

9



# Physik

**TEILDRUCK**

GENEHMIGTE AUFLAGE  
ERSCHEINT IM FESTEINBAND



C.C. BUCHNER

Realschule Bayern

## Liebe Schülerinnen und Schüler,

damit ihr euch im Buch gut zurechtfindet, haben wir hier das Wichtigste für euch zusammengestellt. An verschiedenen Stellen haben wir Mediacodes eingebaut, sie führen unter [www.ccbuchner.de/medien](http://www.ccbuchner.de/medien) zu **Arbeitsblättern** für die Schülerversuche oder zu **Erklärvideos** / **Simulationen**. Die QR-Codes verlinken auf dieselbe Seite.

Mit der **Einstiegsseite** kannst du dein Vorwissen abprüfen. Sie eignet sich aber auch gut, um dich anhand der Begriffe auf eine Schulaufgabe vorzubereiten.

## 1 Mechanik und Energie



**Druck**



**Pascal**



**LEISTUNG**



**Nutzenergie**



**Energiewertigkeit**



**HEBEL**



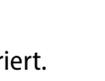
**Manometer**



**Flaschenzug**



**Schiefe Ebene**



**Luftdruck**



**BAR**



**Energieerhaltung**



**Kraftwandler**



**Energieformen**



**Energieumwandlung**



**Arbeit**



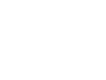
**WIRKUNGSGRAD**



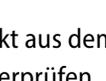
**TEILNENNEN**



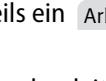
**HEBELGESETZ**



**ENERGIEÜBERTRAGUNG**



**Schweredruck**



**Verbundene Gefäße**

**KAPITEL 1**     **1.22 Luftdruck**

---

**Einstieg**

Füllt man ein Schlauchstück vollständig mit Wasser und hält ein Ende mit dem Daumen zu, fließt aus dem unten offenen Schlauch kein Wasser heraus.

- Wie kann das sein?
- Was muss man machen, damit das Wasser herausfließt?

**Versuche**

**V1** a) Fülle ein Glas mit Wasser. Lege man einen Bierdeckel auf das Glas. Drücke den Bierdeckel gegen das Glas und drehe das Glas über dem Waschbecken um. Lass den Bierdeckel nun vorsichtig los. Kippe das Glas auch zur Seite. **Beobachtung:** Der Bierdeckel verschließt das Glas. Es tritt kein Wasser aus.

b) Halte das umgedrehte Glas über dem Waschbecken und drücke den Bierdeckel minimal vom Glasrand weg. **Beobachtung:** Der Bierdeckel fällt sofort herunter und das Wasser läuft aus.

**V2** Aus einem Modell der Magdeburger Halbkugeln (Abb. 2) wird mit einer Vakuumpumpe die Luft herausgepumpt. Zwei Schüler versuchen durch Ziehen die Halbkugeln zu trennen. Anschließend wird der seitliche Hahn geöffnet und die Kugelhälften wieder befüllt. **Beobachtung:** Die Kugeln lassen sich nicht auseinanderziehen, erst nach dem Öffnen des Hahns gelingt dies ohne Anstrengung.

**Erklärung**

Beim Umdrehen des Glases aus V1 a) läuft eine geringe Menge Wasser heraus, was dazu führt, dass sich die Teilchendichte in der im Glas befindlichen Restluft verringert. Dadurch herrscht in der Luft im Glas ein niedrigerer Druck als in der Umgebungsluft. Dieser höhere äußere Druck bewirkt eine Kraft, die den Bierdeckel so fest gegen das Glas drückt, dass nichts ausläuft. Der Druck ist richtungsunabhängig, man kann das Glas also auch kippen. V1 b) zeigt, dass im Falle eines Druckausgleichs (kleiner Spalt zwischen Bierdeckel und Glasrand) das Wasser sofort ausläuft. Ähnlich verhält es sich in V2. Im Inneren der Halbkugeln herrscht ein sehr viel niedrigerer Druck, sodass von außen eine Kraft wirkt, die die Halbkugeln zusammenpresst.

Deshalb ist es nur unter enormer Kraftanstrengung möglich, die Halbkugeln zu trennen. Die Ursache der wirkenden Kräfte ist der Druck der uns umgebenden Luft. Dieser entsteht durch die Schwere (Masse) der über uns befindlichen Luftsäule und der daraus resultierenden Gewichtskraft, die auf eine bestimmte Fläche wirkt (Abb. 3). Der **Schweredruck der Luft** wird im Allgemeinen auch als **Luftdruck** bezeichnet.

**Merkwissen**

- Der **Luftdruck** ist der **Schweredruck der Luft** und wird durch die Gewichtskraft der über dem Messpunkt befindlichen Luftsäule verursacht.

**Aufgaben**

- 1 Erläutere mithilfe einer geeigneten Skizze, wie der Luftdruck entsteht.
- 2 Erkläre, warum zum Lösen zweier zusammengepresster Saugnapfe eine große Kraft aufgewendet werden muss.

**Geschichte**

**Die Magdeburger Halbkugeln**

Im Jahre 1657 führte der Naturforscher Otto von Guericke ein verblüffendes Experiment der Öffentlichkeit vor. Er fügte zwei hohle Halbkugeln aus Kupfer zu einer Kugel zusammen und pumpte die Luft heraus. Dann spannte er an jede Hälfte ein Gespann mit acht Pferden, denen es nicht gelang, die Halbkugeln wieder zu trennen. Erst als Guericke an einem Hahn, der sich an einer der Halbkugeln befand, drehte, fielen sie unter lauten Zischen auseinander.

**Abb. 3: Ursache des Luftdrucks**

**Abb. 4: Zusammengepresste Saugnapfe**

**Abb. 5: Magdeburger Halbkugeln**

- Erkläre, warum sich die Halbkugeln nach Drehen des Hahns voneinander lösten.
- Erkläre anhand des Versuchs das Wechselwirkungsprinzip.

Die **Standardseiten** sind immer gleich strukturiert.

- Im **Einstieg** könnt ihr physikalischen Fragen nachgehen, die sich direkt aus dem Alltag ergeben.
- Mit den **Versuchen** kann man Gesetzmäßigkeiten entwickeln und überprüfen. Schülerversuche sind mit  gekennzeichnet – dazu findet ihr jeweils ein **Arbeitsblatt** unter [www.ccbuchner.de/medien](http://www.ccbuchner.de/medien) (abrufbar auch über den QR-Code).
- In der **Erklärung** wird das Fachwissen systematisch aus den Versuchen abgeleitet.
- Alles, was man wissen muss, steht im **Merkwissen**. Manchmal hängt noch eine **Musteraufgabe mit Lösungen** dran.
- Klar, ein Physikbuch enthält auch **Aufgaben**.
- In den **Sonderkästen** findet ihr Alltagsanwendungen, Historisches, Technisches, ...





A grayscale photograph of a diver swimming underwater over a coral reef. The diver is wearing a mask and snorkel. In the top right corner, there is a large white number '9' on a dark gray background, with a decorative graphic of vertical bars below it.

9

Herausgegeben von  
Christian Axenbeck und Dr. Christoph Fritsch

# Physik

C.C.BUCHNER Realschule Bayern

# Physik

Realschule Bayern

Herausgegeben von Christian Axenbeck und Dr. Christoph Fritsch

## Physik 9<sub>I/III</sub>

Bearbeitet von Christian Axenbeck, Sebastian Floder, Robert Forster, Dr. Christoph Fritsch, Sandra Hanke, Marco Nelkenbrecher, Markus Pollinger, Franziska Weber und Uwe Weber-Haenel unter Mitarbeit der Verlagsredaktion

Zu diesem Lehrwerk sind erhältlich:

- Digitales Lehrermaterial **click & teach** Einzellizenz, Bestell-Nr. 670391
- Digitales Lehrermaterial **click & teach** Box (Karte mit Freischaltcode), ISBN 978-3-661-67039-3

Weitere Materialien finden Sie unter [www.ccbuchner.de](http://www.ccbuchner.de).

Dieser Titel ist auch als digitale Ausgabe **click & study** (Bestell-Nr. 670291) unter [www.ccbuchner.de](http://www.ccbuchner.de) erhältlich.

Die enthaltenen Links verweisen auf digitale Inhalte, die der Verlag in eigener Verantwortung zur Verfügung stellt. Um diese Materialien zu verwenden, wird im Suchfeld auf [www.ccbuchner.de/medien](http://www.ccbuchner.de/medien) der jeweils angegebene Mediacode eingegeben.

Teildruck

1. Auflage, 1. Druck 2021

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

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

© 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: Mirjam Heintzeler, Georg Vollmer  
Layout und Satz: Wildner + Designer GmbH, Fürth



[www.ccbuchner.de](http://www.ccbuchner.de)

ISBN der vollständigen Auflage: 978-3-661-67029-4

Grundlegende physikalische Methoden..... 6

## 1 Mechanik und Energie

**Startklar Mechanik und Energie** ..... 12

**Kraftwandler**

1.1 Kraftwandler ..... 14

1.2 Schiefe Ebene ..... 16

1.3 Flaschenzug ..... 18

1.4 Hebel ..... 20

1.5 Themenseite: Kraftwandler im Alltag ..... 22

1.6 Teste dich ..... 24

**Arbeit, Energie, Leistung**

1.7 Arbeit ..... 26

1.8 Energieformen ..... 30

1.9 Energieumwandlung ..... 32

1.10 Energieerhaltung ..... 34

1.11 Arbeit als Energieübertragung ..... 36

1.12 Leistung ..... 38

1.13 Wirkungsgrad ..... 42

1.14 Themenseite: Energiewertigkeit und Energieentwertung ..... 44

1.15 Teste dich ..... 46

**Druck, Schweredruck und Luftdruck**

1.16 Druck als Zustandsgröße ..... 48

1.17 Druck im Teilchenmodell ..... 52

1.18 Druck als abgeleitete Größe ..... 54

1.19 Druckmessung ..... 58

1.20 Schweredruck in Wasser ..... 60

1.21 Schweredruck in Flüssigkeiten ..... 62

1.22 Luftdruck ..... 66

1.23 Höhenabhängigkeit des Luftdrucks ..... 68

1.24 Themenseite: Schweredruck im Alltag ..... 70

1.25 Themenseite: Luftdruck ..... 72

1.26 Teste dich ..... 74

1.27 Grundwissen ..... 76

1.28 Vermischte Aufgaben ..... 79



## 2 Wärmelehre



### Energie, Wärme und Temperatur

2.1	Mittlere kinetische Energie – Temperatur .....	84
2.2	Mittlere potenzielle Energie .....	86
2.3	Innere Energie .....	88
2.4	Wärme .....	90
2.5	Temperaturmessung .....	92
2.6	Aggregatzustandsänderungen .....	94
2.7	Volumenänderung .....	96
2.8	Anomalien von Wasser .....	98
2.9	Teste dich .....	102

### Energieübertragung und Erwärmungsgesetz

2.10	Konvektion .....	104
2.11	Wärmeleitung .....	106
2.12	Wärmestrahlung .....	108
2.13	Themenseite: Energietransport .....	110
2.14	Abhängigkeiten der Temperaturänderung .....	112
2.15	Spezifische Wärmekapazität und Erwärmungsgesetz .....	114
2.16	Leistung einer Wärmequelle .....	118
2.17	Teste dich .....	122
2.18	Grundwissen .....	124
2.19	Vermischte Aufgaben .....	127

## 3 Elektrizitätslehre

Startklar Elektrizitätslehre .....	132
<b>Elektromagnetismus</b>	
3.1 Magnetfeld eines geraden Leiters .....	136
3.2 Magnetfeld einer Spule .....	138
3.3 Kraftwirkung auf einen geraden Leiter .....	142
3.4 Stromdurchflossene Spule im Magnetfeld .....	144
3.5 Elektromotor .....	146
3.6 Teste dich .....	150
<b>Elektrische Energieübertragung und elektrische Leistung</b>	
3.7 Elektrische Energieübertragung .....	152
3.8 Elektrische Arbeit .....	154
3.9 Elektrische Spannung .....	158
3.10 Elektrische Leistung .....	162
3.11 Teste dich .....	166
<b>Leiterkennlinien und Widerstandsgesetz</b>	
3.12 Leiterkennlinien .....	168
3.13 Ohmsches Gesetz .....	170
3.14 Elektrischer Widerstand .....	172
3.15 Temperaturabhängigkeit des Widerstands .....	174
3.16 Widerstandsgesetz .....	176
3.17 Themenseite: Technische Widerstände .....	180
3.18 Teste dich .....	182
3.19 Grundwissen .....	184
3.20 Vermischte Aufgaben .....	187
Lösungen .....	190
Operatoren .....	204
Stichwortverzeichnis .....	205
Bildnachweis .....	207



Zu den wichtigsten Methoden in der Physik gehört die Auswertung physikalischer Versuche und das strukturierte Lösen physikalischer Rechenaufgaben. Zur physikalischen Erklärung vieler Ereignisse in Natur und

Technik wird das Teilchenmodell herangezogen. Diese bereits in Klassenstufe 8 thematisierten Grundlagen werden hier nochmals dargestellt.

Versuche durchführen und auswerten

Versuch durchführen

Bei vielen Versuchen in der Physik wird untersucht, wie sich zwei Größen zueinander verhalten. Die erste Größe ist diejenige, die man im Laufe des Experiments verändert bzw. vorgibt – man nennt sie deshalb die **unabhängige** (oder **vorgegebene**) **Größe**. Die zweite Größe, deren Werte man misst, ist von der ersten Größe abhängig. Man nennt sie deshalb die **abhängige Größe**.

Eine Modelleisenbahn bewegt sich auf gerader Strecke mit gleicher Motor-drehzahl fort. Vermutung: Sie legt in gleichen Zeitspannen gleich lange Strecken zurück. Folgende Werte ergeben sich:

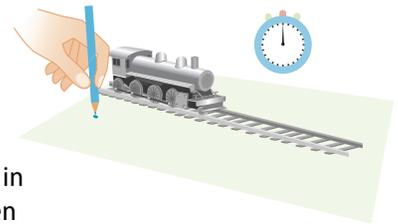


Abb. 1: Versuchsaufbau

$t$ in s	0	1,0	2,0	3,0	3,5	5,0	6,0
$s$ in m	0	0,12	0,22	0,35	0,39	0,54	0,66

$\cdot 3$   
 $\cdot 3$

Versuch grafisch auswerten

Diese beiden Größen trägt man in ein Koordinatensystem ein: die **unabhängige Größe** nach rechts (x-Achse), die **abhängige Größe** nach oben (y-Achse). Es entsteht ein x-y-Diagramm. Die Achsen werden mit den entsprechenden Größen inklusive Einheiten beschriftet.

Wenn eine **Ausgleichsstrecke** durch die Messwerte gelegt werden kann, so liegt eine direkte Proportionalität vor. Für eine Ausgleichsstrecke gilt: Alle Punkte liegen auf der Strecke oder knapp daneben (am besten gleichmäßig ober- und unterhalb).

Da die Messgenauigkeit beim Messen nicht beliebig genau ist und beim Messen Fehler entstehen können, werden die Messwerte als kleine Kreise gezeichnet.

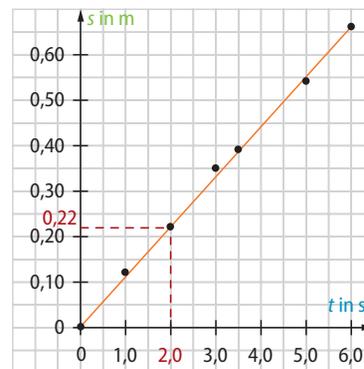


Abb. 2: Grafische Auswertung im t-s-Diagramm und Bestimmung der Proportionalitätskonstante

Im Rahmen der Messgenauigkeit existiert eine Ausgleichsstrecke, also gilt:  $s \sim t$ . Damit liegt eine gleichförmige Bewegung vor.

### Versuch numerisch auswerten

Zur numerischen Auswertung wird eine neue Tabellenzeile angelegt, in der (hier) der Quotient aus beiden Messgrößen berechnet wird. Die abhängige Größe ist dabei der Dividend (Zähler), die unabhängige der Divisor (Nenner).

Die Einheit des Quotientenwerts ergibt sich aus den Einheiten der auftretenden Größen. Der Quotientenwert muss dabei mit der richtigen Anzahl sinnvoller Ziffern angegeben werden.

$t$ in s	0	1,0	2,0	3,0	3,5	5,0	6,0
$s$ in m	0	0,12	0,22	0,35	0,39	0,54	0,66
$\frac{s}{t}$ in $\frac{m}{s}$	–	0,12	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11

Der Quotientenwert ist im Rahmen der Messgenauigkeit konstant, also gilt:  $s \sim t$ . Damit liegt eine direkte Proportionalität vor. Die Bewegung ist gleichförmig.

### Bestimmung einer Proportionalitätskonstante

- Bestimmung bei grafischer Auswertung**  
 Man sucht sich im x-y-Diagramm ein Wertepaar, das als Punkt auf der Ausgleichsstrecke liegt, und bildet den Quotienten  $\frac{y}{x}$  dieser beiden Werte.
- Bestimmung bei numerischer Auswertung**  
 Da man bereits alle Quotientenwerte berechnet hat, kann man einfach den Mittelwert berechnen.

$$v = \frac{s}{t}$$

$$v = \frac{0,22 \text{ m}}{2,0 \text{ s}} = 0,11 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\bar{v} = \frac{0,12 + 0,11 + 0,12 + 0,11 + 0,11 + 0,11}{6} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,11 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

## Rechenaufgaben unter Beachtung der sinnvollen Ziffern lösen

### Angabe von Größen

Bei der Angabe von Größen in der Physik spiegelt sich deren Genauigkeit wider. Es gilt: Je genauer ein Wert gemessen wurde, desto mehr **sinnvolle Ziffern** werden angegeben. Größen, die – mathematisch gesehen – identisch sind, sind es daher physikalisch gesehen oft nicht.

$\overset{1 \ 2}{2,3} \text{ mm} \neq \overset{1 \ 2 \ 3}{2,30} \text{ mm}$ , weil die Anzahl der sinnvollen Ziffern nicht gleich ist.

### Umrechnung von Größen

Beim Umrechnen von Größen in eine andere Einheit muss man darauf achten, dass sich die Anzahl sinnvoller Ziffern nicht ändert.

Beachtet man das Konzept der sinnvollen Ziffern nicht, würde sich die Genauigkeit eines Werts ändern.

Die beiden Längen  $l_1$  und  $l_2$  sind unter physikalischen Gesichtspunkten nicht gleich, da  $l_1$  auf 1 m und  $l_2$  auf 1 cm genau angegeben ist.

Zur Umrechnung von Größen ohne Änderung der Genauigkeit verwendet man deshalb oft Zehnerpotenzen.

$$\overset{1 \ 2}{2,3} \text{ mm} = \overset{1 \ 2}{0,23} \text{ cm} = \overset{1 \ 2}{0,023} \text{ dm}$$

$$l_1 = \overset{1 \ 2}{25} \text{ m} \neq l_2 = \overset{1 \ 2 \ 3 \ 4}{2500} \text{ cm}$$

$$l_1 = \overset{1 \ 2}{25} \text{ m} = \overset{1 \ 2}{25} \cdot 10^2 \text{ cm}$$

$$l_2 = \overset{1 \ 2 \ 3 \ 4}{2500} \text{ cm} = \overset{1 \ 2 \ 3 \ 4}{25,00} \text{ m}$$

**Addition und Subtraktion von Größen**

Wichtig ist, dass die Größen in der gleichen Einheit vorliegen.  
Falls das nicht der Fall ist, müssen einzelne Werte zunächst umgerechnet werden.

- **Größen gleicher Genauigkeit**  
Besitzen alle Werte dieselbe Genauigkeit, werden die Werte einfach addiert.
- **Größen unterschiedlicher Genauigkeit**  
Besitzen die Werte unterschiedliche Genauigkeiten, so wird das Ergebnis am Ende gerundet, und zwar entsprechend dem Wert mit der geringsten Genauigkeit.

$$t_{\text{ges}} = 64,3 \text{ s} + 62,8 \text{ s} + 63,2 + 61,6 \text{ s} = 251,9 \text{ s}$$

$$t_{\text{ges}} = 64,3 \text{ s} + 62,85 \text{ s} + 63,26 \text{ s} + 61,64 \text{ s} = 252,05 \text{ s}$$

Der erste Wert von 64,3 s ist der ungenaueste, also muss auf 0,1 s gerundet werden:

$$t_{\text{ges}} = 252,1 \text{ s}$$

**Multiplikation und Division von Größen**

Bei der Berechnung physikalischer Größen durch Produkte und Quotienten wird die Maßzahl des Ergebnisses auf so viele sinnvolle Ziffern gerundet, wie der ungenaueste Messwert besitzt.

Volumenberechnung mit  $V = l \cdot b \cdot h$ :

$$l = 16,5 \text{ cm}; b = 11,5 \text{ cm}; h = 4,9 \text{ cm}$$

Mathematisch berechnetes Volumen:

$$V = 16,5 \text{ cm} \cdot 11,5 \text{ cm} \cdot 4,9 \text{ cm} = 929,775 \text{ cm}^3$$

Durch die Multiplikation der Werte entsteht eine „Genauigkeit“, die nicht sinnvoll ist.

