \text{ J} - 0,16 \text{ J} = 0,09 \text{ J}$$

3 a) $F = F_G = m \cdot g = 60 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 0,59 \text{ kN}$

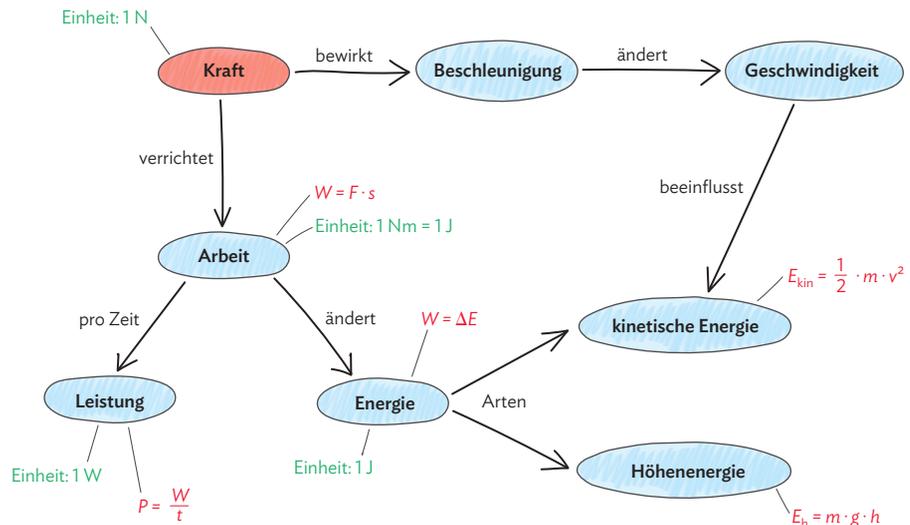
$$W_{hub} = F_G \cdot h = m \cdot g \cdot h = 60 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 8,0 \text{ m} = 4,7 \text{ kJ}$$

Durch das Verrichten von Hubarbeit nimmt die Höhenenergie des Steins um den Betrag $\Delta E_h = 4,7 \text{ kJ}$ zu.

b) Für die Arbeit gilt $W = F \cdot s$. Durch das Verrichten der Arbeit nimmt seine Höhenenergie um den gleichen Betrag wie in Aufgabe a) zu. Es gilt auch hier (Wegunabhängigkeit der Hubarbeit): $W = \Delta E_h = 4,7 \text{ kJ}$.

Da der Weg s länger als die Höhe h ist, muss entsprechend F kleiner als F_G sein. An der schiefen Ebene ist die Hangabtriebskraft, die es entlang der Schräge zu überwinden gilt, also kleiner als die senkrecht nach unten gerichtete Gewichtskraft.

4 a) Beispiel für eine Mindmap:



- b) *Die neue Windkraftanlage liefert jährlich eine Leistung von 12 MW.*

Da sich die Aussage auf einen genannten Zeitraum bezieht, ist der Begriff der Leistung falsch. Außerdem ist sehr wahrscheinlich die durchschnittliche Leistung gemeint. Der richtige Satz muss lauten: „Die neue Windkraftanlage liefert eine durchschnittliche Leistung von 12 MW.“

Wenn man die Leistung mit der Zeitangabe 1 Jahr multipliziert, erhält man die elektrische Energie, die die Anlage in einem Jahr erzeugt.

Der Aufstieg zum Gipfel war eine große Kraftleistung.

Der Begriff „Kraftleistung“ existiert in der Physik nicht. Physikalisch richtig kann man entweder nur eine Aussage über die Kraft machen, z. B. „Zur Bewältigung der Kletterpassage musste der Bergsteiger große Kräfte ausüben.“ oder über die Leistung: „Um den Gipfel in so kurzer Zeit zu erreichen, musste der Bergsteiger eine große Leistung aufbieten.“

Zu den erneuerbaren Energien gehören Sonnenenergie, Windenergie, Wasserkraft und Biomasse.

Hier werden die verschiedenen Größen Energie, Kraft und Masse gleichgesetzt. Möchte man jeweils den Energiebegriff richtig verwenden, müsste man die Strahlungsenergie der Sonne, die kinetische Energie der Luftteilchen, die Höhenenergie des Wassers sowie die in der organischen Substanz gespeicherte chemische Energie nennen.