Physikalisch berechnetes Volumen:

$$V = 16,5 \text{ cm} \cdot 11,5 \text{ cm} \cdot 4,9 \text{ cm}$$

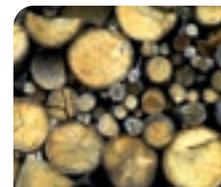
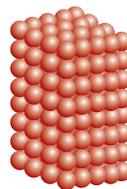
Der ungenaueste Messwert (4,9 cm) hat zwei sinnvolle Ziffern, weswegen der obige, mathematische Wert gerundet und auf zwei sinnvolle Ziffern angegeben wird:

$$V = 9,3 \cdot 10^2 \text{ cm}^3$$

**Teilchenmodell verwenden**

**Aggregatzustände im Teilchenmodell**

- **Festkörper**  
Die Teilchen eines Festkörpers sind eng benachbart und führen um ortsfeste Gitterplätze Eigenschwingungen aus. Zwischen den Teilchen wirken starke Kohäsionskräfte.



- **Flüssigkeit**

Die Teilchen sind etwas weiter voneinander entfernt und befinden sich in wechselnden Gleichgewichtslagen, um die sie ständig Eigenschwingungen ausführen. Zwischen den Teilchen wirken schwache Kohäsionskräfte, sodass sie sich gegeneinander verschieben lassen.



- **Gas**

Zwischen den Teilchen eines Gases ist der Abstand größer als bei Flüssigkeiten. Es wirken keine Kohäsionskräfte zwischen den Teilchen. Die Gasteilchen bewegen sich frei und regellos, sodass sie sich gleichmäßig in dem Raum verteilen, der ihnen zur Verfügung steht.



Abb. 3: Aggregatzustände im Teilchenmodell

## AUFGABEN

- 1 Zur Vorbereitung auf einen 5-km-Lauf trainiert Ola 30 min auf dem Laufband.

t in min	10	15	20	25	30
s in km	1,7	2,6	3,7	4,6	5,3

- Werte die Tabelle in einem  $t$ - $s$ -Diagramm aus.
  - Werte die Tabelle numerisch aus.
  - Erläutere den Zusammenhang der beiden Messgrößen.
  - Bestimme die Durchschnittsgeschwindigkeit in  $\frac{\text{km}}{\text{min}}$  und  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ .
- 2 Bei einer Schwimmstaffel über  $4 \times 200$  m werden folgenden Zeiten geschwommen:  
 1:54,27 min            1:56,73 min            1:55,60 min            1:54,90 min  
 Eine Wiederholung liefert die folgenden Messwerte:  
 1:54,30 min            1:56,68 min            1:55,55 min            1:55,0 min
- Berechne die Gesamtzeiten für beide Staffeln und beurteile das Endergebnis.  
Achte auf die Anzahl sinnvoller Ziffern.
  - Vergleiche die durchschnittliche Schwimmzeit durch Berechnung der Mittelwerte.
- 3 Die beiden Sonnensegel der ISS bestehen aus jeweils vier Solarelementen. Jedes Element hat eine Länge von ca. 35 m und ist 11,58 m breit.
- Berechne den Flächeninhalt eines einzigen Solarelements und den des gesamten Sonnensegels.
  - Vergleiche diese Fläche mit der eines Fußballfeldes von  $105 \text{ m} \times 68 \text{ m}$ .
- 4 Erkläre mithilfe des Teilchenmodells das Auflösen einer Schneeflocke und das anschließende Verdunsten der Wassertropfen. Veranschauliche die Vorgänge mithilfe selbst angefertigter Skizzen.

# 1

# Mechanik und Energie



Druck

Pascal

LEISTUNG

Nutzenergie

Energiewertigkeit

HEBEL



Schiefe Ebene

Luftdruck

Energie

Manometer

Flaschenzug

- Welche der Begriffe hast du schon gehört? Erkläre sie.
- Findest du weitere passende Bilder oder weitere Begriffe?
- Die Doppelseite ist gut für die Vorbereitung auf eine Schulaufgabe geeignet: Erkläre dazu (evtl. einem Partner) jeden Begriff und erläutere auch die Zusammenhänge zwischen ihnen. Ergänze gegebenenfalls fehlende Stichworte.



BAR



Energieerhaltung

GEWICHTSKRAFT

Kraftwandler

Energieformen

Teilchenmodell

ENERGIEUMWANDLUNG

Arbeit



WIRKUNGSGRAD

Verbundene Gefäße

Schweredruck

HEBELGESETZ

ENERGIEÜBERTRAGUNG

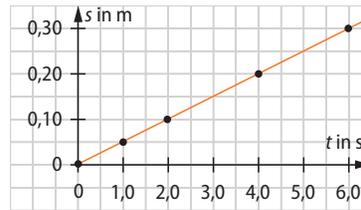
**Größen**

- Physikalische Grundgrößen sind solche, die nicht aus anderen Größen abgeleitet werden können.
- Die Länge  $l$  ist eine Grundgröße:  $[l] = 1 \text{ m}$ .
- Die Zeit  $t$  ist eine Grundgröße:  $[t] = 1 \text{ s}$ .



**Gleichförmige Bewegung**

- Eine Bewegung heißt gleichförmig, wenn sie geradlinig ist und in gleichen Zeiten gleich lange Wege zurückgelegt werden.
- Dann beschreibt der konstante Quotient aus Wegstrecke  $s$  und Zeitspanne  $t$  die **Geschwindigkeit**  $v$ :  $v = \frac{s}{t}$  mit  $[v] = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .



**Kräfte**

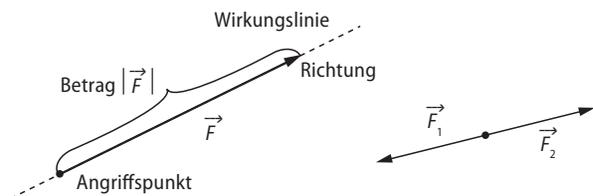
- **Kräfte** kann man an ihren Wirkungen erkennen.
- Die Kraft  $\vec{F}$  ist eine **vektorielle Größe** mit drei Bestimmungsstücken:  
**Kraftbetrag, Angriffspunkt, Richtung**
- Die Einheit der Kraft ist 1 Newton:  $[F] = 1 \text{ N}$ .
- Eine Kraft ruft stets eine gleich große Gegenkraft hervor (**Wechselwirkungsprinzip**).
- **Zwei Kräfte**, die **an einem Körper** angreifen, sind im **Gleichgewicht**, wenn sie den gleichen Betrag, die entgegengesetzte Richtung und dieselbe Wirkungslinie besitzen.

**dynamische Wirkung:**

Geschwindigkeitsänderung oder Richtungsänderung

**statische Wirkung:**

elastische oder plastische Verformung



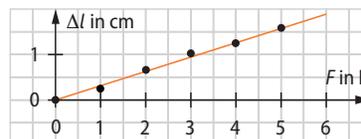
**Gravitation und Gewichtskraft**

- Alle Körper ziehen sich gegenseitig an (**Gravitation**).
- Die **Gewichtskraft**  $\vec{F}_G$  ist die Gravitationskraft der Erde auf einen Körper. Sie zeigt zum Erdmittelpunkt und wird kleiner, je weiter man sich von diesem entfernt.



**Kräfte an Federn**

- Im Elastizitätsbereich einer Schraubenfeder gilt das **Gesetz von Hooke**:  $\Delta l \sim F$ .



## Reibung

- Man unterscheidet folgende Reibungsarten: **Haftreibung, Gleitreibung, Rollreibung**
- Reibungskräfte wirken **gegen die Bewegungsrichtung**.
- Für die Beträge der Reibungskräfte gilt:  

$$F_{\text{Roll}} < F_{\text{Gleit}} < F_{\text{Haft}}$$

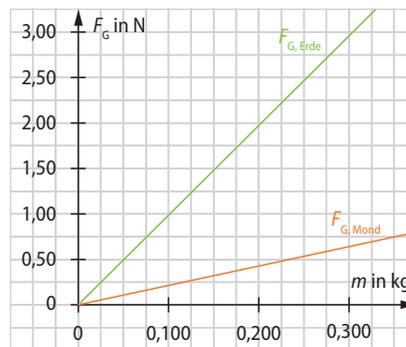


Modellvorstellung zur Haft- und Gleitreibung (links) und Rollreibung (rechts)

## Trägheit, Masse und Gewichtskraft

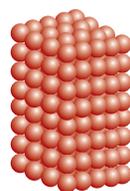
- Jeder Körper ist träge:** Er bleibt in Ruhe oder bewegt sich gleichförmig fort, wenn keine Kräfte auf ihn wirken oder die Kräfte auf den Körper im Gleichgewicht sind.
- Trägheit und Schwere bezeichnen eine ortsunabhängige Eigenschaft eines Körpers. Man bezeichnet sie als **Masse  $m$**  mit  $[m] = 1 \text{ kg}$ .
- Die Gewichtskraft  $F_G$  eines Körpers ist direkt proportional zu seiner Masse  $m$ :  $F_G \sim m$ .  
Der konstante Quotient heißt **Ortsfaktor  $g$** :  

$$g = \frac{F_G}{m} \text{ mit } [g] = 1 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$
- Der Wert des Ortsfaktors hängt ab von ...
  - der Masse des Himmelskörpers und
  - der Entfernung des Messortes vom Mittelpunkt des Himmelskörpers.



## Aggregatzustände und Teilchenmodell

- Alle Körper liegen in einem von drei Aggregatzuständen vor (**fest, flüssig, gasförmig**).
- Alle Körper bestehen aus Teilchen. Zwischen den Teilchen befindet sich ein Vakuum.
- Zwischen den Teilchen wirken Kohäsionskräfte.
- Körper unterscheiden sich durch die Art und die Anordnung der Teilchen.
- Alle Teilchen sind in **ständiger Eigenbewegung**.



fest



flüssig

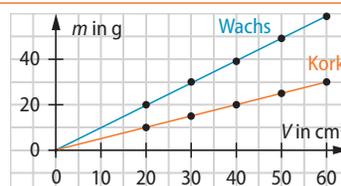


gasförmig

## Dichte

- Masse und Volumen** von Körpern aus demselben Material sind **direkt proportional**:  $m \sim V$ .  
Der Proportionalitätsfaktor heißt Dichte  $\rho$ :  

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ mit } [\rho] = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 1 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$$



## Einstieg

Mit einem gefüllten Werkzeugkasten und dem Wissen über die Einwirkung von Kräften auf Körper ist man gut darauf vorbereitet, handwerkliche Aufgaben im Alltag zu meistern.

- Wodurch ist die Wirkung einer Kraft festgelegt?
- Wie erklärst du es, dass dir das Festdrehen einer Schraube oder das Herausziehen eines Nagels mithilfe von Schraubenschlüssel oder Zange sehr viel leichter fällt als ohne Werkzeug?



## Versuche

**V1** Du sitzt auf einem Stuhl und erhältst ein Seil und einen Besenstiel. Damit sollst du einen anderen Stuhl, der ca. 2 m von dir entfernt ist, bewegen.

**Beobachtung:** Das Wegstoßen des Stuhls gelingt mit dem Besenstiel, das Heranziehen mit dem Seil, wenn du es als Lasso einsetzt.

**V2** Bewege eine Türklinke, indem du mit einem Finger nur auf die Mitte des Griffs drückst. Wiederhole den Versuch, indem du auf das Ende des Griffs drückst.

**Beobachtung:** Je weiter vom Drehpunkt entfernt der Griff angefasst wird, desto leichter lässt sich die Klinke bewegen.

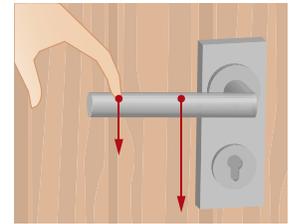


Abb. 1: Zu V2

**V3** Du hältst einen mit Sand gefüllten Eimer mit einem Seil und einer Umlenkrolle in der Schwebe. Miss die notwendige Haltekraft mit einem Kraftmessgerät und vergleiche ihre Bestimmungstücke mit denen der Gewichtskraft des Eimers.

**Beobachtung:** Die Haltekraft am Seil und die Gewichtskraft des Eimers haben verschiedene Richtungen, aber gleiche Beträge.

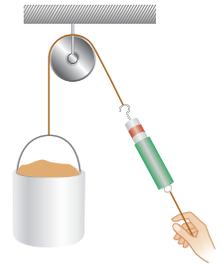


Abb. 2: Zu V3

## Erklärung

Bei den Versuchen ist das Wirken einer Kraft zu beobachten: Die Körper ändern ihren Bewegungszustand oder werden verformt. Durch die Verwendung des Besenstiels oder des Seils in V1 wird der **Angriffspunkt der Kraft** geändert (Wegstoßen bzw. Heranziehen des Stuhls). Bei V2 werden durch die Verwendung verschiedener **Angriffspunkte** unterschiedlich starke Kräfte auf die Türklinke ausgeübt. Hier ändert sich mit dem Angriffspunkt auch der **Betrag der ausgeübten Kraft**. Je weiter vom Drehpunkt entfernt die Kraft angreift, desto geringer ist der erforderliche Kraftbetrag, um die Klinke zu bewegen. Die Richtung der Kraft bleibt dabei unverändert: Der Finger übt eine Kraft nach unten aus und die Klinke bewegt sich in die gleiche Richtung. So eine Vorrichtung nennt man **Hebel**. Bei V3 werden durch die Verwendung des Seils und der Rolle der **Angriffspunkt** und die **Richtung der Kraft** geändert.

Hilfsmittel wie Seil, Hebel und Umlenkrolle werden genutzt, um **Kräfte umzuwandeln**. Man bezeichnet sie deshalb auch als **Kraftwandler**. Ihre Verwendung erleichtert mechanische Tätigkeiten, indem sie mindestens ein Bestimmungsstück einer Kraft ändern.

Erklärvideo  
unter 67029-01

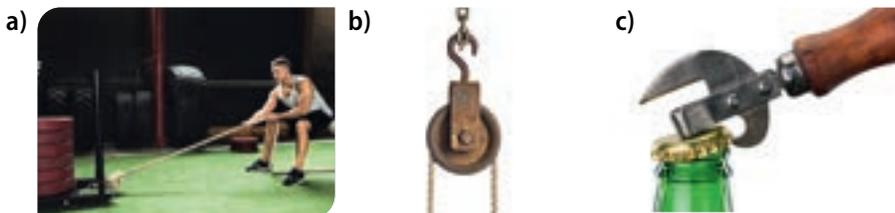


### Merkwissen

- **Kraftwandler** sind mechanische Geräte, die mindestens ein Bestimmungsstück einer Kraft ändern: den Angriffspunkt, den Kraftbetrag oder die Richtung der Kraft.
- Beispiele für Kraftwandler sind **Seile, Hebel und Umlenkrollen**.

### Aufgaben

1 Benenne die abgebildeten Kraftwandler und beschreibe, welche Bestimmungsstücke der relevanten Kräfte verändert werden.



2 Finde in deiner Umgebung Beispiele für Kraftwandler: Wo verwendest du Seile oder Stangen und wie setzt du diese ein?

3 Warum ist es manchmal sinnvoller, eine Stange anstelle eines Seils zu verwenden?

4 Um sehr schwere Gegenstände zu befestigen oder zu bewegen, verwendet man statt Seilen häufig Ketten, zum Beispiel beim Transport von Baumaschinen auf einem Anhänger (Abb. 3).



Abb. 3: Ladung festzurren

a) Beschreibe die Vorteile der Benutzung von Ketten anstelle von Seilen.

b) Informiere dich im Internet über mögliche Gefahren beim Transport von Baumaschinen und Baugeräten und über das richtige Sichern der Ladung auf der Ladefläche eines Lkw.

5 Recherchiere Informationen über die Entwicklung und Nutzung mechanischer Hilfsmittel: Seit wann und wofür werden Seile, Hebel und Rollen genutzt?



Abb. 4: Hilfsmittel nutzen

Einstieg

Manchmal verlaufen Straßen im Gebirge nicht auf dem kürzesten Weg den Berg hoch, sondern sind in Serpentin angelegt. Ebenso wird der Zugang zu höher gelegenen Stockwerken nicht senkrecht am Gebäude entlang hochgeführt, sondern mithilfe spezieller Rampen verlängert.



- Wäre es nicht besser, wenn diese Straßen und Rampen kürzer wären, damit der Weg, der zurückgelegt werden muss, nicht so weit ist?

Versuche

Arbeitsblatt zu V1 unter 67029-02



- V1** a) Lege an einen etwa 15 cm hohen Holzklötzchen verschiedene Bretter an, die zwischen 20 cm und 60 cm lang sind. Befestige einen Wagen an einem Kraftmessgerät und miss die jeweils erforderliche Kraft, um den Wagen in Ruhe zu halten.

**Beobachtung:** Je steiler die Rampe ist, desto größer ist die benötigte Haltekraft, um den Wagen in Ruhe zu halten.

- b) Wiederhole den Versuch mit einem Wagen, der eine größere (kleinere) Masse hat als der ursprüngliche. Bestimme mit dem Kraftmessgerät die Gewichtskraft des jeweiligen Wagens und vergleiche sie mit der benötigten Haltekraft.

**Beobachtung:** Bei größerer (kleinerer) Gewichtskraft des Wagens ist eine größere (kleinere) Haltekraft nötig. Der Betrag dieser Kraft ist stets kleiner als der Betrag der Gewichtskraft des Wagens.

- Material**
- 1 Holzklötzchen
  - dünne Holzbretter als Rampen
  - 1 Versuchswagen
  - 1 Kraftmessgerät



Abb. 1: Zu V1

Erklärung

Durch den Aufbau in V1 erhält man eine sogenannte **schiefe Ebene**. Je größer der **Neigungswinkel** der schiefen Ebene gegen die Horizontale ist, desto größer ist die benötigte Kraft, um einen Körper auf der Ebene **in Ruhe zu halten**. Diese **Haltekraft** ist die Gegenkraft zur **Hangabtriebskraft**  $\vec{F}_H$ , die den Körper den Hang hinunter beschleunigt und vom Neigungswinkel und von der Gewichtskraft des Körpers abhängig ist. Mithilfe der schiefen Ebene wird beim Überwinden von Höhenunterschieden die senkrecht nach unten wirkende Gewichtskraft  $\vec{F}_G$  eines Körpers in zwei Kräfte zerlegt (Abb. 2): in die **Hangabtriebskraft**  $\vec{F}_H$  und die **Normalkraft**  $\vec{F}_N$ . Die Hangabtriebskraft  $\vec{F}_H$  ist parallel zur schiefen Ebene gerichtet, die Normalkraft  $\vec{F}_N$  ist senkrecht zur Auflagefläche gerichtet. Du kennst die Normalkraft als Anpresskraft bereits von der Reibung.

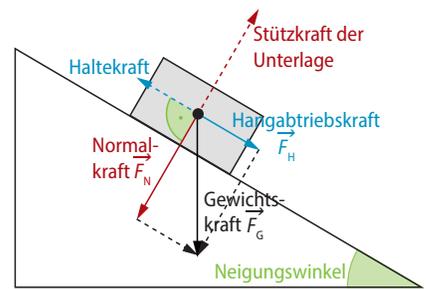


Abb. 2: Kräftezerlegung von  $\vec{F}_G$  in  $\vec{F}_H$  und  $\vec{F}_N$

Simulationen unter 67029-03



Bei einem Neigungswinkel von  $0^\circ$  beträgt die Hangabtriebskraft  $0\text{ N}$ ; die Normalkraft entspricht der Gewichtskraft. Bei einem Neigungswinkel von  $90^\circ$  ist die schiefe Ebene eine senkrechte Wand; hier entspricht die Hangabtriebskraft der Gewichtskraft, die Normalkraft senkrecht zur schiefen Ebene beträgt  $0\text{ N}$ .

- Eine ebene Fläche, die gegen die Horizontale geneigt ist, heißt **schiefe Ebene**.
- Bei der Überwindung von Höhenunterschieden ist die schiefe Ebene ein **Kraftwandler**: Die Gewichtskraft  $\vec{F}_G$  wird in die **Hangabtriebskraft**  $\vec{F}_H$  und die **Normalkraft**  $\vec{F}_N$  zerlegt.
- Zum Überwinden eines Höhenunterschieds muss eine Gegenkraft zur Hangabtriebskraft aufgebracht werden. Diese ist bei einem Neigungswinkel  $< 90^\circ$  stets geringer als der Betrag  $F_G$  der Gewichtskraft:  $F_H < F_G$ .

## Merkwissen

- 1 Ein Versuchswagen ( $F_G = 160\text{ N}$ ) wird eine Rampe mit einem Neigungswinkel von  $30^\circ$  nach oben gerollt (Abb. 3). Erstelle eine Zeichnung mit geeignetem Maßstab und ermittle durch Konstruktion die Beträge der Hangabtriebskraft und der Normalkraft, die auf den Wagen wirken. Gib die Ergebnisse in Kurzschreibweise an.

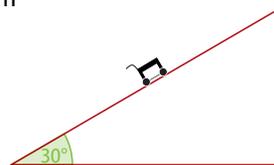


Abb. 3: Zu Musteraufgabe 1

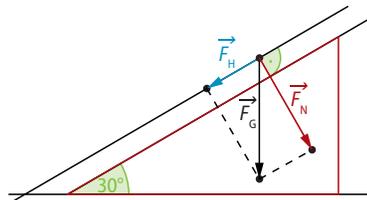
Lösung:

Konstruktion im Maßstab  $100\text{ N} \cong 1\text{ cm}$ :

$$|\vec{F}_G|: 1,6\text{ cm} \Rightarrow F_G = 16 \cdot 10\text{ N}$$

$$|\vec{F}_H|: 0,8\text{ cm} \Rightarrow F_H = 8 \cdot 10\text{ N}$$

$$|\vec{F}_N|: 1,4\text{ cm} \Rightarrow F_N = 14 \cdot 10\text{ N}$$



## Musteraufgaben

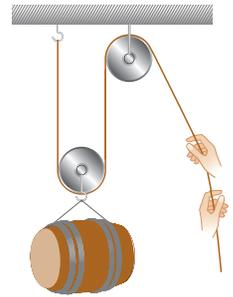
- 1 Finde in deiner Umgebung Gegenstände, z. B. Spielgeräte, Werkzeuge oder Gebäudeelemente, die auf dem Prinzip einer schiefen Ebene beruhen.
- 2 Begründe, warum die schiefe Ebene ein Kraftwandler ist.
- 3 Erkläre und begründe physikalisch, warum man ohne Hilfsmittel eine senkrechte, glatte Wand weder befahren noch erklettern kann.
- 4 a) In einer Seifenkiste ( $F_G = 50\text{ N}$ ) sitzt ein Kind ( $F_G = 450\text{ N}$ ) und fährt eine abschüssige Straße herunter. Die Straßenneigung beträgt  $5^\circ$  ( $11^\circ$ ). Ermittle grafisch ( $100\text{ N} \cong 1\text{ cm}$ ) die Hangabtriebskraft sowie die Normalkraft.  
b) Wie groß sind die Kräfte bei einer Straßenneigung von  $0^\circ$ ?