Solarenergie – Kraft aus der Sonne

Hier werden die Begriffe Energie und Kraft gleichgesetzt. Physikalisch korrekt müsste es heißen: „Eine Solaranlage wandelt die Strahlungsenergie der Sonne in elektrische Energie bzw. in innere Energie um.“

Windkraftträder wandeln Windenergie in elektrischen Strom um.

Energie und elektrische Stromstärke sind zwei unterschiedliche physikalische Größen. Problematisch ist auch der Begriff Windenergie. Streng genommen müsste man sagen: „Windkraftträder wandeln die kinetische Energie bewegter Luftmassen in elektrische Energie um, was zu einem elektrischen Strom führt.“

- 5** a) Vor dem Versuch müssen die Masse m des Menschen und die Gesamthöhe h der Treppe bestimmt werden.

b)
$$P = \frac{W}{t} = \frac{mgh}{t}$$

- c) Man bestimmt die Masse m des Menschen sowie die Gesamthöhe h der Treppe. Es wird die Zeit t gestoppt, die der Mensch benötigt, um die Treppe hochzusteigen. Die Leistung wird mit folgender Formel bestimmt: $P = \frac{W}{t} = \frac{mgh}{t}$

- d) Um die Leistung zu vergrößern, muss man den Bruch $P = \frac{mgh}{t}$ vergrößern.
 1. Möglichkeit: Vergrößern des Zählers, d. h. Vergrößern von m ; beispielsweise, indem man einen Rucksack auf dem Rücken trägt.

Oder:

Vergrößern von h , beispielsweise, indem man einige zusätzliche Stufen höher steigt.

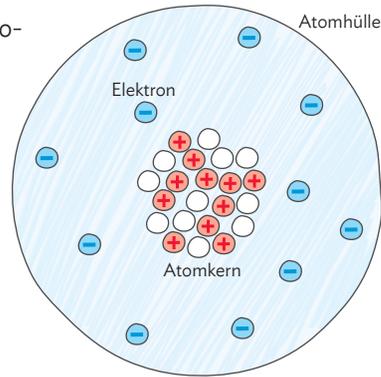
In beiden Fällen muss allerdings t (möglichst) gleichbleiben.

Auf der Erde hat g überall nahezu den gleichen Wert. Um Die Leistung zu erhöhen, müsste man also beispielsweise auf dem Jupiter Treppen steigen ($g_{\text{Jupiter}} = 24,79 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$).

2. Möglichkeit: Verkleinern des Nenners, d. h. man muss die Treppe in einer kürzeren Zeit hochgehen.

Eine Kombination daraus ist natürlich auch möglich.

- 1 a) Erwartung an die Zeichnung: Atomkern mit Protonen und Neutronen, Atomhülle mit den Elektronen. Für ein neutrales Atom ist auf die gleiche Zahl an Protonen und Elektronen zu achten. Gleichzeitig sollte die Neutronenzahl in einem sinnvollen Verhältnis zur Protonenzahl stehen. Bsp.: Lithiumatom: 4 Neutronen (rot), 3 Protonen (blau), 3 Elektronen (schwarz)
Ladung des Protons: positive Elementarladung.
Ladung des Elektrons: negative Elementarladung.
Ladung des Neutrons: keine Ladung.



- b) Ein Atom kann nur durch Änderung der Elektronenzahl zu einem Ion werden, weil die Protonen im Kern zu stark gebunden sind, um sie entfernen zu können. Die Elektronen sitzen dagegen in der Atomhülle am Rande des Atoms und sind dort leicht beeinflussbar.

Magnesiumion: $Q = + 2e$, Stickstoffion (Nitrid): $Q = - 3e$.