## Aufgaben

Einstieg

Mithilfe einer einfachen Konstruktion war es bereits vor Jahrhunderten möglich, schwere Lasten zu heben und zu halten.

- Aus welchen Bauteilen besteht die Konstruktion?
- Macht man sich mit der Masse der Bauteile das Heben und Halten nicht noch schwerer?
- Inwiefern ändert die Konstruktion die zum Halten notwendige Kraft?



Versuche

- V1** Eine lose Rolle wird mit einem Massestück an ein Seil gehängt; mit einem Kraftmessgerät an einer Stativstange wird die Gewichtskraft der Kombination ermittelt (Abb. 1 links). Anschließend wird an der Stativstange ein zweites Kraftmessgerät befestigt und die Kombination mit je einem Seilende so an beide Kraftmessgeräte gehängt, dass die Seilstücke parallel zueinander verlaufen.

**Beobachtung:** Jedes der beiden Kraftmessgeräte zeigt die Hälfte der gesamten Gewichtskraft an.

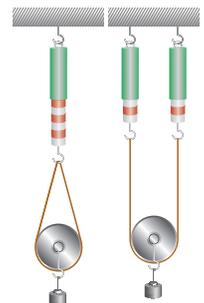


Abb. 1: Zu V1

- V2** Eines der beiden Kraftmessgeräte aus V1 wird durch eine feste Rolle ersetzt, über die nun das Seil läuft. Der Betrag der Kraft, die die Kraftmessgeräte an den beiden Seilenden anzeigen, wird erneut ermittelt, wobei auch die Richtung des Zugseils verändert wird.

**Beobachtung:** Die beiden Kraftmessgeräte zeigen wie in V1 jeweils die Hälfte der Gewichtskraft an. Es spielt keine Rolle, in welche Richtung das Seil gezogen wird.

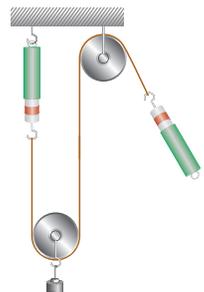


Abb. 2: Zu V2



Abb. 3: Zu V3

- V3** Das Seilende des freien Kraftmessgeräts aus V2 wird am Gestänge der losen Rolle befestigt. Im so erhaltenen Aufbau verläuft das Seil von dem an der Stativstange befestigten Kraftmessgerät über die lose, dann über die feste Rolle bis zum Gestänge der losen Rolle. Der Betrag der Haltekraft am Zugseil wird ermittelt und mit der Gewichtskraft des im Seil hängenden Körpers verglichen.

**Beobachtung:** Das Kraftmessgerät zeigt ein Drittel der Gewichtskraft an.

Erklärung

Durch die Verwendung eines Seils und einer losen Rolle in V1 kann man das Massestück an beiden Enden des Seils halten. Der Betrag der Gewichtskraft wird auf beide Seilstücke aufgeteilt, man spricht von **tragenden Seilstücken** oder **tragenden Seilen**. Eine feste Rolle wie in V2 verändert nur die Richtung, in die das Seil gezogen wird. Die Anzahl tragender Seilstücke und der Betrag der Zugkraft bleiben jedoch unverändert.

In V3 ergeben sich drei tragende Seilstücke, das Kraftmessgerät zeigt daher nur noch ein Drittel der Gewichtskraft an. Die Beobachtungen zu V1, V2 und V3 zeigen, dass die Anzahl der tragenden Seilstücke nicht der Anzahl der Rollen entspricht. Wenn man die Anzahl der tragenden Seilstücke weiter erhöhen will, sind zusätzliche feste bzw. lose Rollen erforderlich. Damit die Seilstücke nicht aneinander reiben, verwendet man jeweils mehrere Rollen, die miteinander verbunden sind. Bei der Verwendung von losen Rollen muss das Zugseil eine längere Strecke gezogen werden als die Strecke, die der Körper anzuheben ist.

In Abb. 4 hängt die Last an drei tragenden Seilstücken, auf die sich der Betrag der Gewichtskraft der Last  $F_L$  aufteilt.

Um die Last um  $h = 10 \text{ cm}$  anzuheben, muss das Seil um  $s = 30 \text{ cm}$  gezogen werden. Je mehr tragende Seilstücke vorhanden sind, desto weiter muss das Zugseil bewegt werden.

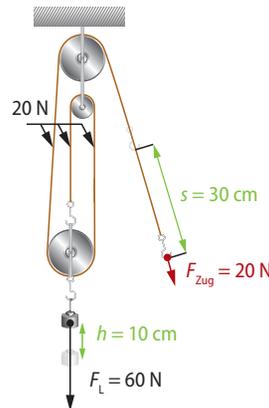


Abb. 4: Flaschenzug mit drei tragenden Seilstücken

Erklärvideos und Simulation  
unter 67029-04



- Der **Flaschenzug** ist ein **Kraftwandler** zum Halten und Heben schwerer Lasten. Er ist eine Kombination aus einem **Seil** und **festen** sowie **losen Rollen**.
- Der Betrag der **Zugkraft**  $F_{\text{Zug}}$  verringert sich entsprechend der Anzahl der **tragenden Seilstücke**.
- Die Strecke  $s$ , die das Zugseil bewegt werden muss, vergrößert sich entsprechend der Anzahl der tragenden Seilstücke.

## Merkwissen

- 1 Begründe physikalisch, warum ein Flaschenzug (Abb. 5) ein Kraftwandler ist.
- 2 Bei einer Kranflasche sind drei lose Rollen verbaut. Mit ihr soll ein Körper mit  $F_G = 120 \text{ kN}$  um  $h = 30 \text{ m}$  angehoben werden.
  - a) Wie viele tragende Seilstücke sind maximal möglich? Eine Skizze kann helfen.
  - b) Um welchen Faktor verringert sich die Zugkraft?
  - c) Wie weit muss das Kranseil gezogen werden?
- 3 Recherchiere im Internet Informationen zum Begriff „Flaschenzug“. Findest du andere Bezeichnungen dafür, z. B. im Englischen oder in der Seefahrt?



Abb. 5: Flaschenzug

## Aufgaben

Einstieg

Geräte wie Nageleisen und Kneifzangen findet man in jedem Baumarkt.

- Um einen Nagel aus einem Brett zu ziehen, nutzt man am besten ein Nageleisen. Erkläre, wie das Nageleisen verwendet wird.



Versuche

**V1** An einer Stativstange ist eine Hebelstange drehbar aufgehängt. Ein Kraftmessgerät (Messbereich ca. 10 N) wird mit einer weiteren Stativstange so am äußersten Ende der Hebelstange befestigt, dass mit ihm die Zugkräfte an der Hebelstange gemessen werden können. Nun wird ein Körper, auf den eine Gewichtskraft von 2 N wirkt, auf der gleichen Seite wie das Kraftmessgerät angebracht und die Zugkraft bestimmt. Das Massestück an der Hebelstange wird mehrmals verschoben und die Werte für die Zugkraft in Abhängigkeit von der Entfernung des Massestücks zum Drehpunkt werden gemessen.

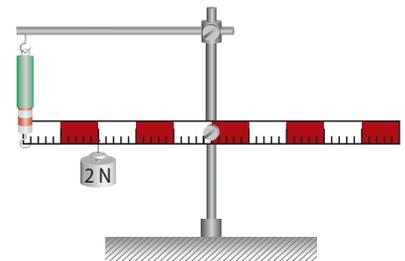


Abb. 1: Zu V1

**Beobachtung:** Der Betrag der gemessenen Zugkraft am Ende der Hebelstange wird umso größer, je weiter das Massestück vom Drehpunkt entfernt aufgehängt wird.

**V2** An einer Stativstange ist eine Hebelstange drehbar aufgehängt. Ein Massestück von 2 N wird in einer festen Entfernung vom Drehpunkt befestigt. Ein geeignetes Kraftmessgerät wird an verschiedenen Stellen der Hebelstange auf der gleichen Seite wie das Massestück befestigt und die Kraft gemessen,

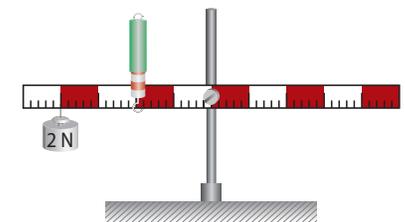


Abb. 2: Zu V2

die man benötigt, um die Hebelstange ins Gleichgewicht zu bringen. Später wird das Kraftmessgerät auf der anderen Seite des Drehpunktes angebracht.

**Beobachtung:** Der Betrag der benötigten Kraft ist umso kleiner, je weiter entfernt vom Drehpunkt das Kraftmessgerät befestigt wird. Wenn man das Kraftmessgerät auf der gleichen Seite der Hebelstange wie das Massestück anbringt, muss man nach oben ziehen. Befindet sich das Kraftmessgerät auf der anderen Seite des Drehpunktes, muss die Zugkraft nach unten gerichtet sein.

*Die Hebelstange befindet sich in einem Kräftegleichgewicht, wenn sie sich nicht dreht. Sie muss dazu nicht unbedingt waagrecht ausgerichtet sein.*

Erklärung

Bei einem **Hebel** handelt es sich um einen starren Körper, der um einen festen Punkt drehbar gelagert ist. Ein Hebel ist ein Kraftwandler, der mehrere Bestimmungsstücke von Kräften ändern kann; in jedem Fall ändert sich der Angriffspunkt der Kraft.

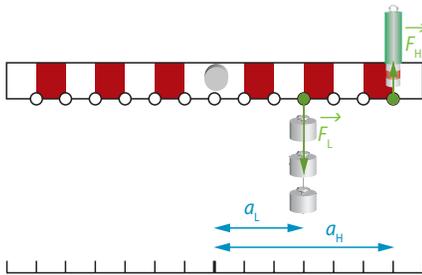


Abb. 3:  $\vec{F}_H$  und  $\vec{F}_L$  sind am einseitigen Hebel entgegengesetzt gerichtet.

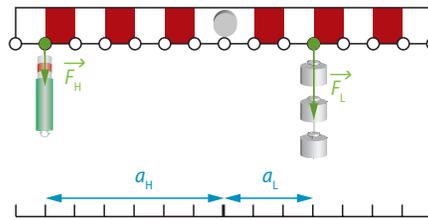


Abb. 4:  $\vec{F}_H$  und  $\vec{F}_L$  sind am zweiseitigen Hebel gleichgerichtet.

Die Kraft, die senkrecht zum Hebelarm wirkt und den Hebel in eine Drehbewegung versetzen möchte, bezeichnet man als **Last**, der Teil des Hebels zwischen Drehpunkt und Angriffspunkt der Last wird **Lastarm** genannt. Die Kraft, die den Hebel im Gleichgewicht hält, greift am Ende des Kraftarms an und ist ebenfalls senkrecht zum Hebel gerichtet. Je nach Länge des jeweiligen **Hebelarms** kann die ansonsten gleiche Kraft unterschiedlich starke Drehbewegungen erzeugen.

Um die durch die Last verursachte Drehbewegung auszugleichen, hat man verschiedene Möglichkeiten: Wenn die Kraft  $\vec{F}_H$  auf der gleichen Seite des Drehpunkts angreift (**einseitiger Hebel**, Abb. 3), muss sie die entgegengesetzte Richtung wie die Last  $\vec{F}_L$  haben. Greifen Last und Kraft auf unterschiedlichen Seiten des Drehpunkts an (**zweiseitiger Hebel**, Abb. 4), haben beide die gleiche Richtung. Für alle Hebel, die bei Einwirkung von Kräften senkrecht zum Hebelarm nicht in Drehung versetzt werden, gilt die **Gleichgewichtsbedingung**: Eine durch eine Last erzeugte Drehbewegung wird durch eine entgegengesetzt gerichtete, gleich große Drehbewegung ausgeglichen.

- Jeder starre Körper, der um einen festen Punkt drehbar ist, kann als **Hebel** genutzt werden und eignet sich so als **Kraftwandler**. Das Wirken einer Kraft auf einen Hebelarm will eine **Drehbewegung des Hebels** hervorrufen. Dabei darf die Kraft nicht parallel zum Hebelarm gerichtet sein.

## Merkwissen

- 1 Nenne drei Küchenutensilien oder Werkzeuge, die als Hebel eingesetzt werden.
- 2 Begründe, warum der Hebel ein Kraftwandler ist.
- 3 Finde heraus, welche Teile einer Tür wie ein Hebel funktionieren, d. h. als starre Körper, die sich um eine Achse drehen lassen.



Abb. 5: Hebel bei einer Tür

## Aufgaben

### Schrauben als schiefe Ebenen

Schiefe Ebenen werden typischerweise bei der Konstruktion von Rampen verwendet, um Höhenunterschiede leichter überwinden zu können. Man nimmt dafür in Kauf, dass man einen längeren Weg zurücklegen muss als ohne Rampe.

Wenn man eine schiefe Ebene um eine Stange wickelt, erhält man eine Schraube. Mit Schrauben kann man sehr leicht eine Verbindung z. B. zwischen zwei Holzstücken herstellen. Dafür muss die Schraube in das Holz gedreht werden, was einen relativ geringen Kraftaufwand, aber viele Umdrehungen erfordert. Der dafür eingesetzte Schraubendreher (auch „Schraubenzieher“ genannt) ist die Kombination einer Stange und eines Hebels: Die Stange verlagert den Angriffspunkt der Kraft vom Handgriff zum Ende der „Klinge“, während die unterschiedlichen Durchmesser von Handgriff und Klinge eine Hebelwirkung zur Folge haben.



Abb. 1: Schrauben und Schraubendreher

- Erkläre die Hebelwirkung beim Schraubendreher.
- Recherchiere, inwiefern andere Werkzeuge die Funktionsweisen von Kraftwandlern ausnutzen.

### Der Flaschenzug im Gebirge

Seit der Antike werden Krane eingesetzt, um schwere Lasten anzuheben. Das Grundprinzip ist dabei gleich geblieben: Direkt über der Last wird, meist mithilfe von Stangen oder an einem Träger, ein Flaschenzug angebracht. Mit einem Haken an der Vorrichtung wird die Last angehoben, indem am Zugseil gezogen wird. Mit Flaschenzügen können Lasten mit geringerem Kraftaufwand gehoben werden, daher werden sie u. a. zur Rettung und Bergung von Menschen im Gebirge eingesetzt. Selbst bei einer Zweier-Seilschaft, von der ein Mitglied in eine Gletscherspalte gestürzt ist, ist eine Rettung möglich: Mithilfe von Kletterseil und Karabinern (anstelle von losen Rollen) wird ein sogenannter „Schweizer Flaschenzug“ gebaut, sodass der Gestürzte vom Kameraden aus der Spalte gezogen werden kann. Ohne Flaschenzug wäre dies fast unmöglich.



Abb. 2: Karabiner und Knoten für die Seilrolle

- Begründe mithilfe deines Grundwissens, warum ein „Schweizer Flaschenzug“ einen höheren Kraftaufwand erfordert als ein Flaschenzug mit Rollen.
- Du benutzt einen Flaschenzug fast jeden Tag, ohne es zu wissen, nämlich bei deinen Schnürsenkeln. Erkläre, wie du mithilfe des Grundprinzips des Flaschenzugs deine Schuhe bindest.

## Hebel im Alltag

Bei der Betrachtung der Anatomie von Menschen und Tieren findet man viele Beispiele von Weg sparenden Hebeln: Muskeln bewegen Knochen um ein Gelenk, indem sie enorme Zugkräfte aufbringen und durch Sehnen nahe am Gelenk mit dem Knochen verbunden sind. Wenn der ca. 35 cm lange Unterarm eines Menschen eine Getränkepackung mit einer Masse von 1,0 kg hält, wirkt eine Gewichtskraft von ca. 9,8 N nach unten. Da die Bizepssehne nur ca. 3,5 cm vom Ellbogen entfernt befestigt ist, muss der Muskel mit ungefähr dem zehnfachen Kraftbetrag ziehen, um die Drehbewegung auszugleichen.

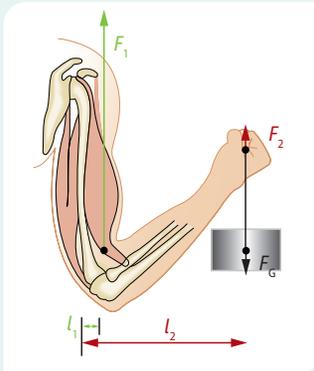


Abb. 3: Kräfteverhältnisse am Bizeps

- Mit welcher Kraft muss der Bizepsmuskel ziehen, wenn der Arm aus dem Beispiel oben eine Last von 4,5 kg heben soll?

Im Alltag werden Hebel meist als kraftsparende Werkzeuge eingesetzt. Beim Herausziehen eines Nagels mit einem Nageleisen, beim Öffnen einer Nuss mit einem Nussknacker – der Bediener übt seine Kraft am längeren Hebelarm aus, die Last greift am kürzeren Arm an. Dadurch wird der Betrag der Kraft, die aufgebracht werden muss, oft erheblich verringert.



Abb. 4: Fahrradbremse

- Wie kommt es durch das Ziehen des Bremshebels zu einer so starken abbremsenden Kraftwirkung? Recherchiere.

## Kraftwandler in der Technik

Bei Drehkränen wirkt der Kranarm wie ein Hebel. Je nach Ausladung darf die Maximallast, die einer Tabelle oder einem Lastdiagramm entnommen werden kann, nicht überschritten werden.

Das ist jedoch nicht der einzige Kraftwandler, den man bei einem Kran finden kann. Zum Anheben schwerer Lasten werden auch Flaschenzüge in den Kränen verbaut.



Abb. 5: Drehkräne im Einsatz

- Begründe, warum ein Drehkran ein schweres Massestück auf der anderen Mastseite oder Stützen benötigt.
- Erkläre, warum in einem Drehkran ein Flaschenzug verbaut ist, obwohl die Last von einem leistungsstarken Elektromotor gehoben wird.

Aufgaben zur Einzelarbeit

Die Lösungen zu dieser Doppelseite stehen im Anhang.

- 1 Teste dich! Bearbeite dazu die folgenden Aufgaben und bewerte die Lösungen mit einem Smiley.
- 2 Die Aufgaben haben unterschiedliche Schwierigkeitsgrade: **leicht** **mittel** **schwer**

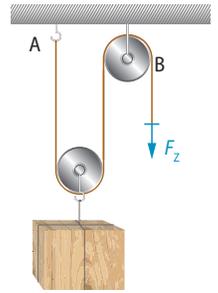
😊	😐	😞
Das kann ich!	Das kann ich fast!	Das kann ich noch nicht!

- 1 Welche Bestimmungsstücke sind nötig, um eine Kraft zu beschreiben? Gib auch die Wirkungen von Kräften an. Verwende physikalische Fachbegriffe.
- 2 Zeichne zwei schiefe Ebenen mit einem Neigungswinkel von  $15^\circ$  bzw. von  $45^\circ$ , auf denen Körper mit der gleichen Gewichtskraft  $\vec{F}_G$  liegen, nutze dabei einen geeigneten Maßstab. Zeichne die zugehörige Normalkraft und die Hangabtriebskraft ein. Vergleiche die Kräfte beider Zeichnungen miteinander.
- 3 Ein Skifahrer ( $m = 81,5 \text{ kg}$ ) fährt einen schneebedeckten Hang hinab. Die Hangneigung beträgt  $40^\circ$ . Ermittle grafisch ( $10 \text{ N} \cong 1 \text{ mm}$ ) die Beträge der wirkenden Hangabtriebskraft sowie der Normalkraft.
- 4 Um eine festsitzende Schraube zu lösen, stehen zwei passende Schraubenschlüssel mit unterschiedlichen Längen zur Verfügung. Finde Argumente, die für bzw. gegen die Verwendung des jeweiligen Schraubenschlüssels sprechen.



- 5 Erstelle eine Übersicht der dir bekannten Kraftwandler, aus der hervorgeht, welche Bestimmungsstücke der Kraft jeweils geändert werden.
- 6 a) Bestimme die Anzahl der tragenden Seilstücke, wenn bei einem Flaschenzug die Aufhängung einer einzelnen losen Rolle fest mit dem Zugseil verbunden ist. Eine Skizze kann dabei helfen.  
b) Wie verändert sich jeweils die Anzahl der tragenden Seilstücke, wenn weitere lose Rollen ergänzt werden? Recherchiere gegebenenfalls.

- 7 Am abgebildeten Flaschenzug ist eine Zugkraft  $F_Z$  von 220 N nötig, um das System im Gleichgewicht zu halten. Die Masse des Seils, der Rollen und Reibungskräfte können vernachlässigt werden.



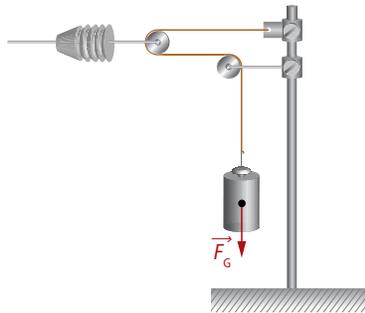
- a) Welche Masse hat der angehängte Körper?
- b) Welche Kräfte wirken in den Punkten A und B?
- 8 Ein Gegenstand mit einer Gewichtskraft von 2,4 kN soll durch einen Flaschenzug angehoben werden. Durch den Arbeiter kann eine maximale Zugkraft von 700 N aufgebracht werden. Beschreibe einen geeigneten Flaschenzug, mit dem der Arbeiter den Gegenstand anheben kann.

- 9 Erkläre die Funktionsweise des abgebildeten Nussknackers.

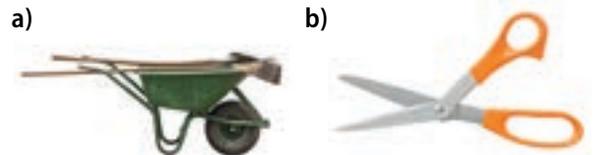


- 10 Man kann Hebel in Kraft sparende Hebel und in Weg sparende Hebel einteilen.
  - a) In welche Kategorie würdest du einen Nussknacker einordnen?
  - b) Knochen wie der Unterarm des Menschen sind durch Muskeln um ein Gelenk drehbar. Zu welcher Hebelkategorie werden sie gezählt?
  - c) Vergleiche die Längen von Kraft- und Lastarm beim Kraft sparenden bzw. Weg sparenden Hebel.

- 11 Erkläre mithilfe der Abbildung die Funktionsweise des Flaschenzugs.



- 12 „Eine Schubkarre ist ein einseitiger Hebel, eine Schere ist ein zweiseitiger Hebel.“  
Nimm zu dieser Aussage einen begründeten Standpunkt ein. Mache dir zunächst Gedanken über die Angriffspunkte der Kraft bzw. der Last in Bezug auf den Drehpunkt.



### Aufgaben für Lernpartner

- 1 Bearbeite die folgenden Aufgaben alleine.
  - 2 Suche dir einen Partner und erkläre ihm deine Lösungen. Höre aufmerksam und gewissenhaft zu, wenn dein Partner dir seine Lösungen erklärt.
  - 3 Korrigiere gegebenenfalls deine Antworten und benutze dazu eine andere Farbe. Sind folgende Behauptungen **richtig** oder **falsch**? Begründe schriftlich.
- A Die schiefe Ebene ändert als Kraftwandler ausschließlich den Angriffspunkt der benötigten Kraft.
- B Eine Treppe ist eine Form der schiefen Ebene.
- C Bei einem Flaschenzug sollte jede Seilschlinge über eine eigene lose Rolle laufen.
- D Man kann einen Flaschenzug auch so verwenden, dass man zwar eine größere Kraft aufbringen muss, die Last aber weiter bewegt wird, als man sich selbst bewegen muss.
- E Die Lenkstange eines Fahrrads ist ein Hebel.
- F An einem Hebel im Gleichgewicht wirkt eine Kraft und ihre Gegenkraft.

Aufgabe	Ich kann ...	Hilfe
1	Kräfte an ihrer Wirkung erkennen und ihre Bestimmungsstücke nennen.	S. 14
2, 3, A, B	die auf einen Körper an einer schiefen Ebene wirkenden Kräfte konstruieren und das Prinzip der schiefen Ebene auf Alltagssituationen anwenden.	S. 16
4, 5	verschiedene Kraftwandler nennen, ihre Funktionsweise erklären und ihren Einsatz im Alltag begründen.	S. 14, 16, 18, 20
6, 7, 8, 11, C, D	die Funktionsweise von Flaschenzügen erklären und mithilfe einfacher Berechnungen Aussagen über relevante Größen am Flaschenzug machen.	S. 18
9, 10, 11, 12, E, F	Hebel im Alltag identifizieren, ihre Funktionsweise erklären und mithilfe einfacher Berechnungen Aussagen über relevante Größen am Hebel machen.	S. 20

Einstieg

Der Fahrer eines Fahrdienstes nutzt eine schiefe Ebene, um einen Rollstuhl auf die Ladefläche seines Fahrzeugs zu befördern.



- Warum ist es sinnvoll, hier einen Kraftwandler zu verwenden?
- Was müsste der Fahrer ändern, um den Betrag der aufzubringenden Kraft weiter zu verringern?

Versuche

**V1** Ein Holzklötz mit gleichbleibender Masse wird auf einer schiefen Ebene in eine bestimmte Höhe gezogen, dabei werden der in Wegrichtung wirkende Kraftbetrag  $F$  und die zurückzulegende Strecke  $s$  gemessen. Anschließend wiederholt man den Vorgang an einer Rampe mit geändertem Steigungswinkel.

$s$ in m	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50
$F$ in N	1,8	0,9	0,6	0,5	0,3

**Beobachtung:** Mit der Änderung des Steigungswinkels ändert sich die Länge der zurückzulegenden Strecke. Verdoppelt (verdreifacht) sich die Strecke, halbiert (drittelt) sich der Kraftbetrag.

Die wirkenden Reibungskräfte sollen bei diesem Versuch vernachlässigt werden.

**V2** Halte eine Schultasche fest in deiner Hand. Gehe nun 3 m weiter. Benenne die Art der Kraft, welcher du entgegenwirken musst, und gib ihre Richtung an. Wie unterscheidet sich der Zusammenhang zwischen der Kraft  $F$  und der Strecke  $s$  in den Versuchen V1 und V2?



Abb. 1: Zu V2

**Beobachtung:** Beim Tragen der Tasche wird der Gewichtskraft der Tasche, die senkrecht nach unten wirkt, entgegengewirkt. Im Gegensatz zu V1, bei dem die Kraft entlang der Strecke wirkt, steht die Richtung der Kraft bei V2 senkrecht zur Strecke.

Arbeitsblatt zu V3 unter 67029-06



**V3** Führe den unten beschriebenen Versuch durch. Erstelle anschließend eine Skizze zum Versuchsablauf und beschreibe, welche Kraftwirkungen du bei den einzelnen Schritten beobachten kannst.

- 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.

**Beobachtung:** Der Klotz wird angehoben, geschoben und beschleunigt, der Knetwürfel wird verformt.

**Material**  
 – Tisch  
 – Holzklötz  
 – Seil  
 – Knetwürfel

Um wie in V1 einen Gegenstand auf eine bestimmte Höhe anzuheben, muss der Gegenstand mit einer Kraft bewegt werden. Hierfür kann der Betrag der Kraft mithilfe einer schiefen Ebene als Kraftwandler verringert werden. Dabei verlängert sich jedoch die zurückzulegende Strecke.

Die genaue Betrachtung des Zusammenhangs zwischen der **in Wegrichtung wirkenden Kraft  $\vec{F}$**  und der Strecke  $s$  führt zur Aussage (Abb. 2): **Je länger die Strecke  $s$ , desto kleiner ist der Betrag der benötigten Kraft  $\vec{F}$ .**

Mathematisch lässt sich eine indirekte Proportionalität vermuten, die durch die Auswertung von V1 überprüfbar ist. Dazu wird das Produkt  $F \cdot s$  gebildet. Die Auswertung zeigt, dass die Messwertpaare aus Kraftbetrag  $F$  und Strecke  $s$  (im Rahmen der Messgenauigkeit) produktgleich sind. Die beiden Größen verhalten sich somit indirekt proportional zueinander.

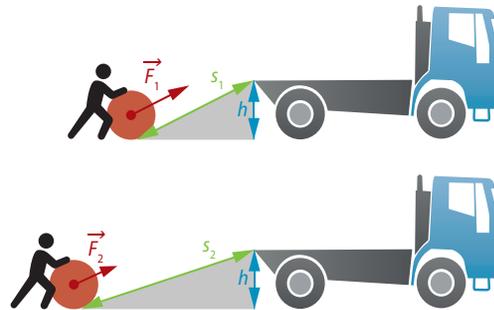


Abb. 2: Je länger die Strecke, desto kleiner die benötigte Kraft.

$s$ in m	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50
$F$ in N	1,8	0,9	0,6	0,5	0,3
$F \cdot s$ in Nm	0,45	0,5	0,5	0,5	0,5

Tab. 1: Zu V1

Im Gegensatz zu V1 wird in V2 die Tasche in horizontaler Richtung 3 m weit transportiert. Eine gleichgerichtete horizontale Kraft wirkt dabei nicht, da die spürbare Haltekraft vertikal gerichtet ist. Somit gilt in V2:  $F \cdot s = 0 \text{ Nm}$ .

Da das Produkt aus Kraft und Weg für einen bestimmten Körper immer gleich ist und den Kraftaufwand beschreibt, um diesen Körper längs eines Weges zu bewegen, nennt man es in der Physik **Arbeit  $W$**  (engl. „work“). Die Einheit der Arbeit ist **das Joule**. Für die Berechnung der Arbeit ist diejenige Kraft entscheidend, die **entlang des zugehörigen Weges** wirkt. **1 Joule Arbeit** wird verrichtet, wenn man einen Körper, auf den eine Gewichtskraft von 1 N wirkt, um 1 m anhebt.

Die physikalische Arbeit, die in vielen Situationen des Alltags vorkommt, lässt sich in verschiedene Arten von Arbeit unterteilen (Tab. 2).

Hubarbeit $W_{\text{Hub}}$	Reibungsarbeit $W_{\text{R}}$	Beschleunigungsarbeit $W_{\text{B}}$	Verformungsarbeit $W_{\text{V}}$
Hubarbeit wird verrichtet, wenn ein Körper hochgehoben wird.	Reibungsarbeit wird verrichtet, wenn ein Körper entgegen einer Reibungskraft bewegt wird.	Beschleunigungsarbeit wird verrichtet, wenn ein Körper aufgrund einer Beschleunigungskraft schneller oder langsamer wird.	Verformungsarbeit wird verrichtet, wenn ein Körper durch eine Kraft verformt wird.

Tab. 2: Arten von Arbeit



Abb. 3: James Prescott Joule (1818 – 1889)

**Merkwissen**

work (engl.): Arbeit

- Die **mechanische Arbeit**  $W$  ist das Produkt aus dem Betrag einer Kraft  $\vec{F}$  und dem Weg  $s$ , wobei die Kraft konstant und entlang des zugehörigen Weges gerichtet ist:  $W = F \cdot s$  mit  $\vec{F} \parallel \vec{s}$ .
- Die Einheit der Arbeit ist **das Joule** (abgekürzt J):  $[W] = 1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$ .
- **Goldene Regel der Mechanik:** Durch Einsatz eines Kraftwandlers kann die Arbeit, die verrichtet werden muss, nicht verkleinert werden.
- Mechanische Arbeit wird unterteilt in **Hubarbeit, Reibungsarbeit, Beschleunigungsarbeit** und **Verformungsarbeit**.

**Musteraufgabe**

- 1 Wer verrichtet mehr Arbeit beim Klettern: Fred mit seinen 60 kg und einer Kletterhöhe von 5,0 m oder Paul mit 70 kg und nur 4,0 m Kletterhöhe? Berechne.

Lösung:

geg.:  $m_{\text{Fred}} = 60 \text{ kg}; h_{\text{Fred}} = 5,0 \text{ m};$   
 $m_{\text{Paul}} = 70 \text{ kg}; h_{\text{Paul}} = 4,0 \text{ m}; g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

ges.:  $W_{\text{Fred}}; W_{\text{Paul}}$

Ansatz:  $W = F_G \cdot h; F_G = m \cdot g$

Rechnung:  $W_{\text{Fred}} = 60 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 5,0 \text{ m} = 2,9 \cdot 10^3 \text{ Nm}$

$W_{\text{Paul}} = 70 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 4,0 \text{ m} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ Nm}$

Antwort: Fred verrichtet mehr Arbeit als Paul.



Abb. 4: An der Kletterwand

**Aufgaben**

- 1 Bei vielen Vorgängen im Alltag werden mehrere Arten von Arbeit gleichzeitig verrichtet, beispielsweise in V3.
- Welche beiden Arten von Arbeit spielen in V3 eine Rolle?
  - Finde weitere Beispiele aus dem Alltag, in denen mehrere Arten von Arbeit gleichzeitig auftreten.
- 2 Ein Experimentierwagen mit bekannter Gewichtskraft  $\vec{F}_G$  wird über schiefe Ebenen unterschiedlicher Länge jeweils in die Höhe  $h = 0,30 \text{ m}$  gezogen. Der Betrag der erforderlichen Zugkraft  $\vec{F}_{\text{Zug}}$  in Abhängigkeit von der Länge des Weges  $s$  (Länge der schiefen Ebene) wird gemessen. Werte die Tabelle numerisch aus und gib als Ergebnis den Mittelwert  $(\overline{F \cdot s})$  an.

$s$ in m	0,32	0,50	0,65	0,80	1,05	1,20
$F$ in N	1,81	1,18	0,89	0,74	0,56	0,49
$F \cdot s$ in J	■	■	■	■	■	■

- 3 Erkläre die Goldene Regel der Mechanik mit eigenen Worten. Nimm dazu die numerische Auswertung von V1 zu Hilfe.

- 4 Stelle dir folgende Vorgänge vor und beschreibe, welche Kraft eingesetzt wird, welche Auswirkung der Kraftaufwand auf den betroffenen Gegenstand hat und welche Art von Arbeit verrichtet wurde.



- a) Ein Personenaufzug fährt mit gleichbleibender Geschwindigkeit vom Erdgeschoss in die dritte Etage.
- b) Bei einem Ausflug blieb der Wagen stehen und musste geschoben werden.
- c) Beim Start eines Formel-1-Rennens nimmt die Geschwindigkeit eines Rennwagens zu.
- d) Ein Bogenschütze spannt seinen Bogen.
- 5 Elektromonteur Harry ( $m = 85 \text{ kg}$ ) klettert den Mast einer Starkstromleitung hinauf, um die Befestigung der Leitungen zu überprüfen. Das Werkzeug, das er mitnimmt, hat eine Masse von insgesamt  $13 \text{ kg}$ . Beim Hinaufsteigen verrichtet der Monteur an sich und seiner Ausrüstung Hubarbeit von  $11,5 \text{ kJ}$ . Wie hoch ist er geklettert?
- 6 Ein Kran hebt  $1,0 \text{ t}$  Ziegel auf das Dach eines Hauses (Höhe  $15 \text{ m}$ ).
- a) Wie viel Arbeit muss der Kran verrichten?
- b) Der Kran kann maximal  $450 \text{ kJ}$  Arbeit verrichten, wenn er eine Last um  $15 \text{ m}$  heben soll. Welche Gewichtskraft dürfen die Ziegel in diesem Fall haben?
- c) Bestimme die Masse der Dachziegel aus Teilaufgabe b).
- 7 Bei einem Wohnungsbrand pumpt die Feuerwehr das im Tanklöschfahrzeug mitgeführte Wasser in das  $15 \text{ m}$  höher gelegene Stockwerk. Die Motorpumpe verrichtet dabei eine Arbeit von  $235 \text{ kJ}$ . Wie viele Liter Wasser wurden hochgepumpt?
- 8 Ein Lift befördert 5 Personen mit einer Gesamtmasse von  $440 \text{ kg}$  vom Erdgeschoss in den 24. Stock eines Hochhauses, wobei er eine Höhendifferenz von  $78,0 \text{ m}$  überwindet. Die Eigenmasse des Liftes wird durch eine Gegenmasse ausgeglichen. Berechne die Arbeit, die der Liftmotor dabei verrichten muss, in  $\text{kJ}$ .
- 9 Paul „reißt“ eine Hantel zur Hochstrecke ( $2,1 \text{ m}$ ) und verrichtet dabei eine Hubarbeit von  $3,7 \text{ kJ}$ . Bestimme die Masse der Hantel.



Abb. 5: Hanteln in Hochstrecke

## Einstieg

Die Tour de France ist das berühmteste Radrennen der Welt. Die Sportler legen auf 21 Etappen über einen Zeitraum von drei Wochen eine Gesamtstrecke von rund 3500 km zurück.

- Erkläre, inwiefern die Sportler in physikalischem Sinn Arbeit verrichten.
- Informiere dich über eine typische Tagesration eines Rennfahrers der Tour de France. Warum müssen die Radfahrer so viel Nahrung zu sich nehmen?



## Versuche

- V1** Ein schwerer Hammer wird auf eine geeignete Höhe über eine Walnuss angehoben, dann lässt man den Hammer auf die Walnuss herabfallen.

**Beobachtung:** Der zunächst durch Hubarbeit angehobene Hammer zerbricht die Walnuss, er verrichtet dabei Verformungsarbeit an ihr.



Abb. 1: Zu V1

- V2** In ein Spielzeugauto wird eine Batterie eingelegt, danach wird das Auto der Masse  $m$  so ausgerichtet, dass es mit der Geschwindigkeit  $v$  auf einen Knetkörper trifft.
- Die Stärke der Verformung am Knetkörper wird ausgemessen.
  - Der Versuch wird wiederholt mit dem gleichen Auto bei gleicher Masse, aber doppelter Geschwindigkeit (mit gleicher Geschwindigkeit bei doppelter Masse).

**Beobachtung:** Das Fahrzeug ist erst nach Einlegen der Batterie in der Lage, Beschleunigungsarbeit zu verrichten. Beim Aufprall verrichtet das Auto Verformungsarbeit am Knetkörper. Je größer die Masse bzw. je höher die Geschwindigkeit, desto stärker ist die Verformung der Knete.

Arbeitsblatt zu V3  
unter 67029-07



- V3** Entferne an den Enden zweier Kabel jeweils ein Stück Isolierung, sodass der blanke Draht herausragt. Wickle ein Drahtende um eine Büroklammer und eines um den Stift einer Reißzwecke. Stecke die Reißzwecke und die Büroklammer mit etwas

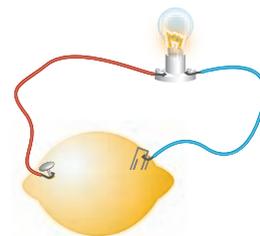


Abb. 2: Zitronenbatterie

**Material**

- 2 Kabel
- 1 Büroklammer
- 1 Reißzwecke
- 1 Zitrone
- 1 Glühlämpchen

Abstand voneinander in eine Zitrone. Halte die beiden anderen Kabelenden an ein kleines Glühlämpchen: ein Ende an die Windungen der Fassung und eines an den Kontaktpunkt unterhalb des Lämpchens.

**Beobachtung:** Das Lämpchen leuchtet.

**V4** Auf einen dicken Eisennagel, dessen Spitze mit einer Zange festgehalten wird, wird eine Minute lang kräftig mit einem Hammer eingeschlagen. Anschließend wird die Temperatur des Nagels mit der eines unbehandelten Nagels verglichen.

**Beobachtung:** Der behandelte Nagel hat eine spürbar höhere Temperatur.

Durch das Verrichten von Arbeit an einem Körper kann dieser in die Lage versetzt werden, selbst Arbeit zu verrichten (V1). Die physikalische Größe, die es einem Körper ermöglicht, Arbeit zu verrichten, nennt man **Energie**. Diese „gespeicherte Arbeit“ hat – wie die Arbeit – die physikalische Einheit **Joule**. Es gibt folgende **Energieformen**:

- In Batterien ist **chemische Energie** gespeichert (V2 und V3). Sie steckt jedoch auch in Nahrungsmitteln und Brennstoffen. Damit Lebewesen und Maschinen diese Energie nutzen können, wird sie durch Verbrennung freigesetzt.
- Körper, die sich in Bewegung befinden, speichern **Bewegungsenergie** bzw. **kinetische Energie**. Sie steigt mit der Geschwindigkeit und Masse des Körpers (V2).
- Energie, die ein Körper aufgrund seiner Lage hat, heißt **Lageenergie** oder **potenzielle Energie**. Sie ist gespeichert, solange der Körper seine Lage beibehält. Sie wird freigesetzt, wenn der Körper näher zum Erdmittelpunkt gebracht wird. Je größer die Masse eines Körpers ist, umso größer ist auch seine Lageenergie (V1). Spannt man einen elastischen Körper, dann verändert sich ebenfalls seine **potenzielle Energie**.
- Erhöht sich die Temperatur eines Körpers, steigt seine **innere Energie** (V4). Diese ist auch abhängig von der Masse des Körpers.
- Als **elektrische Energie** bezeichnet man Energie, die durch elektrischen Strom übertragen oder in elektrischen Bauteilen gespeichert wird (V3).

**Energie** ist eine Speicher- bzw. Zustandsgröße. Sie gibt die Fähigkeit eines Körpers an, **Arbeit** zu verrichten. Man unterscheidet die **Energieformen**:

- chemische Energie  $E_{\text{chem}}$
- kinetische Energie  $E_{\text{kin}}$  (Bewegungsenergie)
- potenzielle Energie  $E_{\text{pot}}$  (Lageenergie)
- innere Energie  $E_i$
- elektrische Energie  $E_{\text{el}}$

**1** Beschreibe Alltagsvorgänge, bei denen in einem oder mehreren Körpern ...

- a) kinetische Energie ...
- b) potenzielle Energie ...
- c) innere Energie ...
- d) kinetische und potenzielle Energie ...
- e) kinetische und innere Energie ...
- f) potenzielle und innere Energie ...
- g) kinetische, potenzielle und innere Energie ... gespeichert wird.