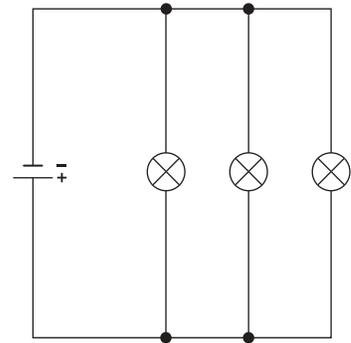
- c) Die Angabe 2600 mAh entspricht einer Ladung, denn Ladungen werden in der Einheit $1 \text{ C} = 1 \text{ As}$ bzw. $1 \text{ Ah} = 3600 \text{ As}$ gemessen. Der Zusatz „m“ bedeutet dabei noch Milli.

$$\text{Es gilt: } Q = n \cdot e, \text{ also: } n = \frac{Q}{e} = \frac{2600 \cdot 0,001 \text{ A} \cdot 3600 \text{ s}}{e} = 5,842 \cdot 10^{22}.$$

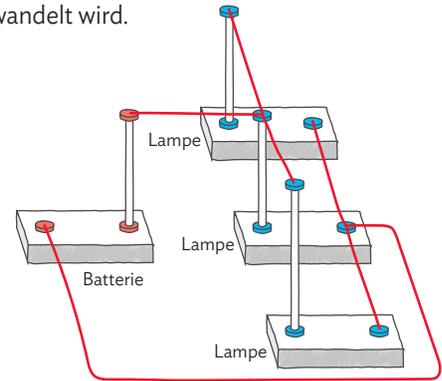
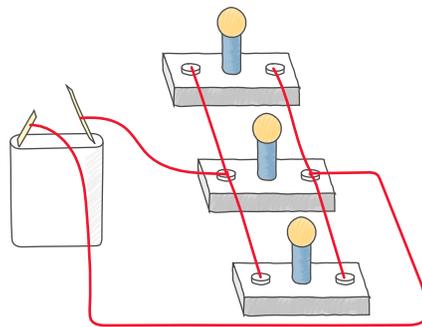
- d) Wir betrachten N Elektronen jeweils mit der Elementarladung e , die pro Sekunde durch einen Leiterquerschnitt fließen. Das ist so, als würden N Autos, jeweils nur mit einem Fahrer besetzt, auf einer breiten Stadtstraße pro Sekunde eine Ampel passieren. Während die Autos auch eine unterschiedliche Zahl an Personen befördern könnten, tragen die Elektronen dabei aber immer nur dieselbe Ladung, nämlich die Elementarladung. Von den Autos wissen wir aber, dass es nicht auf die Autos ankommt, sondern auf die beförderten Personen. Ebenso ist bei den Elektronen entscheidend, welche Ladung sich pro Sekunde durch den Leiterquerschnitt bewegt. Der Quotient aus der gesamten Ladung $N \cdot e$, die die N Elektronen tragen, und der Zeitspanne von einer Sekunde ist daher ein Maß für die Stärke des elektrischen Stromes. Wir nennen sie die elektrische Stromstärke. Sie wird in der Einheit 1 A angegeben.

Hinweis: Bewegen sich z. B. in einer Salzlösung statt Elektronen zweifach positiv geladene Magnesiumionen, dann entspräche das einer Besetzung der Autos mit zwei Personen. Dementsprechend würde dann pro Sekunde eine Ladung von $Q = N \cdot 2e$ transportiert.

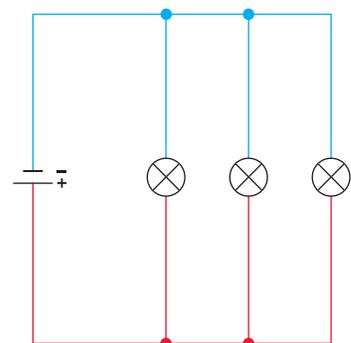
- 2 a) Der Batterie entspricht ein Förderband, das die Fahrgäste nach oben befördert.
Den Lampen entspricht jeweils eine Wasserrutsche, sodass in diesem Fall mehrere Rutschen für die Fahrgäste zur Verfügung stehen.