## Erklärung

Simulation  
unter 67029-08



## Merkwissen

## Aufgaben

## Einstieg

Seit dem Jahr 2000 ist Trampolinspringen eine offizielle Sportart der olympischen Spiele. Als Freizeitbeschäftigung begeistert es Kinder und Jugendliche.

- Welche Energieformen kannst du im Bild ausmachen?
- Beschreibe den Bewegungsablauf mit Hilfe der Energieformen.



## Versuche

**V1** Es wird ein nahezu reibungsfreies Fadenpendel aufgebaut mit einem langen dünnen Faden, einem festen unbeweglichen Knoten und einem kleinen, aber schweren Pendelkörper.

- a) Das ruhende Pendel wird so weit ausgelenkt, dass sich der Pendelkörper in einer festgelegten Höhe  $h$  befindet, und dann losgelassen (Abb. 1).

**Beobachtung:** Das Pendel schwingt sehr lange hin und her. Bevor der Körper die Bewegungsrichtung umkehrt, ist er für einen kurzen Zeitpunkt in Ruhe. Am schnellsten ist er, wenn er den tiefsten Punkt seiner Bahn durchläuft.

- b) Nun wird der Pendelvorgang gestartet, indem der ruhende Pendelkörper mit einem kleinen Hammer waagrecht angestoßen wird.

**Beobachtung:** Es liegt die gleiche Pendelbewegung wie in a) vor.

- c) Mit dem Ziel, den Pendelkörper in Bewegung zu bringen, wird der Körper mit einer Kerze erwärmt.

**Beobachtung:** Der Pendelkörper bleibt in Ruhe.

**V2** Baue mithilfe einer Batterie, dreier Kabel, einem Schalter und einer Glühlampe einen geschlossenen Stromkreis auf.

**Beobachtung:** Die Lampe leuchtet bei entsprechender Schalterstellung.

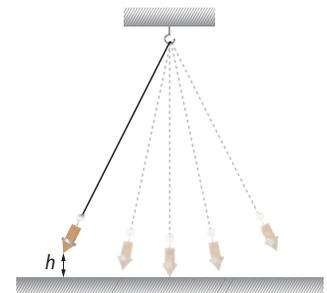


Abb. 1: Fadenpendel zu V1

## Erklärung

Bei V1 wird der Pendelkörper nach der Auslenkung aufgrund der auf ihn wirkenden Gewichtskraft in Bewegung versetzt. Im **Startpunkt** speichert er hierbei ausschließlich **potenzielle Energie**, die im Laufe der Bewegung durch Beschleunigungsarbeit in kinetische Energie umgewandelt wird. Im **tiefsten Punkt** ist die Lageenergie in **kinetische Energie umgewandelt**. Die Trägheit des Körpers sorgt dafür, dass er sich weiterbewegt. Am Pendelkörper wird Hubarbeit verrichtet und er gewinnt wieder an Höhe. Dadurch steigt die **potenzielle Energie** des Körpers, seine kinetische Energie nimmt ab. Im **Wendepunkt** steht der Körper für einen kurzen Moment still, die kinetische Energie wurde in Lageenergie umgewandelt.

Der Versuch zeigt, dass Energieformen von einer Form in eine andere umgewandelt werden können (Abb. 2). Zusätzlich wird bei allen Vorgängen ein Teil der ursprünglichen Energie auch in **innere Energie** umgewandelt: Da das Pendel nicht ganz reibungsfrei schwingt, wird in V1 die innere Energie des Körpers bei jeder Energieumwandlung durch die Reibungsarbeit des Pendels an der Pendelaufhängung und an den Luftteilchen erhöht. In V2 kann man den **Anstieg der inneren Energie** durch die Erwärmung der Lampe wahrnehmen. Das Leuchten der Lampe wird ermöglicht durch die in der Batterie gespeicherte **chemische Energie**, die in **elektrische Energie** und anschließend in **Strahlungsenergie** umgewandelt wird.

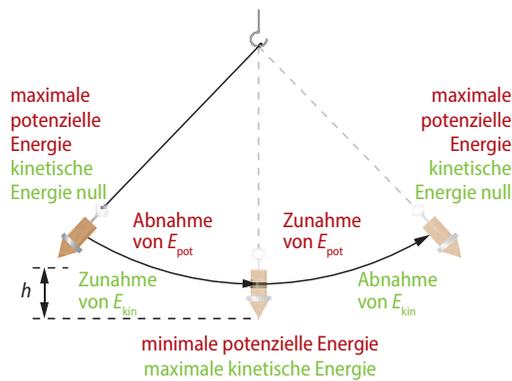


Abb. 2: Energieumwandlung (ohne Reibung) beim Pendel

- **Energieformen** können ineinander **umgewandelt** werden.
- Bei physikalischen **Energieumwandlungen** wird immer ein Teil der Energie in innere Energie umgewandelt.

- 1 Notiere die jeweils auftretende Energieumwandlung, z. B. für „Ein Apfel fällt vom Baum“:  $E_{\text{pot}} \rightarrow E_{\text{kin}} + E_{\text{i}}$ 
  - 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.
- 2 Ein Rennwagen beschleunigt beim Start auf ebener Strecke.
  - a) Nenne die stattfindende Energieumwandlung.
  - b) Warum ist es wichtig zu wissen, dass die Strecke eben ist?
- 3 Notiere für folgende Vorgänge die jeweiligen Energieumwandlungen. Teile dazu die Vorgänge in einzelne Etappen ein.
  - a) Ein Mensch springt auf dem Trampolin (Einstiegsbeispiel).
  - b) Eine Person springt mit einem Bungee-Seil von einer Brücke (Abb. 3).
  - c) Ein Stein wird über die ruhige Wasseroberfläche geworfen und hüpfet mehrfach auf, bevor er versinkt (Abb. 4).
- 4 Bewerte folgende Aussage: „Jeder Vorgang im Universum ist mit Energieumwandlungen verbunden.“

## Merkwissen

## Aufgaben



Abb. 3: Bungee-Jumping



Abb. 4: Steine hüpfen lassen

Einstieg

Das Kugelstoßpendel, auch „Newton-Wiege“ genannt, dient oft zur Dekoration auf einem Schreibtisch, zur Entspannung oder zum Entdecken verblüffender Effekte.



- Welche Energieumwandlungen finden während der Pendelbewegung statt?
- Kann man sich wirklich sicher sein, dass das Pendel bei korrekter Handhabung nicht weiter ausschlägt als bis zur Ausgangsposition?

Versuche

- V1** Ein Fadenpendel wird aufgebaut mit einem langen dünnen Faden, einem festen unbeweglichen Knoten und einem kleinen schweren Pendelkörper.
- a) Ein Körper aus zerbrechlichem Material (z. B. ein Reagenzglas) wird mit etwas Abstand zum Ruhepunkt des Pendels aufgestellt bzw. aufgehängt. Nun wird das Pendel so weit ausgelenkt, dass der Pendelkörper den Körper berührt, und dann losgelassen.

**Beobachtung:** Der Pendelkörper nähert sich dem Reagenzglas, ändert jedoch kurz zuvor wieder seine Richtung, das Glas bleibt intakt.

- b) Zu den in der Abbildung markierten Punkten werden Balkendiagramme erstellt, die die jeweils vorhandenen Energieformen  $E_{\text{pot}}$ ,  $E_{\text{kin}}$  und  $E_i$  beschreiben.

**Beobachtung:** Zu Beginn besitzt der Körper ausschließlich potenzielle Energie. Ein Teil dieser potenziellen Energie wird in innere und kinetische Energie umgewandelt. Am tiefsten Punkt des Pendels hat der Körper den Anteil an innerer Energie vergrößert und die kinetische Energie erreicht den Maximalwert. Beim Hochschwingen wird ein Teil der kinetischen Energie in innere und potenzielle Energie umgewandelt.

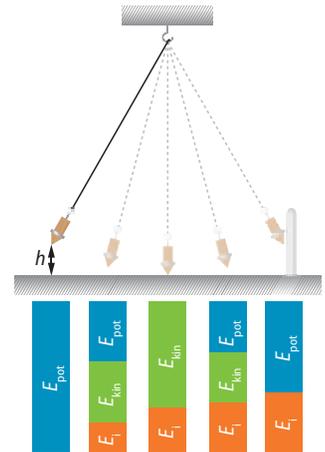


Abb. 1: Zu V1 b)

Erklärung

Beim Betrachten des Vorgangs zu V1 lässt sich während der andauernden Pendelbewegung feststellen, dass genau drei Energieformen,  $E_{\text{kin}}$ ,  $E_{\text{pot}}$  und  $E_i$ , unter entsprechenden Umwandlungen beteiligt sind (Abb. 2). Dabei sinkt die potenzielle und die kinetische Energie, weswegen das Pendel nicht mehr seine Ausgangshöhe erreicht. Lediglich die innere Energie nimmt aufgrund der Energieumwandlung durch Reibung stetig zu.

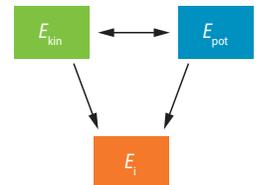


Abb. 2: Energieumformungen am Beispiel des Pendels

Insgesamt bleibt die **Gesamtenergie**, d. h. die Summe der drei Energieformen, dieses abgeschlossenen, von außen nicht beeinflussten Systems konstant. Dieser Zusammenhang stellt in der Physik einen der wichtigsten Sätze dar, den **Energieerhaltungssatz**. Er besagt, dass die Energie eines Körpers bzw. eines Systems ohne äußere Einwirkung nicht mehr oder weniger werden kann. Energie kann also nicht geschaffen werden und auch nicht verlorengehen, hinter der Änderung eines Energiezustands steht immer eine Energieumwandlung.

- **Energieerhaltungssatz:** Energie kann nicht verbraucht und nicht produziert werden, sie wird lediglich **in andere Energieformen umgewandelt**.
- In einem abgeschlossenen System ergibt sich die **Gesamtenergie** aus der **Summe** der einzelnen Energieformen.

### Merkwissen

Simulation  
unter 67029-09



### Aufgaben

1 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.  
Erstelle zu den einzelnen Etappen der Fahrradtour geeignete Balkendiagramme, welche die verschiedenen Energieformen darstellen.



Abb. 3: Fahrradtour

2 Wird ein Ball fallen gelassen, erreicht er nach dem ersten Aufkommen fast wieder seine Ausgangshöhe (Abb. 4).  
Erstelle zur Ballbewegung ein Balkendiagramm hinsichtlich der Energieerhaltung. Beachte, welche Schritte dabei beschrieben werden sollen.



Abb. 4: Zu Aufgabe 2

- 3 Skizziere ein  $t$ - $E$ -Diagramm für ein Fadenpendel mit Reibung.
- 4 Weshalb werfen sich Wrestling-Sportler zuerst gegen die Seile, bevor sie sich auf den Gegner stürzen?
- 5 Recherchiere das Swing-by-Manöver bei der Raumfahrt. Erkläre die Methode mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes deinem Nachbarn.

Einstieg

Energie kommt nicht „aus dem Nichts“. Durch das Anheben eines Körpers erhöht sich jedoch seine potenzielle Energie.

- Liegt hier nicht ein Widerspruch zum Energieerhaltungssatz vor?
- Woher kommt die zusätzliche Energie?



Versuche

**V1** Ein Versuchswagen ist über eine Schnur mit einem Massestück verbunden, die Schnur verläuft über eine feste Rolle. Wagen und Massestück werden so ausgerichtet, dass sich das Massestück in einer bestimmten Höhe befindet. Nun wird das Massestück fallen gelassen und notiert, wie sich die Energien der Körper verändern.

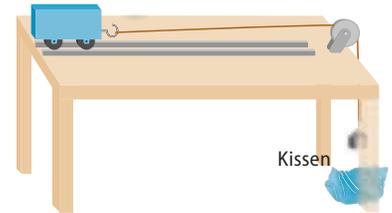


Abb. 1: Zu V1

**Beobachtung:** Am Wagen wurde Beschleunigungsarbeit verrichtet; seine kinetische Energie nimmt zu, die potenzielle Energie des Massestücks nimmt ab.

**V2** Ein Stapel Bücher wird von einem Tisch hochgenommen und mit einer konstanten Geschwindigkeit möglichst ruhig zu einem anderen Ort getragen. Die Veränderung der Energie des Stapels während des Anhebens bzw. des Tragens wird notiert.

**Beobachtung:** Während des Anhebens wird am Bücherstapel Hubarbeit verrichtet, die potenzielle Energie der Bücher erhöht sich. Während des Tragens verändert sich die Energie der Bücher nicht.

Arbeitsblatt zu V3  
unter 67029-10



**V3** Halte eine Feder waagrecht knapp über deinem Tisch. Positioniere in kurzer Entfernung einen Würfel aus Knetmasse und richte die Feder danach aus.

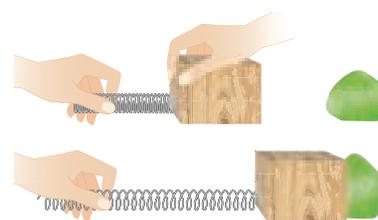


Abb. 2: Zu V3



- Material
- Feder
  - Knetwürfel
  - Kugel
  - Holzquader

Presse nun die Feder mit einer Kugel bzw. einem Holzquader zusammen und lasse sie los. Welche Energieänderungen kannst du wahrnehmen?

**Beobachtung:** Durch das Zusammenpressen der Feder (Verformungsarbeit) speichert die Feder potenzielle Energie. Nach dem Loslassen erhöht sich die kinetische Energie beider Körper, an beiden wird Beschleunigungsarbeit verrichtet, und die gespeicherte Energie der Feder wird frei, nimmt also ab. Die Kugel wird anschließend vom Knetwürfel abgebremst, der Holzquader wird durch die Reibung (Reibungsarbeit) abgebremst. Der Knetwürfel verformt sich plastisch, weil an ihm Verformungsarbeit verrichtet wird.

Nach dem **Energieerhaltungssatz** kann Energie weder verbraucht noch produziert werden. In V1 bis V3 ändern sich jedoch die Energien der Körper, indem an ihnen Arbeit verrichtet wird und eine **Energieübertragung** stattfindet. In V1 überträgt das Massestück durch das Verrichten von Beschleunigungsarbeit die potenzielle Energie auf den Wagen, der diese umgewandelt als kinetische Energie speichert. Die physikalische Arbeit kann entsprechend mit der Energieübertragung gleichgesetzt werden (Abb. 3).

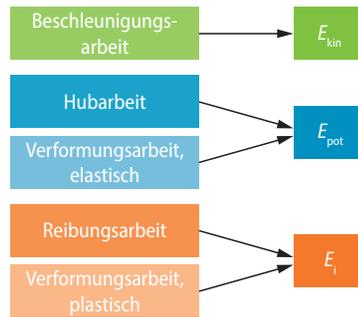


Abb. 3: Arbeitsarten und Energieformen

Gleichzeitig kann sie in V1 auch damit begründet werden, dass während des Beschleunigungsvorgangs eine Kraft über einen bestimmten Weg auf den Körper wirkt ( $W = F \cdot s$ ). Das Massestück verrichtet dabei Arbeit am Wagen, da seine Energie abnimmt. Am Versuchswagen hingegen wird Arbeit verrichtet, da sich dessen Energie erhöht (Abb. 4).

Ändert sich die Energie eines Körpers während eines Vorgangs nicht, z. B. beim Tragen eines Bücherstapels (V2), wird auch keine Arbeit an diesem Körper verrichtet. Natürlich gibt es auch Vorgänge, bei denen mehrere Arbeitsarten verrichtet werden. So wird in V3 während des Auftreffens der Kugel im Knetwürfel Beschleunigungsarbeit (die Kugel wird abgebremst) und Verformungsarbeit (der Knetwürfel verformt sich) verrichtet.

## Erklärung

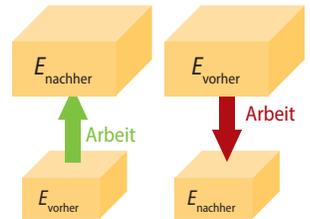


Abb. 4: Energieerhöhung, wenn an einem Körper Arbeit verrichtet wird (links), und Energieabnahme, wenn der Körper Arbeit verrichtet (rechts).

- Die **physikalische Arbeit**  $W$  gibt an, wie viel **Energie** von einem Körper auf einen anderen Körper **übertragen** wird.
- Die Energie eines Körpers nimmt zu, wenn an ihm Arbeit verrichtet wird:  
 $E_{\text{nachher}} > E_{\text{vorher}}$  und  $W = E_{\text{nachher}} - E_{\text{vorher}} > 0 \text{ J}$
- Die Energie eines Körpers nimmt ab, wenn der Körper Arbeit verrichtet:  
 $E_{\text{nachher}} < E_{\text{vorher}}$  und  $W = E_{\text{nachher}} - E_{\text{vorher}} < 0 \text{ J}$

## Merkwissen

1 Wird hier in physikalischem Sinn Arbeit verrichtet? Begründe deine Antwort, indem du die jeweilige Energieumwandlung benennst.

a)



b)



c)



2 Den verschiedenen Arten der physikalischen Arbeit können verschiedene Energieformen zugeordnet werden (Abb. 3). Beschreibe dazu jeweils einen Vorgang aus deinem Alltag.

## Aufgaben

Einstieg

Tim (84,3 kg) und Josip (61,5 kg) treten in einem Wettkampf zum Seilklettern an. Für die Höhendifferenz von 5,0 m benötigt Tim 9,2 s, Josip nur 7,4 s.



- Wer ist aus sportlicher Sicht der Sieger? Begründe.
- Wie kann mithilfe der verrichteten Arbeit und der benötigten Zeit ein Gewinner bestimmt werden?

Versuche

Arbeitsblatt zu V1 unter 67029-11



**V1** Im Treppenhaus deiner Schule finden sportliche Physikversuche statt: Zwei Schüler rennen vom Erdgeschoss in den dritten Stock. Bestimme die Masse, die Streckenlänge (vertikal) und die benötigte Zeit beider Schüler und berechne die Gewichtskraft sowie die verrichtete Arbeit. Vergleiche die Werte der Arbeit und der benötigten Zeit und formuliere Aussagen darüber, wer der sportliche und wer der physikalische Sieger ist.

**Material**  
 - Treppenhaus  
 - 2 Schüler  
 - 1 Körperwaage  
 - 1 Längenmessgerät  
 - 1 Stoppuhr

**Beobachtung:** „Sportlicher Sieger“ ist der, der die kürzere Zeit für die Strecke benötigt. „Physikalischer Sieger“ ist der, der die größere Arbeit pro Zeit verrichtet hat.

**V2** Von zwei Elektromotoren soll geprüft werden, welcher der beiden physikalische Arbeiten schneller verrichten kann. Dazu wird für jeden der beiden Elektromotoren die zum Heben der Masse  $m$  bis zur Höhe  $h$  verrichtete Arbeit  $W_{\text{Hub}}$  in Abhängigkeit von der benötigten Zeit  $t$  gemessen. Die vorgegebene Zeit  $t$  kommt in die erste Zeile der Tabelle, die abhängigen Größen  $h$  und  $W_{\text{Hub}}$  in die zweite bzw. dritte Zeile.

1 Elektromotor 1 mit  $m = 1,0 \text{ kg}$ ;  $F_G = m \cdot g = 1,0 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 9,8 \text{ N}$

$t$ in s	0	20	40	60	80	100
$h$ in m	0,00	0,20	0,45	0,60	0,80	0,95
$W_{\text{Hub}} = F_G \cdot h$ in J	0,0	2,0	4,4	5,9	7,8	9,3

2 Elektromotor 2 mit  $m = 400 \text{ g}$ ;  $F_G = m \cdot g = 0,400 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 3,92 \text{ N}$

$t$ in s	0	20	40	60	80	100
$h$ in m	0,00	0,35	0,65	1,10	1,40	1,80
$W_{\text{Hub}} = F_G \cdot h$ in J	0,0	1,4	2,5	4,31	5,49	7,06

Tab. 1: Messwerttabellen für den Vergleich zweier Elektromotoren

**Beobachtung:** Je größer die verrichtete Arbeit, desto mehr Zeit wurde benötigt. In der doppelten Zeit wird ungefähr die doppelte Arbeit verrichtet.

Aufgrund der Beobachtung in V2 kann eine **direkte Proportionalität** zwischen der verrichteten Arbeit  $W_{\text{Hub}}$  und der Zeit  $t$  vermutet werden. Um dies zu überprüfen, werden die Messwerte **grafisch ausgewertet** (Abb. 1). Aus der **grafischen Auswertung** folgt, dass die zu den Messwertpaaren gehörenden Punkte auf einer Ausgleichsstrecke liegen. Die Steigung der Ausgleichsstrecke des Elektromotors 1 ist hierbei größer als die des Elektromotors 2. Eine zweite Möglichkeit zur Überprüfung der direkten Proportionalität ist die **rechnerische Auswertung der Messung**. Dazu wird für jedes Messwertpaar der Quotient  $\frac{W_{\text{Hub}}}{t}$  berechnet und überprüft, ob dieser Quotient für alle Messwertpaare gleich bzw. konstant ist.