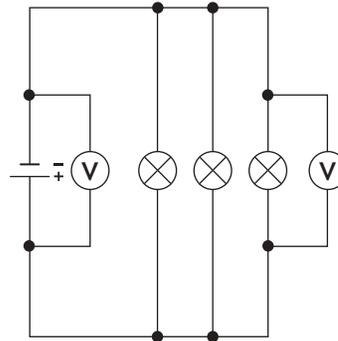
- b) Die potentielle Energie (Höhenenergie) des Fahrgastes kann am unteren Startpunkt des Förderbandes als Null gewählt werden. Gleiches gilt für Elektronen am Pluspol. Während der Fahrgast vom Förderband nach oben gezogen wird, nimmt die potentielle Energie des Fahrgastes zu. Dem entspricht die Zunahme der potentiellen Energie eines Elektrons, wenn es durch Ladungstrennung vom Plus- zum Minuspol wandert. Am oberen Ende des Förderbandes angekommen, hat der Fahrgast seine maximale potentielle Energie erreicht und behält sie auf seiner Fahrt in der Wasserrinne zur Wasserrutsche auch bei. So ist es auch bei einem Elektron am Minuspol und während seiner Bewegung zu einer der drei Lampen. Rutscht der Fahrgast die Wasserrutsche hinunter, verliert er seine potentielle Energie, die durch Reibung in Wärme umgewandelt wird, bis er am unteren Ende der Wasserrutsche seine potentielle Energie wieder völlig verloren hat und nur noch in der Wasserrinne zum Startpunkt zurück treibt. Gleiches gilt für die Elektronen, deren potentielle Energie bei der Bewegung durch die Lampe infolge von Stößen mit den Elektronenhüllen der Atome ebenfalls in Wärme umgewandelt wird.



- c) Potentialdifferenz 0 V: jeweils zwischen zwei Punkten im rot markierten Bereich oder jeweils zwischen zwei Punkten im blau markierten Bereich.
Potentialdifferenz 4,5 V: jeweils zwischen einem Punkt im rot markierten Bereich und einem Punkt im blau markierten Bereich.



- d) Die gemessene Spannung entspricht dem Höhenunterschied zwischen Anfang und Ende des Förderbandes bei der Elektrizitätsquelle und zwischen Anfang und Ende der Wasserrutsche jeweils bei den einzelnen Lampen.



- 3 a) Es gilt:

$$E = Q \cdot U = 2600 \text{ mAh} \cdot 1,2 \text{ V} = 2600 \cdot 0,001 \text{ A} \cdot 3600 \text{ s} \cdot 1,2 \text{ V} = 11\,232 \text{ VA s} \approx 11 \text{ kJ}$$

Die durchschnittliche Stromstärke im Wecker beträgt:

$$I = \frac{Q}{e} = \frac{2600 \cdot 0,001 \text{ A} \cdot 3600 \text{ s}}{360 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}} = 0,3 \text{ mA}$$

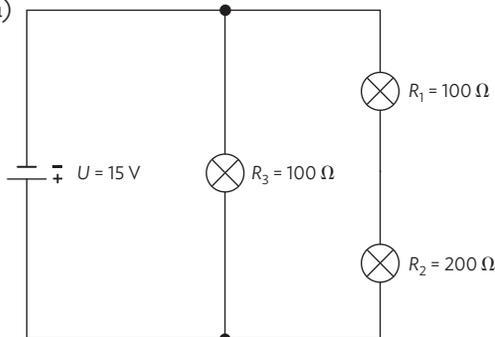
- b) Es gilt: $P = U \cdot I$, daher folgt: $I = \frac{P}{U} = \frac{7,7 \cdot 10^3 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 33,478 \text{ A} \approx 33 \text{ A}$

Das Ergebnis übersteigt das Doppelte einer 16A-Sicherung. Daher sind in diesem Fall mindestens drei 16A-Sicherungen erforderlich, um den Elektroherd zuverlässig abzusichern.

- c) Es gilt: $P_{\text{auf}} = 5 \text{ W}$, $P_{\text{nutz}} = 4,2 \text{ V} \cdot 0,65 \text{ A} = 2,73 \text{ W}$

Damit erhalten wir: $\eta = \frac{P_{\text{nutz}}}{P_{\text{auf}}} = \frac{2,73 \text{ W}}{5 \text{ W}} = 0,546 \approx 55 \%$

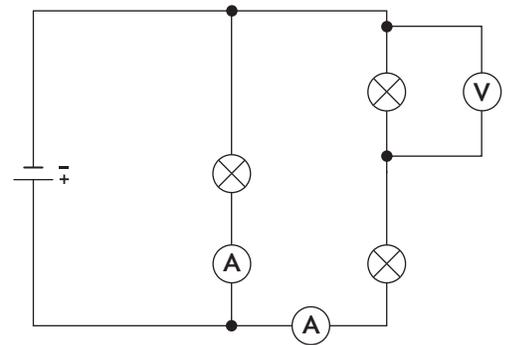
- 4 a)



- b) *Amperemeter*: in Reihe zum Bauteil, da der Strom der Leitung vollständig durch das Messgerät fließen muss.

Voltmeter: parallel zum Bauteil, da das Messgerät eine Potentialdifferenz misst und dazu zwei Kontakte mit unterschiedlichem Potential benötigt – so wie ein Meterstab mit seinem Anfangspunkt und mit der Ablesestelle an etwas angelegt wird.

- c) Um die Leistung für jede Lampe angeben zu können, benötigen wir die Spannung und die Stromstärke bei jeder Lampe. Die Spannung der Elektrizitätsquelle ist bekannt. Kennt man die Stromstärke in beiden Zweigen, so benötigen wir nur noch die Spannung an einer Lampe in der Reihenschaltung, um auch für die andere Lampe die Spannung angeben zu können, da sich in der Reihenschaltung die Spannungen zur Gesamtspannung addieren.



- d) Geg.: $U = 15 \text{ V}$, in Reihe: $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 200 \Omega$, dazu parallel: $R_3 = 100 \Omega$.

Ges.: $U_1, U_2, U_3, I_1, I_2, I_3$

An beiden Zweigen liegt dieselbe Spannung an, so wie im Wasserrutschenmodell alle Fahrgäste auf derselben Höhe starten: $U = U_3 = U_{12} = 12 \text{ V}$.

In der Reihenschaltung teilt sich der Spannungsabfall auf beide Glühlampen auf. Im Wasserrutschenmodell wird man beim doppelten Widerstand auch die doppelte Höhe benötigen, um mit derselben Geschwindigkeit die Rutsche herunterzugleiten. Dementsprechend werden sich die Spannungsabfälle im selben Verhältnis wie die Widerstände auf die beiden Lampen aufteilen:

$$U_1 : U_2 = R_1 : R_2 = 100 : 200 = 1 : 2; 12 \text{ V} : 3 = 4 \text{ V. Also gilt: } U_1 = 4 \text{ V}; U_2 = 8 \text{ V.}$$

$$\text{Damit folgt: } R = \frac{U}{I} \text{ bzw. } I = \frac{U}{R}, \text{ konkret: } I_1 = 0,04 \text{ A}; I_2; I_3 = 0,12 \text{ A.}$$

- e) Die Leistung berechnet sich gemäß: $P = U \cdot I$, also $P_1 = 0,16 \text{ W}, P_2 = 0,32 \text{ W}, P_3 = 1,44 \text{ W}$. Glühlampen haben einen sehr geringen Wirkungsgrad, weil nur ein geringer Anteil der elektrischen Energie in Licht, der Großteil aber in Wärme umgewandelt wird. Die Glühwendel leuchtet auch nur gerade wegen ihrer hohen Temperatur (Leuchtwirkung des elektrischen Stroms).

5 a) Es gilt: $P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$, also $\Delta t = \frac{\Delta E}{P} = \frac{168 \text{ kJ}}{2,2 \text{ kW}} = \frac{168 \text{ J}}{2,2 \text{ W}} = 76 \text{ s}$

Tatsächlich ist eine größere Energie nötig, da auch der Wasserkocher selbst und die umgebende Luft mit erwärmt werden. Außerdem ist die Frage, zu welchem Zeitpunkt die Abschaltautomatik anschlägt.