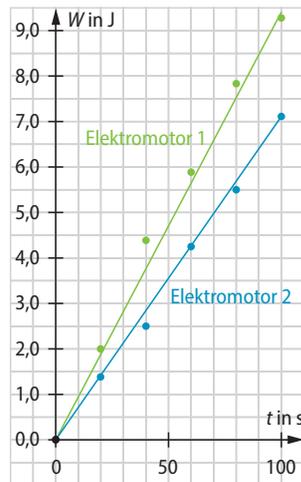


Abb. 1: Grafische Auswertung der Messungen zu V2

1	$\frac{W_{\text{Hub}}}{t}$ in $\frac{\text{J}}{\text{s}}$	-	0,10	0,11	0,098	0,098	0,093
2	$\frac{W_{\text{Hub}}}{t}$ in $\frac{\text{J}}{\text{s}}$	-	0,070	0,063	0,072	0,069	0,0706

Im Rahmen der Messgenauigkeit ist der Quotient aus der Hubarbeit  $W_{\text{Hub}}$  und der Zeit  $t$  konstant. Aus der Quotientengleichheit folgt, dass die physikalische Arbeit direkt proportional zur benötigten Zeit ist:  $\frac{W_{\text{Hub}}}{t} = \text{konstant} \Rightarrow W_{\text{Hub}} \sim t$ .

Die **Konstante**  $\frac{W}{t}$  ist eine physikalische Eigenschaft jeder Maschine, sie wird als **physikalische Leistung**  $P$  (engl. „power“) bezeichnet. Weil sich die physikalische Leistung aus den physikalischen Grundgrößen  $W$  und  $t$  ableiten lässt, bezeichnet man die Leistung als eine abgeleitete physikalische Größe. Die **physikalische Leistung** ist die von einer Maschine in einer bestimmten Zeit verrichtete Arbeit:  $P = \frac{W}{t}$ .

Für den Vergleich mechanischer Vorgänge reicht die Angabe der verrichteten Arbeit nicht aus, auch die benötigte Zeit ist zu berücksichtigen (V1). So wird bei mechanischen Vorgängen mehr geleistet, wenn dieselbe Arbeit schneller verrichtet werden kann bzw. wenn in der gleichen Zeit die größere Arbeit verrichtet wird.

Ein Vergleich der Mittelwerte der Quotienten aus V2 ergibt die Leistungen:

$$P_{\text{E-Motor 1}} = \left(\frac{W}{t}\right)_{\text{E-Motor 1}} = 0,10 \text{ W} \quad P_{\text{E-Motor 2}} = \left(\frac{W}{t}\right)_{\text{E-Motor 2}} = 0,069 \text{ W}$$

Mit  $0,10 \text{ W} > 0,069 \text{ W}$  folgt:  $P_{\text{E-Motor 1}} > P_{\text{E-Motor 2}}$

Der Elektromotor 1 hat eine größere Leistung als der Elektromotor 2.

Erklärvideo  
unter 67029-12



**Merkwissen**

Leistung ist „Arbeit pro Zeit“.

- Der Quotient aus verrichteter Arbeit  $W$  und benötigter Zeit  $t$  wird als **Leistung  $P$**  (engl. „power“) bezeichnet:  $P = \frac{W}{t}$ .
- Die Einheit der Leistung ist das Watt:  $[P] = \frac{[W]}{[t]} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ W}$ .
- Die **Leistung** gibt an, wie viel Energie in einer bestimmten Zeitspanne **umgewandelt** bzw. **übertragen** wird.

**Musteraufgaben**

- 1 Jedes Jahr findet in New York ein Treppenlauf im Empire State Building statt. Der Deutsche Thomas Dold (67 kg) gewann diesen Lauf von 2006 bis 2012 sieben Mal in Folge. Im Jahr 2009 überwand er dabei die 320 m in 10 min 7 s. Welche Leistung erbrachte Dold bei diesem Lauf?

Lösung:

geg.:  $m = 67 \text{ kg}; h = 320 \text{ m}; t = 10 \text{ min } 7 \text{ s}; g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

ges.:  $P$

Ansatz:  $P = \frac{W}{t}; W = F \cdot s = F_G \cdot h; F_G = m \cdot g$

Rechnung:  $F_G = 67 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 66 \cdot 10^1 \text{ N}$

$W = 66 \cdot 10^1 \text{ N} \cdot 320 \text{ m} = 21 \cdot 10^4 \text{ Nm} = 21 \cdot 10^4 \text{ J}$

$P = \frac{21 \cdot 10^4 \text{ J}}{10 \text{ min } 7 \text{ s}} = \frac{21 \cdot 10^4 \text{ J}}{607 \text{ s}} = 3,5 \cdot 10^2 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 3,5 \cdot 10^2 \text{ W}$

Antwort: Thomas Dold erbrachte bei diesem Lauf eine Leistung von  $3,5 \cdot 10^2 \text{ W}$ .

**Aufgaben**

- 1 Dein Herz pumpt in jeder Minute ca. 5,0 l Blut (5,3 kg) durch deinen Körper. Es muss sich dabei so anstrengen, als ob das Blut 1,0 m hochgepumpt werden müsste. Vergleiche die Leistung des Herzens mit der des Gehirns (Tab. 1).
- 2 Welche Zeit benötigt eine Rennradfahrerin, auf die zusammen mit ihrem Rad eine Gewichtskraft von 630 N wirkt, um einen Höhenunterschied von 800 m zu überwinden? Ihre durchschnittliche Leistung beträgt 220 W.

Handy	1,5 W
Fahrradlicht	3 W
Gehirn eines Menschen	20 W
Dauerleistung eines Menschen	100 W
Radrennfahrer (Bergfahrt)	400 W
Kaffeemaschine	800 W
Strahlungsleistung der Sonne pro m <sup>2</sup> auf der Erde	1,4 kW
Pkw	90 kW
Diesellok	2 MW
Wasserkraftwerk	2 GW
Rakete (Saturn V)	120 GW
Strahlungsleistung der Sonne	$3,86 \cdot 10^{26} \text{ W}$

Tab. 1: Beispiele für Leistungen

- 3 a) Ein Containerkran wird mit einer Leistung von 150 kW betrieben. In welche Höhe kann ein Container von 120 t in 5,5 min gehoben werden?  
 b) Wie lang würde der Vorgang bei doppelter Kranleistung dauern?

- 4 Ein Brückenkran ähnlich Abb. 2 hat eine Leistung von 11 kW. Welche Masse kann mit diesem Kran in 2,5 min um 15 m angehoben werden?



Abb. 2: Brückenkran

- 5 In einem Dorf gab es einen Wasserrohrbruch in der Hauptleitung. Um die Wasserversorgung aufrechtzuerhalten, organisieren die Einwohner eine Pumpe mit einer durchschnittlichen Leistung von 3,14 kW.

Diese soll Wasser aus einem Brunnen pumpen.

- a) Berechne die von der Pumpe verrichtete Arbeit, wenn sie 24 Stunden läuft.  
b) Wie viele Liter Wasser kann die Pumpe aus 50 m nach oben pumpen?
- 6 a) Plant und führt ein Experiment zur Leistungsbestimmung beim Besteigen eines Stuhls (Abb. 3) wie folgt durch:

- 1 Auf Kommando steigt ein Schüler 20-mal auf den Stuhl, während zeitgleich ein anderer Schüler die Stoppuhr startet und sich ein weiterer Schüler zum Absichern neben den Stuhl stellt.
- 2 Notiert die benötigte Zeit und wiederholt den Versuch mit einem weiteren Schüler.



- b) Zur Auswertung des Versuchs fertigt die nachstehende Messwerttabelle an und bearbeitet die folgenden Arbeitsaufträge.

	Schüler 1	Schüler 2
$t$ in s	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$m$ in kg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$F_G$ in N	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$s$ in m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$W = F \cdot s$ in J	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$P = \frac{W}{t}$ in W	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- 1 Notiert die Massen der beiden Schüler in kg und berechnet die entsprechenden Gewichtskräfte.
- 2 Berechnet die Höhenstrecke  $s$ , die die beiden Schüler beim Besteigen des Stuhls insgesamt zurücklegen. Misst dazu die Höhe des Stuhls und multipliziert den Wert mit der Anzahl der Wiederholungen. Tragt den errechneten Wert für  $s$  in die Tabelle ein.
- 3 Berechnet anschließend die Arbeit, die die Schüler verrichten haben.
- 4 Wer hat mehr geleistet, wenn beide dieselbe Arbeit verrichten?
- 5 Wer hat mehr geleistet, wenn beide dieselbe Zeit benötigen?
- 6 Berechnet die Leistung  $P$  für jeden Schüler.
- 7 Bewertet die Qualität eurer Versuchsdurchführung, indem ihr die Fehler bei der Versuchsdurchführung nennt.
- 8 Formuliert Vorschläge zur Verbesserung der Versuchsdurchführung.



Abb. 3: Sportliche Übung

Einstieg

Seit dem 1. September 2009 dürfen innerhalb der Europäischen Union Glühlampen mit geringer Energieeffizienz weder hergestellt noch verkauft werden.

- Warum setzt man heutzutage vor allem auf LED-Lampen?
- Was bedeutet der Begriff „Energieeffizienz“?



Versuche

**V1** Ein Körper mit einer bestimmten Masse wird mithilfe einer schiefen Ebene auf eine vorgegebene Höhe gezogen und die dabei verrichtete Arbeit  $W_{\text{Zug}}$  berechnet. Anschließend wird die Hubarbeit  $W_{\text{Hub}}$  berechnet, also die Arbeit, die benötigt wird, um den Körper direkt auf die Höhe anzuheben. Die berechneten Arbeiten  $W_{\text{Hub}}$  und  $W_{\text{Zug}}$  werden miteinander verglichen und der prozentuale Anteil von  $W_{\text{Hub}}$  an  $W_{\text{Zug}}$  berechnet.

**Beobachtung:** Obwohl der Körper bei beiden Vorgängen jeweils dieselbe Höhe erreicht, ist der Wert der Hubarbeit kleiner als der Wert der Zugarbeit.

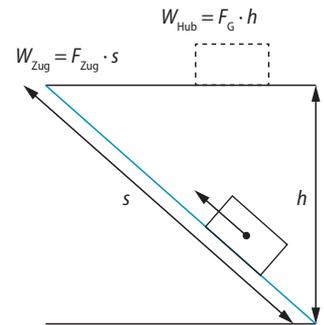


Abb. 1: Zu V1

Erklärung

Um den Körper aus V1 auf die festgelegte Höhe zu befördern, wird Zug- oder Hubarbeit verrichtet. Geschieht dieser Vorgang mittels der Zugarbeit an der schiefen Ebene, wird mehr Arbeit  $W_{\text{zu}}$  an dem Körper verrichtet, also dem Körper mehr Energie  $E_{\text{zu}}$  zugeführt, als beim direkten Anheben des Körpers mittels Hubarbeit. Bei der Zugarbeit in V1 wird also nur ein Teil der zugeführten Energie in sogenannte Nutzenergie umgewandelt. Der übrige Teil der zugeführten Energie wird in innere Energie umgewandelt. Die Nutzenergie ist entsprechend geringer als die zugeführte Energie.

Der Zusammenhang zwischen zugeführter Energie und Nutzenergie tritt bei jeder Energieumwandlung auf (Abb. 2) und wird durch den Wirkungsgrad  $\eta$  beschrieben. Dieser gibt an, welcher Anteil der zugeführten Energie in die gewünschte Nutzenergie umgewandelt wird.



Abb. 2: Zugeführte Energie, Nutzenergie und innere Energie

Merkwissen

- Der Wirkungsgrad  $\eta$  (griech. „eta“) eines Vorgangs beschreibt, welcher Anteil an zugeführter Energie in Nutzenergie umgewandelt wird.

• Es gilt: 
$$\eta = \frac{W_{\text{Nutz}}}{W_{\text{zu}}} = \frac{(E_{\text{nachher}} - E_{\text{vorher}})_{\text{Nutz}}}{(E_{\text{nachher}} - E_{\text{vorher}})_{\text{zu}}} = \frac{E_{\text{Nutz}}}{E_{\text{zu}}} = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{zu}}}$$

Der Wirkungsgrad  $\eta$  ist stets ein Bruchteil zwischen 0 und 1.

- 1 Um Fässer (120 kg) auf die 1,1 m hohe Ladefläche eines Lkw zu bringen, werden sie auf einer 4,3 m langen Rampe hochgerollt. Dafür ist eine Kraft von 0,32 kN notwendig. Berechne den Wirkungsgrad der Energieübertragung.

Lösung:

geg.:  $m = 120 \text{ kg}; g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}; h = 1,1 \text{ m}; F_{\text{Roll}} = 0,32 \text{ kN}; s = 4,3 \text{ m}$

ges.:  $\eta$

Ansatz:  $\eta = \frac{W_{\text{Nutz}}}{W_{\text{zu}}}; W_{\text{zu}} = F_{\text{Roll}} \cdot s; W_{\text{Nutz}} = F_G \cdot h; F_G = m \cdot g$

Rechnung:  $F_G = 120 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1,18 \cdot 10^3 \text{ N}$

$W_{\text{Nutz}} = 1,18 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 1,1 \text{ m} = 1,3 \cdot 10^3 \text{ Nm} = 1,3 \cdot 10^3 \text{ J}$

$W_{\text{zu}} = 0,32 \text{ kN} \cdot 4,3 \text{ m} = 1,4 \text{ kNm} = 1,4 \cdot 10^3 \text{ J}$

$\eta = \frac{W_{\text{Nutz}}}{W_{\text{zu}}} = \frac{1,3 \cdot 10^3 \text{ J}}{1,4 \cdot 10^3 \text{ J}} = 0,93 = 93 \%$

Antwort: Der Wirkungsgrad der Energieübertragung beträgt 0,93 bzw. 93 %.

- 1 Erkläre, was es bedeutet, dass der Wirkungsgrad  $\eta$  bei einer Energieübertragung stets  $< 1$  ist.

- 2 Ein Landwirt zieht mit seinem Traktor einen mit Kartoffelsäcken beladenen Anhänger ( $m = 1,6 \text{ t}$ ) mit einer Zugkraft von 3,45 kN nach Hause. Unterwegs führt die 1,27 km lange Straße mit einer Steigung 200 m bergauf (Abb. 3). Berechne den Wirkungsgrad dieser Energieübertragung.

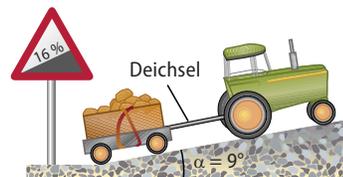


Abb. 3: Zu Aufgabe 1

- 3 Recherchiere die Wirkungsgrade verschiedener Maschinen und erstelle eine Tabelle, welche auch Übersichten über die zugeführte bzw. genutzte Energie gibt.

Maschine	zugeführte Energie	Nutzenergie	$\eta$ in %
Wasserkraftwerk	$E_{\text{kin}}$	$E_{\text{el}}$	80 – 90
■	■	■	■

- 4 Der Benzinmotor in einem Auto besitzt einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von ungefähr 25 %, der eines durchschnittlichen Dieselmotors beträgt 30 %. Recherchiere hierzu die folgenden Themen und beantworte die Fragen.
- Erkläre, warum der Wirkungsgrad des Benzinmotors so „gering“ ist.
  - Nenne Möglichkeiten, den Wirkungsgrad des Benzinmotors zu steigern.
  - Vergleiche Benzinmotor und Dieselmotor und nenne Gemeinsamkeiten und Unterschiede, die die Differenz erklären.
- 5 Eine Achterbahn beschleunigt die Wagons in 2,5 s von  $0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  auf  $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Die durchschnittliche Nutzleistung des Motors beträgt dabei 0,20 MW. Wie viel Energie muss dem Motor dafür zugeführt werden, wenn der Wirkungsgrad  $\eta = 0,71$  beträgt?

Wertvolles Wasser



Abb. 1: Ausblick auf den Walchensee

Die im Wasser des Walchensees (Abb. 1) gespeicherte potenzielle Energie kann genutzt werden, indem man das Wasser durch ein Fallrohr leitet und damit eine Turbine in Bewegung versetzt (Abb. 2). Ein angeschlossener Generator schließlich wandelt die ursprüngliche Lageenergie in elektrische Energie um. Das Gleiche ermöglichen Windkraftwerke und Wärmekraftwerke mithilfe der kinetischen Energie der Luftteilchen bzw.



Abb. 2: Walchenseekraftwerk

mithilfe der inneren Energie, die im heißen Wasserdampf gespeichert ist. Damit besitzen diese Energieformen einen bestimmten Wert, der jedoch von der Umgebung abhängig ist. So speichert das Wasser eines Sees in einer großen Hochebene zwar potenzielle Energie, nur kann dieses hier keine Arbeit verrichten. Der Wert der in einem Körper gespeicherten Energie hängt folglich von seiner Umgebung ab und beschreibt, inwiefern der Körper in der Lage ist, Arbeit zu verrichten: Je mehr Arbeit er verrichten kann, desto größer ist der Wert seiner Energie.

- Beschreibe, unter welchen Bedingungen andere Energieformen einen großen Wert besitzen.

Anergie und Exergie

Am Beispiel des Speichersees sieht man, dass nur ein Teil der im Wasser gespeicherten potenziellen Energie in der Lage ist, Arbeit zu verrichten (Abb. 3).

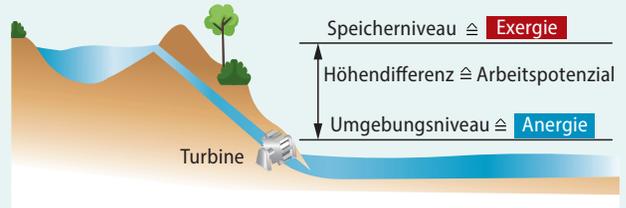


Abb. 3: Nutzbare und nicht nutzbare Energie

Der Anteil der Energie, der Arbeit verrichten kann, wird in der Physik als „Exergie“ bezeichnet. Der andere Teil der Energie, der nicht genutzt werden kann, heißt „Anergie“ (Abb. 4).

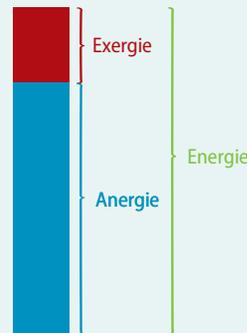


Abb. 4: Anergie, Exergie und Energie

Verrichtet ein Körper nun Arbeit, zum Beispiel das Wasser an der Turbine, verringert sich die Exergie, nicht aber die Anergie.

- Ordne die Begriffe „Exergie“ und „Anergie“ den dir aus der Realschulphysik bekannten Begriffen zu.
- Bei Energieübertragungen nimmt die Exergie stetig ab. Erkläre dies und beurteile den Wert der inneren Energie.

## Entwertung von Energie

Wenn ein Körper Arbeit verrichtet, nimmt der Anteil an Exergie ab, der Anteil an Anergie hingegen zu. Da dieser Teil der Energie nun nicht mehr genutzt werden kann, um Arbeit zu verrichten, spricht man auch von der Entwertung der Energie. Beispiel hierfür ist jede Energieumwandlung, bei der durch Reibung ein Teil der ursprünglichen Energie in innere Energie umgewandelt wird. Genauer wird die Umwandlung in diesen Situationen durch den Wirkungsgrad beschrieben. Dieser beschreibt die Voraussetzungen der Umgebung, in der die Energieumwandlung stattfindet: Ist der Wirkungsgrad hoch, kann viel Exergie genutzt werden. Ist der Wirkungsgrad dagegen gering, wird ein großer Anteil der Exergie in Anergie umgewandelt und die Energie somit „entwertet“.

- Ein mit Reis gefüllter Ball wird fallengelassen. Beim Aufprall auf den Boden wird kinetische Energie in innere Energie umgewandelt. Erkläre an diesem Beispiel die Entwertung von Energie. Finde weitere Beispiele, bei denen Energie entwertet wird.
- In einem Klassenzimmer hat die ganze Nacht hindurch das Licht gebrannt. Der Hausmeister erklärt verärgert, dass dies Energieverschwendung sei (Abb. 5). Eron denkt an seine letzte Physikstunde und meint: „Energie kann nicht verbraucht oder verschwendet werden.“ Hat Eron Recht? Begründe deine Antwort und nutze dabei Fachbegriffe.



Abb. 5: Ausschalten!

## Folgen für die Zukunft – Konsequenzen für den Alltag

Die Gesamtenergie eines Systems kann nicht größer oder kleiner werden, die Anergie dagegen wird meist größer. Dies kann auch nicht mehr rückgängig gemacht werden: Wurde Exergie einmal zu Anergie, dann kann dieser Anteil der Energie nicht mehr genutzt werden (Abb. 6).



Abb. 6: Energieeffizienz

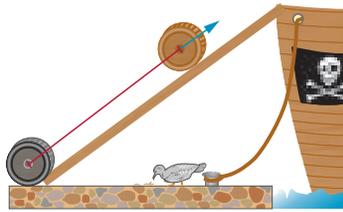
- Nimm erneut Stellung zur Aussage, dass Energie nicht verbraucht werden kann.
- Wie kannst du dazu beitragen, dass weniger Energie entwertet wird?

Aufgaben zur Einzelarbeit

- 1 Teste dich! Bearbeite dazu die folgenden Aufgaben und bewerte die Lösungen mit einem Smiley.
- 2 Die Aufgaben haben unterschiedliche Schwierigkeitsgrade: **leicht** **mittel** **schwer**

😊	😐	☹️
Das kann ich!	Das kann ich fast!	Das kann ich noch nicht!

- 1 Ein schweres Fass soll über eine Rampe an Bord eines Piratenschiffs gehoben werden. Um Kraft zu sparen, verwenden die Piraten verschiedene Rampen und messen den Betrag der zum Transport notwendigen Zugkraft.



s in m	0,60	0,74	1,17	1,92	2,40
F in N	6,2	5,0	3,2	2,0	1,57

- a) Werte die Tabelle numerisch aus.
  - b) Was passiert mit dem Kraftbetrag, wenn sich die Länge der Rampe vervierfacht?
  - c) Welcher mathematische Zusammenhang besteht zwischen dem Betrag der Zugkraft und der Wegstrecke?
  - d) An Deck angekommen lässt ein tollpatschiger Pirat das Fass von Bord fallen. Beschreibe die Energieumwandlung, die für diesen Vorgang vonstattengeht.
- 2 Benenne für die folgenden Situationen die jeweils auftretende Energieübertragung. Notiere dabei auch, welche Art der Arbeit vorliegt.

a)



b)



c)



d)



- 3 Erkläre, warum aus physikalischer Sicht die umgangssprachliche Verwendung der Begriffe „Energieverlust“ und „Energieerzeugung“ nicht richtig ist.