- b) Beispielhaftes Messergebnis: $\Delta t = 93 \text{ s}$

$$E_{\text{auf}} = P \cdot \Delta t = 2,2 \text{ kW} \cdot 93 \text{ s} = 0,20 \text{ MJ}$$

$$\text{Und damit: } \eta = \frac{E_{\text{nutz}}}{E_{\text{auf}}} = \frac{168 \text{ kJ}}{0,20 \text{ MJ}} = 0,84 = 84 \%$$

- c) Der Wirkungsgrad des Wasserkochers ist ziemlich hoch. Dementsprechend wird die eingesetzte Energie sehr wirksam zum Erhitzen des Wassers genutzt. Die damit verbundene Schonung der Ressourcen bedeutet eine gute Umweltverträglichkeit. Um die elektrische Energie zu erzeugen, gibt es verschiedene Möglichkeiten wie z. B. Solarkraft, Windkraft, Wasserkraft, Atomkraft, Erdgas, Kohle, Öl. Die einzelnen Formen unterscheiden sich erheblich mit ihren Eingriffen in die Natur beim Abbau der Rohstoffe: durch Staumauern oder Windräder, durch Abfälle oder Altlasten oder durch ihren CO_2 -Ausstoß bei der Stromerzeugung. Aber auch bei Bau und Rückbau der Kraftwerke: Wird beispielsweise ein Gaskraftwerk zur Stromerzeugung genutzt, so hätte sicherlich ein Gasherd eine höhere Umweltverträglichkeit, da der Zwischenschritt über die elektrische Energie mit entsprechenden Verlusten umgangen wird. Erzeugen wir dagegen den elektrischen Strom mit einer Photovoltaikanlage auf dem eigenen Hausdach, so gibt es im Vergleich zu einem Gasherd keinen CO_2 -Ausstoß, was dann wiederum für den Wasserkocher spricht.

S. 25, Arbeitsauftrag 5

Überlege dir zunächst, welches Beispiel aus diesem Kapitel physikalisch betrachtet sehr ähnlich zur Schaukel ist.

S. 31, Arbeitsauftrag 2

Mache dir zunächst Gedanken darüber, was "ökologisch sinnvoller" in diesem Zusammenhang bedeuten würde.

S. 47, Arbeitsauftrag 5

Bei mehrfach geladenen Ionen ist die Zahl der Elementarladungen entsprechend zu berücksichtigen.

S. 49, Arbeitsauftrag 4b

Der Minuspol hat in der Regel ein Potential von 0 V.

S. 55, Arbeitsauftrag 3b

Überlege dir, was jeweils auf den Achsen aufgetragen ist und wie sich dementsprechend die elektrische Energie im Diagramm veranschaulichen lässt.

S. 101, Arbeitsauftrag 3

Gehe ähnlich wie bei einem Versuchsprotokoll vor. Beschreibe also die notwendigen Schritte (ZABMA).

S. 25, Arbeitsauftrag 5

Schau dir die Musteraufgabe auf S. 25 nochmal genauer an. Du kannst die beiden Schaukeln wie zwei Fadenpendel betrachten, die sich nur in der Masse der Kugel unterscheiden.

S. 31, Arbeitsauftrag 2

„Ökologisch sinnvoll“ bedeutet in diesem Fall, dass geprüft werden muss, ob bei der schrägen Positionierung des Aufzugs weniger Arbeit beim Transport verrichtet wird als bei der senkrechten Positionierung. Überlege dir die Art der Arbeit, die der Aufzug verrichtet.

S. 47, Arbeitsauftrag 5

Eine Form der Definitionsgleichung der Stromstärke ist anzupassen.

S. 49, Arbeitsauftrag 4b

Markiere alle Leitungen, die direkt mit dem Minuspol verbunden sind – ohne Lämpchen dazwischen – und bezeichne sie mit $\varphi = 0 \text{ V}$.

S. 55, Arbeitsauftrag 3b

Ordne einem großen Kästchen im Diagramm einen geeigneten Wert für die genutzte elektrische Energie zu.

S. 101, Arbeitsauftrag 3

Erkläre insbesondere die Physik, die hinter dem Experiment steckt. Nenne den Grund dafür, dass die Kugeln sich so schwer wieder auseinanderziehen lassen. Gehe dabei auch auf die Rolle der Dichtung ein.

3. Hilfestellungen

S. 25, Arbeitsauftrag 5

Schau dir die Methode auf S. 23 nochmal an. Insbesondere, was während der Rechnung mit der Masse in der Gleichung geschieht.

S. 31, Arbeitsauftrag 2

Denk an die Wegunabhängigkeit der Hubarbeit und insbesondere an das Beispiel des Krans in B3. Übertrage das Prinzip auf die schräge bzw. senkrechte Positionierung des Aufzugs.

S. 47, Arbeitsauftrag 5

In der Regel liegen positiv und negativ geladene Ionen in einer Flüssigkeit vor, die jeweils zum entgegengesetzt geladenen Pol wandern. Das ist entsprechend zu berücksichtigen.

S. 49, Arbeitsauftrag 4b

Markiere alle Leitungen, die direkt mit dem Pluspol verbunden sind – sie haben das höchste Potential. Gibt es noch weitere Leitungsabschnitte?

S. 55, Arbeitsauftrag 3b

Überschlage die Anzahl der Kästchen, die der Graph etwa mit der x-Achse einschließt, und multipliziere die gefundene Zahl mit dem Energiewert für ein Kästchen, also 1,0 kWh. Zähle dabei zunächst alle eingeschlossenen Kästchen, die nicht von der Kurve durchschnitten werden, und ergänze die verbleibenden Teile geschickt zu ganzen Kästchen.

S. 101, Arbeitsauftrag 3

Beschreibe die Schlussfolgerung, die sich aus diesem Experiment ableiten und auch auf andere Situationen übertragen lassen.