- 4 Auf dem Etikett eines Wasserkochers steht:

**Wasserkocher 1,6 l**  
**220-240 V~      50-60 Hz      2000-2400 W**

- a) Welche unterschiedlichen Informationen enthält dieses Etikett?
  - b) Erkläre die Bedeutung der Leistungsangabe auf dem Etikett.
- 5 a) Ein Airbus A380 beschleunigt bis zum Abheben („Take-off“) innerhalb von 20 Sekunden auf eine Geschwindigkeit von  $200 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Die durchschnittliche Nutzleistung der Triebwerke beträgt dabei 43 MW. Wie viel chemische Energie (in Form von Kerosin) muss den Düsentriebwerken dafür zugeführt werden, wenn der Wirkungsgrad der Energieumwandlung 31 % beträgt?

- b) Eine Motorpumpe pumpt über eine Höhendifferenz von 16 m Kerosin aus den unterirdisch gelegenen Treibstofftanks in die Tragflügel des Airbus A380.



Die Motorpumpe verrichtet eine Hubarbeit von 34 MJ. Wie viele Liter Kerosin (Dichte:  $0,79 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ ) werden in den Airbus A380 gepumpt?

- 6 Eine Pumpe ist an das elektrische Netz angeschlossen und erhält daraus eine Leistung von 8,0 kW. Die Pumpe hat einen Wirkungsgrad von 70 %. Wie viele Liter Wasser kann sie in 12 h aus einem 18 m tiefen Schacht herauspumpen?
- 7 Ein Bergsteiger erklimmt in zwei Etappen einen 4000 m hohen Berg. Bei einer Leistung von 41 W verrichtet er eine Arbeit von 2,51 MJ.
- a) Wie lange benötigt der Bergsteiger für den Aufstieg?
- b) Welchen Höhenunterschied hat der Bergsteiger zurückgelegt, wenn er eine Masse von 80,0 kg besitzt?
- 8 Auf der Spielzeugmesse wird ein neuer "Super-Flummi" angeboten, dessen Wirkungsgrad 90 % betragen soll.
- a) Wie kannst du diese Behauptung überprüfen?
- b) Wie hoch würde dieser Flummi nach dem dritten Bodenkontakt höchstens springen, wenn er aus 1,60 m Höhe fallen gelassen wird?

## Aufgaben für Lernpartner

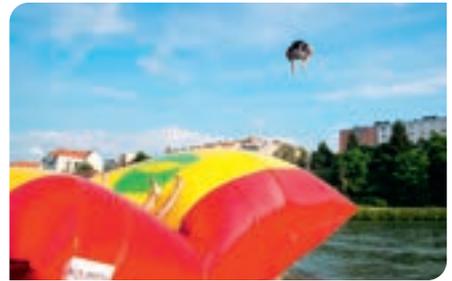
- 1 Bearbeite die folgenden Aufgaben alleine.
- 2 Suche dir einen Partner und erkläre ihm deine Lösungen. Höre aufmerksam und gewissenhaft zu, wenn dein Partner dir seine Lösungen erklärt.
- 3 Korrigiere gegebenenfalls deine Antworten und benutze dazu eine andere Farbe. Sind folgende Behauptungen **richtig** oder **falsch**? Begründe schriftlich.
- A Je schneller sich ein Fahrzeug bewegt, desto höher ist seine kinetische Energie.
- B Alle gleich weit vom Erdmittelpunkt entfernten Körper haben die gleiche potenzielle Energie.
- C Bei allen mechanischen Energieumwandlungen nimmt die innere Energie zu.
- D Mithilfe von Kraftwandlern kann man physikalische Arbeit sparen.
- E Hebt man eine Tafel Schokolade (100 g) in einer Minute um genau 1 m, entspricht das einer Leistung von 1 Watt.
- F Wenn ein Gas kondensiert, so verringert sich seine innere Energie.
- G Energie kann nicht verbraucht, sondern nur entwertet werden.
- H Es gibt keine Maschine mit einem Wirkungsgrad von 100 %.

Aufgabe	Ich kann ...	Hilfe
1, 2, 4, A, B, C, D, E	die abgeleiteten Größen Arbeit, Leistung und Energie voneinander unterscheiden.	S. 26, 30, 38
3, F, G	meine Kenntnisse über Energieerhaltung bei Energieumwandlungen anwenden.	S. 34
5, 6, 7	Aufgaben aus Natur und Technik unter Berücksichtigung von Einheiten und sinnvoller Genauigkeitsangaben lösen.	S. 28, 40, 43
8, H	die Qualität von Energieumwandlungen mithilfe des Wirkungsgrads bewerten.	S. 42

## Einstieg

„Im Urlaub habe ich was Tolles erlebt: Da lag so ein mit Luft gefülltes Kissen im Wasser und wenn eine Person auf das Kissen gesprungen ist, flog der andere, der schon auf dem Kissen war, im hohen Bogen weg!“

- Was ist die Ursache dafür, dass die zweite Person weggeschleudert wird?



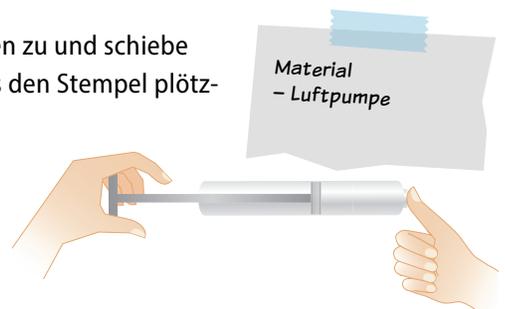
## Versuche

Arbeitsblatt zu V1  
unter 67029-13



- V1** Halte eine Luftpumpe mit dem Daumen zu und schiebe den Stempel in die Pumpe hinein. Lass den Stempel plötzlich los.

**Beobachtung:** Je stärker und weiter der Stempel in die Pumpe geschoben wurde, desto heftiger wird er beim Loslassen zurückgestoßen.



- V2** Nimm einen mit Wasser gefüllten Rundkolben, der gleichmäßig verteilte Öffnungen mit gleichem Durchmesser hat. Drücke mit einer bestimmten Kraft auf den Stempel.

**Beobachtung:** Das Wasser spritzt gleichzeitig und in gleicher Stärke aus allen Öffnungen heraus.

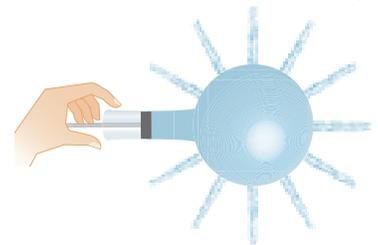


Abb. 1: Versuchsaufbau zu V2

- V3** In einem mit Wasser gefüllten Rundkolben befindet sich ein aufgeblasener Luftballon. Übe auf den Stempel unterschiedliche Kräfte aus und beobachte den Luftballon.

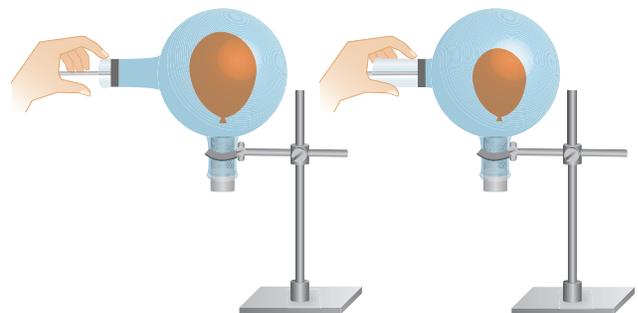


Abb. 2: Versuchsaufbau zu V3

**Beobachtung:** Je größer die aufgebrachte Kraft ist, desto stärker wird der Luftballon „geschrumpft“. Der Ballon ändert zwar sein Volumen, behält aber seine Form.

## Erklärung

In allen drei Versuchen wird auf eine abgeschlossene Flüssigkeit oder ein abgeschlossenes Gas eine Kraft ausgeübt. Der dadurch erzeugte Zustand der Flüssigkeit bzw. des Gases wird als **Druck** bezeichnet.

Dieser Druck bewirkt seinerseits Kräfte auf die Begrenzungsflächen.

So ist es in V1 die Luft selbst, die die beobachteten Kräfte ausübt.

V2 zeigt, dass sich die Kraft, welche man auf eine Flüssigkeit ausübt, (fast) sofort und **gleichförmig in alle Richtungen** ausbreitet. Die hervorgerufenen Kräfte wirken senkrecht auf die Begrenzungsflächen, deshalb spritzt das Wasser an den Löchern jeweils senkrecht vom Rundkolben weg.

Die Kräfte hängen aber nicht allein vom Druck des eingeschlossenen Gases bzw. der eingeschlossenen Flüssigkeit ab. Sie sind das Ergebnis aus der Wechselwirkung des Stoffes mit seiner äußeren Umgebung (V3, Abb. 3). Die Kraft  $\vec{F}$  bewirkt eine gleichzeitige und gleichmäßige Druckzunahme im Wasser. Daraus resultieren Kräfte  $\vec{F}_1$ , welche den Luftballon zusammenpressen, wobei sich das

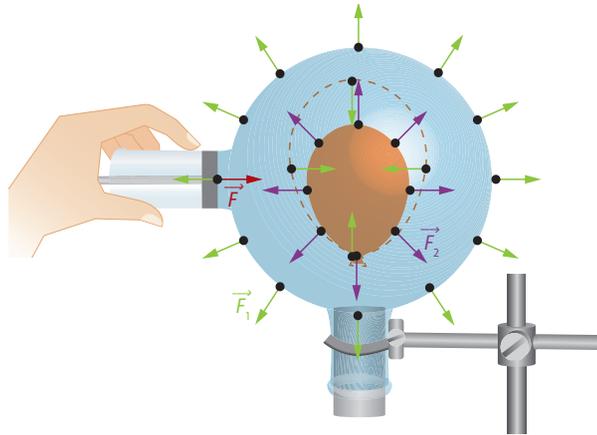


Abb. 3: Wechselwirkung zwischen eingeschlossenem Stoff und der Umgebung bei äußerlicher Krafteinwirkung

Volumen der Luft im Ballon verkleinert. Die damit verbundene Druckerhöhung in der Luft bewirkt Kräfte  $\vec{F}_2$  von innen auf die Ballonhaut, die mit den von außen wirkenden Kräften  $\vec{F}_1$  im Gleichgewicht sind. Die Kräfte  $\vec{F}_1$  wirken ebenfalls auf die Gefäßwand und rufen dort sich im Kräftegleichgewicht befindliche Kräfte durch die Glaswand hervor.

In der Folge gilt, je höher der Druck in einem eingeschlossenen Gas oder einer eingeschlossenen Flüssigkeit ist, desto größer sind auch die Kräfte auf die Gefäßwand.

Als ab- bzw. eingeschlossenes Gas wird ein Gas bezeichnet, dessen Teilchenzahl sich nicht ändert. Die Teilchen wechselwirken untereinander und mit der Grenzfläche. Mikroskopische Eigenschaften können mithilfe des Teilchenmodells erklärt werden. Selbiges gilt für ab- bzw. eingeschlossene Flüssigkeiten.

- Der **Druck** ist eine Größe, die den Zustand des „Gepresstseins“ eingeschlossener Gase oder eingeschlossener Flüssigkeiten beschreibt.
- Die durch den **Druck** hervorgerufenen Kräfte auf die Begrenzungsflächen wirken nach allen Seiten **gleichmäßig**.
- Der Druck äußert sich durch **Kräfte**, die **senkrecht** auf die Begrenzungsflächen (z. B. Gefäßwände) wirken.
- Eine Druckänderung an einer Stelle der Flüssigkeit (bzw. des Gases) breitet sich sehr rasch und gleichmäßig nach allen Seiten aus.

## Merkwissen

Simulation  
unter 67029-14



- 1 Die Feuerwehr verwendet sogenannte Rettungskissen, auf die sich Personen durch einen Sprung aus großer Höhe in Sicherheit bringen können. Diese Rettungskissen werden mit einem Gebläse aufgeblasen, sind aber im Vergleich zum Sprungkissen aus dem Einstieg nicht dicht verschlossen. Erkläre, warum das so ist.

## Aufgaben



Abb. 5: Zu Aufgabe 3

- 2 a) Erkläre, wie der Druck der Luft in einer Luftpumpe erhöht wird.  
b) Warum ist es wichtig, dass die Luft im Fahrradreifen einen bestimmten Druck hat?
- 3 Drücke mit der Faust in die Mitte eines leicht aufgepusteten Luftballons und erkläre deine Beobachtung. Vergleiche mit dem Sprungkissen aus dem Einstieg.
- 4 Begründe physikalisch, warum spezielle Gefäße und Behälter mit dem in Abb. 6 abgebildeten Warnschild gekennzeichnet werden müssen.
- 5 Weshalb behält der Luftballon in V3 seine Form bei und verändert nur sein Volumen? Begründe.
- 6 Das THW und die Feuerwehr haben zur Bergung von verschütteten Personen sogenannte Hebekissen (Abb. 7) im Einsatz. Recherchiere zur Funktionsweise und finde heraus, welche Lasten damit gehoben werden können. Wo kommen diese Rettungsmittel deiner Meinung nach sinnvoll zum Einsatz?
- 7 Eine Einwegspritze wird zu dreiviertel mit Wasser und etwas Luft (ca. 5 ml) aufgefüllt. Die Öffnung wird mit dem Finger verschlossen und die Spritze so gehalten, dass sie waagrecht und die Luftblase in der Mitte ist. Anschließend drückt man den Kolben langsam hinein. Beschreibe deine Beobachtung und erkläre diese.



Abb. 4: Zu Aufgabe 1

**Vorsicht!**  
**Behälter steht**  
**unter Druck.**

Abb. 6: Warnschild



Abb. 7: Einsatz eines Hebekissens durch die Feuerwehr



Abb. 8: Versuchsdurchführung zu Aufgabe 7

## Unterscheidung zwischen Druck und Kraft



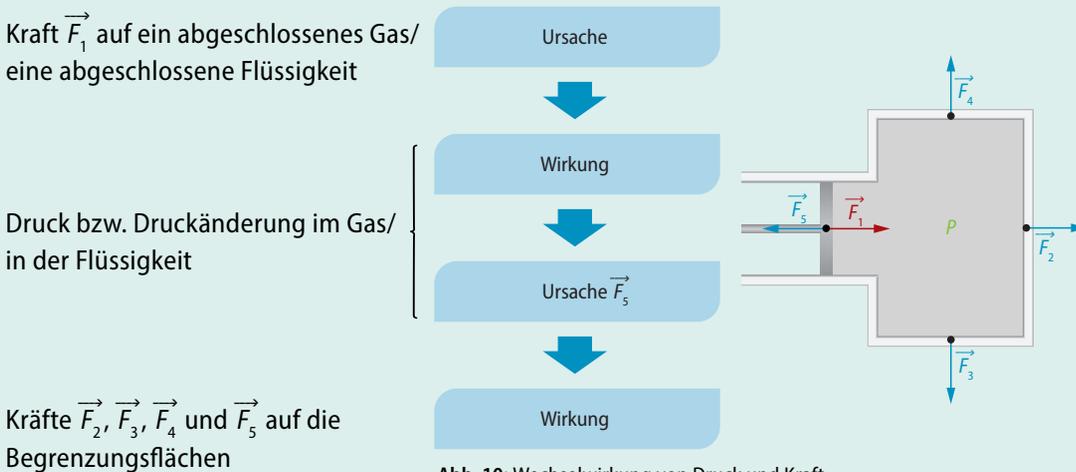
## Verständnis



Abb. 9: Türe aufdrücken

Im Alltag wird der Begriff Druck häufig fälschlicher Weise mit dem Begriff Kraft verwechselt. In der Physik müssen jedoch beide streng unterschieden werden. Während die Kraft zu einem besonderen Zustand eines eingeschlossenen Stoffes führt, beschreibt der Druck lediglich diesen Zustand. Auch die Temperatur ist beispielsweise ein solcher Zustand. Dabei besitzt der Druck keine Vorzugsrichtung, sondern ist in einem abgeschlossenen System überall gleich. Kräfte hingegen zeichnen sich dadurch aus, dass sie als vektorielle Größe immer eine Richtung haben.

Dass die Unterscheidung von Druck und Kraft nicht immer leicht fällt, liegt daran, dass sie sich im Rahmen der Mechanik von Flüssigkeiten und Gasen häufig gegenseitig bedingen. Ändert sich beispielsweise die auf ein eingeschlossenes Gas wirkende Kraft, bewirkt dies eine Änderung des Drucks, welche wiederum die Ursache größerer Kräfte des Gases auf die Begrenzungsfläche ist.



- Erkläre die in Abb. 10 dargestellten Wechselwirkungen.
- Erkläre den Unterschied zwischen den physikalischen Größen Druck und Kraft.
- Erstelle ein Ursache-Wirkung-Diagramm für das Verwenden einer Luftpumpe.
- Finde weitere Beispiele aus dem Alltag, in denen die Begriffe Druck und Kraft verwechselt werden. Nimm auch Bezug auf Abb. 9.

## Einstieg

Mit einer Fahrradpumpe kann ein Reifen aufgepumpt werden.

- Unter welchen Bedingungen erhöht sich der Druck im Reifen?
- Was passiert beim Aufpumpen auf mikroskopischer Ebene?



## Versuche

Arbeitsblatt zu V1  
unter 67029-15



- V1 a) Ziehe eine Einwegspritze zu einem Drittel voll Wasser und einem Drittel voll Luft. Verschließe nun die Öffnung der Spritze gut mit dem Finger. Halte die Spritze senkrecht nach unten und drücke den Kolben in die Spritze (ziehe den Kolben aus der Spritze).

**Beobachtung:** Das Wasser behält sein Volumen bei, die Luft wird komprimiert (expandiert). Weiterhin ist jeweils die entgegengerichtete Kraft zu spüren.

- b) Drücke den Kolben in die Spritze und nimm den Finger von der Öffnung.

**Beobachtung:** Wasser und Luft spritzen heraus.

- V2 a) Ein Luftballon wird aufgepustet.

**Beobachtung:** Das Volumen des Ballons nimmt zu und er wird „praller“.

- b) Ein weiterer Luftballon wird über die Öffnung einer Flasche gezogen. Die Flasche wird anschließend in ein Becken mit kochendem Wasser gestellt.

**Beobachtung:** Der Luftballon bläht sich auf.

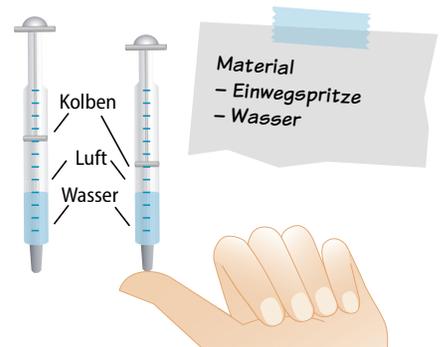


Abb. 1: Versuchsaufbau zu V1

## Erklärung

V1 zeigt, dass eine Kraftwirkung bei eingeschlossenen Gasen eine Volumenänderung hervorruft. Flüssigkeiten (und Festkörper) können nicht zusammengedrückt werden. V1 b) zeigt, dass auch in diesem Fall im Wasser eine Kraft wirkt. Der Druck und seine Änderung können mit dem Teilchenmodell erklärt werden (Abb. 2). So beschreibt der Druck in einem eingeschlossenen Gas bzw.

einer eingeschlossenen Flüssigkeit die Anzahl der Zusammenstöße von Teilchen untereinander und mit der Grenzfläche.

Jedes Teilchen übt auf das nächste eine Kraft aus und die Teilchen, die an der Gefäßwand anliegen, üben diese Kraft auf die Wand aus.

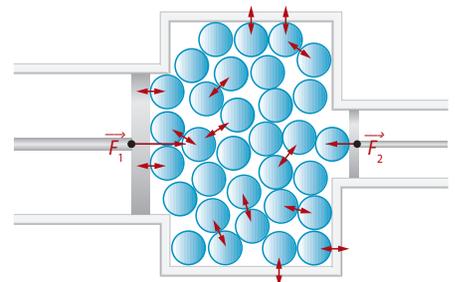


Abb. 2: Wechselwirkungen der Teilchen

In Gasen ist der Teilchenabstand unter normalen Bedingungen sehr groß. Deshalb lassen sich **Gase komprimieren und expandieren** (Abb. 3). Wird das Gas nun zusammengedrückt, nimmt der Teilchenabstand ab und die Teilchen treffen viel häufiger aufeinander und auch auf die Gefäßwand: Der Druck steigt. In Flüssigkeiten liegen die Teilchen dicht, können aber zueinander verschoben werden.

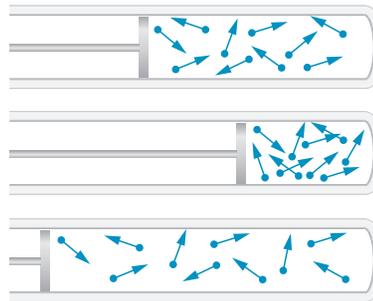


Abb. 3: Kompression und Expansion eines durch einen Finger eingeschlossenen Gases

Durch Hinzufügen von Teilchen kann der Druck in einem nicht festen Stoff erhöht werden (V2 a).