AdobeStock / Alexander – S. 124; - / Markus Bormann – S. 127; - / Christian Camus – S. 95; - / Michael Deville – S. 41; - / dima_pics – S. 17; - / Markus Fischer – S. 15; - / lzf – S. 41; - / Vector Tradition – S. 38; Alamy Stock Photo / Westend61 GmbH – S. 10, 12; Baaske Cartoons / Gerhard Mester, Müllheim – S. 148 (2); Rainer Dietrich, Schweinfurt – S. 45, 81, 118 (2), 119 (2), 134, 165 (2), 167 (4); dpa Picture-Alliance / SZ Photo, Stephan Rumpf – S. 40; - / ZB, Tom Wagner – S. 95; Fotolia – S. 151; Getty Images Plus / iStockphoto, ah_fotobox – S. 34; - / iStockphoto, AlexLMX – S. 61; - / iStockphoto, Alter_photo – S. 90; - / iStockphoto, AndreyPopov – S. 100; - / iStockphoto, AntonioGuillem – S. 52; - / iStockphoto, arissanjanya – S. 90; - / iStockphoto, azur13 – S. 70; - / iStockphoto, bannerwega – S. 73; - / iStockphoto, Ben-Schonewille – S. 14; - / iStockphoto, Ahmed Benzerguine – S. 110; - / iStockphoto, BrAt, PiKaChu – S. 15; - / iStockphoto, Britt – S. 81; - / iStockphoto, Axel Bueckert – S. 52; - / iStockphoto, cerro_photography – S. 68; - / iStockphoto, Nikolay Chekalin – S. 88; - / iStockphoto, Coprid – S. 161; - / iStockphoto, CreativeNature_nl – S. 11, 15, 44; - / iStockphoto, Diji13 – S. 13, 17; - / iStockphoto, DutchScenery – S. 103; - / iStockphoto, Elektronik-Zeit – S. 133; - / iStockphoto, Evgen_Prozhyrko – S. 87, 106; - / iStockphoto, Evgenyi_Eg – S. 77; - / iStockphoto, FabrikaCr – S. 88; - / iStockphoto, Flo – S. 66, 68; - / iStockphoto, FooToo – S. 31; - / iStockphoto, fpm – S. 148; - / iStockphoto, galitskaya – S. 12; - / iStockphoto, garyperkin – S. 89; - / iStockphoto, Ralf Geithe – S. 11, 50; - / iStockphoto, gielmichal – S. 80; - / iStockphoto, gorsh13 – S. 103; - / iStockphoto, gpaintstudio – S. 12; - / iStockphoto, Grafner – U4; - / iStockphoto, grafvision – S. 111; - / iStockphoto, Maksim_Gusev – S. 86, 88; - / iStockphoto, HappyFarmGirl – S. 69; - / iStockphoto, HaraldBiebel – S. 158; - / iStockphoto, heliwideo – S. 19; - / iStockphoto, Rocco-Herrmann – S. 133, 150; - / iStockphoto, hoayahphoto – S. 87, 114; - / iStockphoto, humonia – S. 164; - / iStockphoto, Hutangac – S. 38; - / iStockphoto, Pradpiew laosinchai – S. 88; - / iStockphoto, ipopba – S. 11, 26; - / iStockphoto, Ivan-balvan – S. 163; - / iStockphoto, Lubo Ivanko – S. 125; - / iStockphoto, ivansmuk – S. 69, 125; - / iStockphoto, kazina – S. 67, 74; - / iStockphoto, koldunova – S. 133; - / iStockphoto, kotangens – S. 15; - / iStockphoto, Wojciech Kozielczyk – S. 87, 98; - / iStockphoto, kirwim – S. 150; - / iStockphoto, kwsan – S. 58; - / iStockphoto, kzenon – S. 13; - / iStockphoto, maskalin – S. 153; - / iStockphoto, Don Mennig – S. 132, 134; - / iStockphoto, MikeMareen – S. 104; - / iStockphoto, Morrison1977 – S. 54; - / iStockphoto, nemoris – S. 70 (4); - / iStockphoto, nikkimeel – S. 113; - / iStockphoto, Nosyrey – S. 126 (2); - / iStockphoto, Ocskaymark – S. 38; - / iStockphoto, ogiana – S. 108; - / iStockphoto, OK-Photography – S. 105; - / iStockphoto, OlafSpeier – S. 103; - / iStockphoto, paulacobleigh – S. 133; - / iStockphoto, Saman Peters – S. 120; - / iStockphoto, petrograd99 – S. 110; - / iStockphoto, Photoboyko – S. 93; - / iStockphoto, photosoup – S. 94; - / iStockphoto, Alexander Pytskiy – S. 110; - / iStockphoto, Ian_Redding – S. 75; - / iStockphoto, richcarey – S. 133; - / iStockphoto, RiniSlok – S. 91; - / iStockphoto, Stadtratte – S. 133; - / iStockphoto, statu-nascendi – S. 91; - / iStockphoto, Suljo – S. 133, 152; - / iStockphoto, SurkovDimitri – S. 30; - / iStockphoto, charles taylor – S. 35; - / iStockphoto, TebNad – Cover; - / iStockphoto, Toa55 – S. 90; - / iStockphoto, tunatura – S. 91; - / iStockphoto, tupungato – S. 27; - / iStockphoto, Анатолий Тушенцов – S. 59; - / iStockphoto, Vladdeep – S. 56; - / iStockphoto, Yolya – S. 26; - / iStockphoto, zhaojiankang – S. 157; - / iStockphoto, 81a/ Photolibrary – S. 12; - / The Images Bank, Chad Baker – S. 10, 18; Anne Hödl, Langenbach – S. 37 (4); IMAGO / IPON – S. 148; - / Michael Handelsmann – S. 33; - / Stefan Zeitz – S. 48; Intergovernmental Panel on Climate Change (ipcc), Genf – S. 135; iStockphoto / MelanieMaya – S. 74; - / vggajic – S. 24; Rüdiger Janner, Heilsbrunn – S. 98, 102; Lingemann Peter / dokspeicher.de – S. 76; Mauritius Images / Alamy Stock Photo, Simon Dack – S. 15; - / Alamy Stock Photo, Maurice Savage – S. 165; oekom verlag GmbH, München – S. 141; PHWE Systeme GmbH & Co. KG, Göttingen – S. 102; Pixabay / Paul Brennan – S. 12; - / SofiaPapaGeorge – S. 166; Schmitz Schiminski Nolte, Hildesheim – S. 158; Science Photo Library – S. 112; - / Dorling Kindersley, UIG – S. 88; - / McConnell, Tony – Cover; Statistisches Bundesamt, Wiesbaden – S. 156; www.CartoonStock.com / Nate Fakes – S. 146; www.wikimedia.org / WiesAdler – S. 36.



C.C.BUCHNER

T67049