Durch das Aufpusten des Ballons steigt (trotz der Volumenzunahme) in ihm die **Teilchendichte**, also die Anzahl der Teilchen pro Volumen. Damit nimmt die Anzahl der Zusammenstöße zwischen Teilchen und Grenzfläche zu, und entsprechend auch der Druck. Selbiges wird erreicht, wenn bei konstanter Teilchenzahl das Volumen verringert wird. V2 b) zeigt, dass der Druck ebenso abhängig von der **Teilchengeschwindigkeit** ist. Auf die Teilchen in der Flasche wird Energie vom heißen Wasserbad übertragen, ihre Geschwindigkeit nimmt zu und sie stoßen häufiger mit der Wand zusammen, was wiederum zu einer Druckerhöhung führt.

- **Gase** können durch das Einwirken von Kräften **komprimiert** werden, **Flüssigkeiten und Festkörper** sind **inkompressibel**.
- Der Druck eines eingeschlossenen Gases (einer eingeschlossenen Flüssigkeit) beschreibt, wie häufig die Teilchen mit der Grenzfläche zusammenstoßen.
- Der Druck ist abhängig von der **Teilchengeschwindigkeit** und der **Teilchendichte** (Anzahl der Teilchen pro Volumen).

## Merkwissen

- 1 Erkläre ausführlich, wie der Druck in einem Gefäß ...
  - a) zustande kommt.
  - b) verringert werden kann.
- 2 Die Änderung des Drucks in einem nicht festen Stoff geschieht unmittelbar, allseitig und gleichmäßig. Erläutere dies mithilfe des Teilchenmodells.
- 3 Erkläre mithilfe des Teilchenmodells, wie es jeweils zu einer Änderung des Drucks kommt.
  - a) Jeffrey lässt eine Papiertüte platzen (Abb. 4).
  - b) Jenny wirft eine Deo-Spraydose ins Feuer.
  - c) Jasim lässt Luft aus dem Ventil eines Balls.



Abb. 4: Papiertüte platzt.

## Aufgaben

Einstieg

Viele Gartenschläuche sind heute mit Vielweckdüsen ausgestattet, die das Wasser auf unterschiedliche Arten austreten lassen.

- Nenne verschiedene Einstellungen solcher Düsen und jeweils mögliche Anwendungsbereiche.
- Woran erkennt man, dass der Druck des Wassers bei den Einstellungen oft unterschiedlich ist?



Versuche

**V1** Zwei mit Luft gefüllte Kolbenprober mit unterschiedlichen Querschnittsflächen sind durch einen Schlauch verbunden. Lege auf beide Stempel Wägestücke, bis ein Gleichgewichtszustand erreicht ist, d. h. keine Bewegung der Kolben mehr stattfindet.

**Beobachtung:** Im „Gleichgewicht“ wirkt auf den Stempel mit der kleineren Querschnittsfläche eine kleinere Kraft als auf den Stempel mit der größeren Querschnittsfläche.

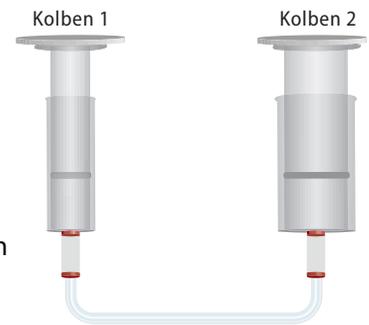


Abb. 1: Versuchsaufbau zu V1

**V2** Zwei Kolbenprober mit unterschiedlichen Querschnittsflächen sind durch einen Schlauch verbunden (Abb. 2). Das System wird mit Wasser aufgefüllt, sodass sich keine Luft mehr darin befindet. Anschließend werden auf beide Stempel Wägestücke gelegt, bis ein Gleichgewichtszustand erreicht ist. Dabei werden verschiedene Massekombinationen ausprobiert. Die Tabellen zeigen mögliche Messwerte.

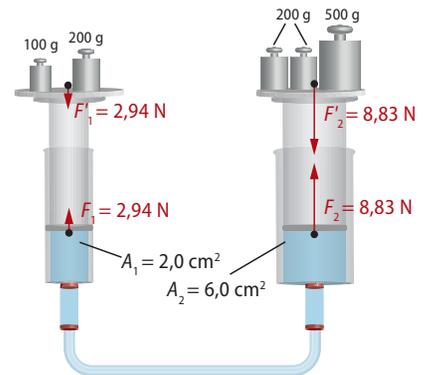


Abb. 2: Versuchsaufbau zu V2

1

$A_1$ in $\text{cm}^2$	2,0		
$m_1$ in g	50	100	300
$F_1$ in N	0,49	0,981	2,94

2

$A_2$ in $\text{cm}^2$	6,0		
$m_2$ in g	150	300	900
$F_2$ in N	1,47	2,94	8,83

**Beobachtung:** Im „Gleichgewicht“ wirkt auf den Stempel mit der kleineren Querschnittsfläche eine kleinere Kraft als auf den Stempel mit der größeren Fläche. Erhöht (erniedrigt) man die erste Masse, so muss die zweite Masse im gleichen Verhältnis erhöht (erniedrigt) werden, damit Gleichgewicht herrscht.

## Erklärung

Wie V1 zeigt, hängt der Druck in einer abgeschlossenen Flüssigkeit oder in einem abgeschlossenen Gas von der Größe der Auflagefläche sowie vom Betrag der wirkenden Kraft ab. Ersichtlich wird dies dadurch, dass sich die Stempel in einem Gleichgewicht befinden, d. h. sich nicht mehr bewegen. Entsprechend befinden sich auch die wirkenden Kräfte im Gleichgewicht, sodass der Luftdruck überall gleich sein muss. Da die Kolbenprober in V2 durch den Schlauch miteinander verbunden sind, können sie wie ein einzelnes Gefäß betrachtet werden. Im Gleichgewichtszustand ist auch hier der Druck überall gleich. Betrachtet man die Messwerte, fällt auf, dass bei gleichem Druck auf die dreifache Fläche die dreifache Kraft wirkt. Dieser Zusammenhang kann durch Versuche mit Kolbenprobern anderer Querschnittsflächen bestätigt werden. Entsprechend sind die Kraft  $F$  und die Fläche  $A$  direkt proportional (Tab. 1):  $F \sim A$ .

1	$\frac{F_1}{A_1}$ in $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$	0,25	0,49	1,5
2	$\frac{F_2}{A_2}$ in $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$	0,25	0,49	1,5

So kann der **Gleichgewichtszustand** durch **übereinstimmende Quotientenwerte** beschrieben werden:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} = \text{konst.}$$

Dieser Quotient wird als **Druck  $p$**  festgelegt:  $p = \frac{F}{A}$ . Die Einheit des Drucks folgt aus der Definitionsgleichung und wurde zu Ehren des französischen Physikers Blaise Pascal als ein **Pascal** festgelegt:

$$[p] = \frac{[F]}{[A]} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \text{ Pa (Pascal)}$$

Die Einheit 1 Pa beschreibt einen sehr geringen Druck.

Deswegen verwendet man häufig weitere Einheiten:

$$1 \text{ bar} = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 10^3 \text{ hPa (Hektopascal)}$$

$$1 \text{ mbar} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ bar} = 1 \cdot 10^2 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa}$$



Abb. 3: Blaise Pascal (1623 – 1662)

- Die abgeleitete Größe **Druck  $p$**  in einer abgeschlossenen Flüssigkeit oder einem abgeschlossenem Gas ist der Quotient aus dem **Kraftbetrag  $F$**  und der **Fläche  $A$** , auf die die Kraft senkrecht einwirkt:  $p = \frac{F}{A}$ .
- Die Einheit des Drucks ist das Pascal:  $[p] = \frac{[F]}{[A]} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \text{ Pa}$ .
- $1 \text{ bar} = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

## Merkwissen

engl. „pressure“: Druck

## Musteraufgaben

- 1 Der mittlere Luftdruck auf Meereshöhe beträgt 1,013 bar. Rechne diesen Druck in Pa und hPa um.

Lösung:

$$p = 1,013 \text{ bar} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1013 \cdot 10^2 \text{ Pa} = 1013 \text{ hPa}$$

- 2 Welche Kraft wirkt auf ein  $7,4 \text{ cm}^2$  großes Flächenstück der Innenwand eines Autoreifens, wenn im Reifen ein Druck von  $2,0 \text{ bar}$  herrscht?

Lösung:

geg.:  $A = 7,4 \text{ cm}^2; p = 2,0 \text{ bar}$

ges.:  $A$

Ansatz:  $p = \frac{F}{A} \quad | \cdot A$

Rechnung:  $F = p \cdot A = 2,0 \text{ bar} \cdot 7,4 \text{ cm}^2$

$$F = 2,0 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 7,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = 2,0 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 7,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 15 \cdot 10 \text{ N} = 0,15 \text{ kN}$$



Abb. 4: Autoreifen

- 3 Hohe Stöckelschuhe haben oftmals sehr schmale Absätze. Berechne die Belastung, welche kurzfristig auf dem „Pfennigabsatz“ ( $A = 0,40 \text{ cm}^2$ ) herrscht, wenn eine Gewichtskraft von  $600 \text{ N}$  auf einen Absatz wirkt.

Lösung:

geg.:  $F = 600 \text{ N}; A = 0,40 \text{ cm}^2$

ges.:  $p$

Ansatz:  $p = \frac{F}{A}$

Rechnung:  $p = \frac{600 \text{ N}}{0,40 \text{ cm}^2} = \frac{600 \text{ N}}{0,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,15 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

Wie bereits erläutert, wird der Begriff „Druck“ im Alltag häufig ungenau eingesetzt. Dies geschieht vor allem bei Festkörpern. Hierbei geht es nicht um den Druck, sondern um eine bestimmte Belastung, welche aber dieselbe Einheit wie der Druck hat. Entsprechend kann dabei ebenfalls die Größengleichung  $p = \frac{F}{A}$  verwendet werden.

### Aufgaben

- Beschreibe, wie sich der Druck in einer abgeschlossenen Flüssigkeit ändert, wenn man bei gleicher Kraft die Fläche halbiert (viertelt, verdoppelt, verdreifacht).
- Der Druck in einem Rennradreifen soll  $7,5 \text{ bar}$  betragen.
  - Mithilfe eines Flickens soll ein  $0,010 \text{ cm}^2$  großes Loch im Reifen abgedeckt werden. Berechne den Betrag der erforderlichen Kraft, damit der Flicker hält.
  - Vor dem Aufpumpen zeigt das Messgerät  $0 \text{ bar}$  an, obwohl sich im Reifen bereits Luft befindet. Erkläre, was die Messgröße  $7,5 \text{ bar}$  eigentlich bedeutet.

- Tina berichtet ihrer Freundin, dass sie einen kleinen Helfer entdeckt hat, mit dem sie endlich auch mit hohen Absätzen auf einem Rasen nicht mehr einsinkt. Erläutere ihre Lösung physikalisch.
  - Vergleiche die Belastung eines Stöckelschuhabsatzes aus Musteraufgabe 3 mit der Belastung durch einen Elefanten ( $30 \text{ kN}$ ), wenn seine Fußfläche  $9,6 \text{ dm}^2$  Flächeninhalt besitzt.



Abb. 5: Stöckelschuhe mit Stulpen

- 4 Ein erwachsener Mensch hat eine Hautoberfläche von ca.  $2,0 \text{ m}^2$ .
- Berechne die gesamte Kraft, die bei einem Luftdruck von  $1013 \text{ hPa}$  auf die Hautoberfläche des Menschen wirkt.
  - Erkläre, warum Lebewesen in der Lage sind, solche Kräfte auszuhalten.
- 5 Der Druck in einem Behälter beträgt  $30 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$ . Wie groß darf ein Loch im Behälter höchstens sein, wenn man annimmt, dass ein erwachsener Mensch hierbei mit seiner Hand eine Kraft von maximal  $150 \text{ N}$  ausüben kann, um das Loch abzudichten?

- 6 a) Nenne die auffällige Gemeinsamkeit eines Schneeschuhs sowie eines Kamelfußes.
- b) Begründe physikalisch die besondere Form.



Abb. 6: Große Füße

- 7 Ein Bleistift wird an seiner Spitze und an seinem Ende mit den beiden Zeigefingern gehalten und dann leicht zusammengedrückt. Der Finger, der die Spitze berührt, empfindet mehr Schmerz.
- Erkläre diese Erfahrung.
  - Bei welchen Alltagsgegenständen nutzt man dieses Prinzip aus?

- 8 Das Rohr einer Erdölpipeline hat eine Querschnittsfläche von  $1,58 \text{ m}^2$ . Um zu überprüfen, ob es dicht ist, wird ein Prüfdruck von  $240 \text{ bar}$  angelegt. Welche Kraft wirkt dabei auf die Abschlussplatte der Pipeline?



Abb. 7: Pipeline

- 9 Die Raupen eines Baggers haben mit dem Boden eine Berührfläche von  $5,1 \text{ m}^2$ . Der Boden, auf dem der Bagger arbeitet, erlaubt aus Umweltschutzgründen eine maximale Belastung von  $1,47 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ .

Berechne die maximal zulässige Masse des Baggers.

- 10 Um einen Feuerwehrschauch zu verschließen, benötigt man eine Kraft von  $3,336 \text{ kN}$ . Der Druck im Schlauch beträgt dabei  $17 \text{ bar}$ . Berechne die Querschnittsfläche des Schlauches.

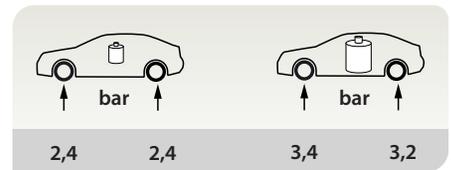


Abb. 8: Feuerwehrschauch

Einstieg

Vor weiten Fahrstrecken soll man den Reifenluftdruck überprüfen. Die passenden Werte finden sich auf einem Schild am Auto.

- Wie kann man den Reifendruck überprüfen?
- Warum gibt es zwei verschiedene Angaben?



Versuche

**V1** Blase unterschiedlich stark in eine Karnevalströte.  
**Beobachtung:** Je stärker man in die Tröte bläst, desto weiter rollt sie sich aus.



Abb. 1: Karnevalströte

**V2** Ein Becher wird mit einer straff gespannten Luftballonhaut luftdicht verschlossen und ein Strohhalm auf die Gummihaut geklebt. Nun wird die Stellung des Strohhalms über mehrere Tage beobachtet.  
**Beobachtung:** Der Strohhalm hebt und senkt sich.

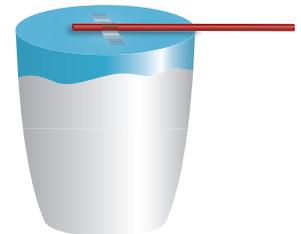


Abb. 2: Versuchsaufbau zu V2

**V3** Ein mit gefärbtem Wasser gefülltes U-Rohr wird auf der einen Seite an einen Schlauch mit Glasröhre angeschlossen. Die Glasröhre wird in einen Zylinder voll Wasser getaucht.  
**Beobachtung:** Die Flüssigkeit im U-Rohr steigt auf der dem Messfühler abgewandten Seite an.

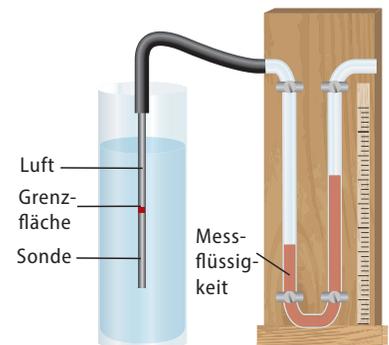


Abb. 3: U-Rohr-Manometer

Erklärung

Das Prinzip von Druckmessgeräten basiert auf der Beobachtung einer durch den Druck hervorgerufenen Kraftwirkung. Diese kann eine Verformung der Gefäßwände hervorrufen. So hat sich in V1 die Tröte ausgerollt. In der technischen Anwendung wird ein solcher Aufbau als **Röhrenfedermanometer** bezeichnet, in dessen Innerem sich eine bogenförmige, elastische Metallröhre befindet (Abb. 4). Die Flüssigkeit, deren Druck gemessen werden soll, befindet sich im Behälter und in dieser Metallröhre. Je größer der Druck in der Flüssigkeit ist, desto stärker wird das Röhrrchen verformt.

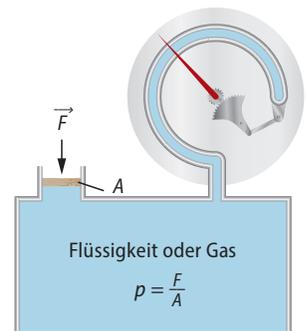


Abb. 4: Röhrenfedermanometer

Die Gummihaut in V2 hat sich durch den wechselnden Luftdruck minimal nach innen oder außen gewölbt. Dies wurde durch den aufgeklebten Strohhalm sichtbar, der sich entsprechend nach oben und unten bewegte. Ein solcher Druckmesser wird als **Membranmanometer** bezeichnet (Abb. 5) und enthält eine gewellte Membran. Ändert sich der Druck in der Flüssigkeit oder im Gas, verformt sich die Membran. Wie beim Röhrenfedermanometer wird diese Verformung in einen Zeigerausschlag umgewandelt.

Eine spezielle Bauform des Membranmanometers sind die **Dosenbarometer** zur Messung des Luftdrucks.

Ein weiteres Druckmessgerät ist das **U-Rohr-Manometer** aus V3. Es wird zum Messen des Drucks in Flüssigkeiten verwendet (Abb. 3).

Durch eine Druckerhöhung in der Sonde entsteht eine Kraftwirkung auf die Luftsäule, die auf die Flüssigkeitssäule im U-Rohr übertragen wird (Abb. 6). Je größer der Druck in der Sonde ist, desto weiter wird die Flüssigkeitssäule verschoben. Bei entsprechender Kalibrierung ist dann der Druck direkt ablesbar. Neben den rein mechanischen Messgeräten gibt es auch solche, die den Druckwert in ein elektrisches Signal umwandeln und digital anzeigen.

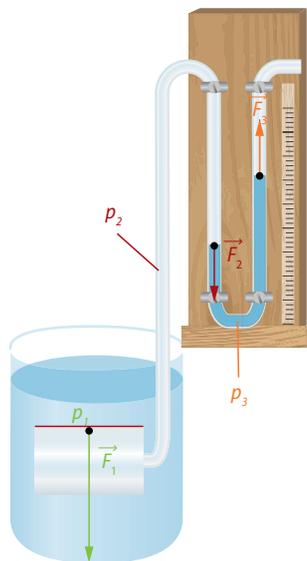


Abb. 6: U-Rohr-Manometer

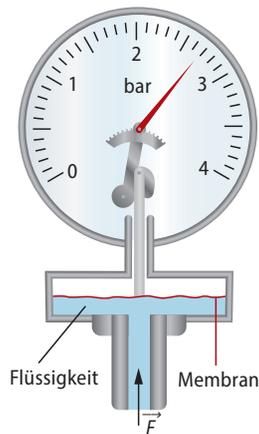


Abb. 5: Membranmanometer

Ursache

↓ Kraft  $\vec{F}_1$  wirkt auf ein abgeschlossenes Gas.

Wirkung

↓ Druck  $p_2$  nimmt zu.

Ursache

↓

Wirkung

↓ Kraft  $\vec{F}_2$  wirkt auf die Flüssigkeit.

Ursache

Druck  $p_3$  nimmt zu.

- Der **Druck in Flüssigkeiten und Gasen** wird mit **Manometern** gemessen.
- Der **Luftdruck** wird meist mit **Barometern** gemessen.

## Merkwissen

- 1 Recherchiere Informationen zu folgenden Themen und präsentiere sie.
  - a) Dosenbarometer (Aufbau und Funktionsweise)
  - b) Elektrische Druckmessgeräte (Aufbau und Funktionsweise)
  - c) Weitere Einheiten des Drucks (historisch, aktuell, Verwendung, Umrechnung)
  - d) Messen des Blutdrucks (Messgerät und Erklärung)
  - e) Druck im Auge

## Aufgaben

## Einstieg

„Beim Tauchen im Urlaub habe ich so einen Druck auf den Ohren gespürt!“

- Was nimmt man in Wirklichkeit wahr?
- Woher kommt der Druck im Wasser?



## Versuche

**V1 a)** Ein Standzylinder wird mit Wasser befüllt und die Drucksonde mit drehbarer Druckmembran eines U-Rohr-Manometers genau auf die Höhe des Wasserspiegels justiert. Das Manometer wird so eingestellt, dass es 0 Pa Druck anzeigt. Nun wird die Sonde in 5-cm-Schritten abgesenkt.

**Beobachtung:** Mit steigender Eintauchtiefe steigt der Druck.

**b)** Die Messmembran wird in einer festgelegten Messtiefe in 90°-Schritten gedreht (Abb. 1).

**Beobachtung:** Der Schweredruck in einer bestimmten Tiefe ist unabhängig von der Orientierung der Messmembran.

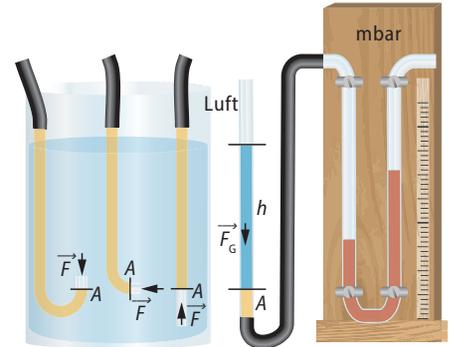


Abb. 1: Versuchsaufbau zu V1

Simulation  
unter 67029-16



**V2** Nacheinander werden verschieden geformte Gefäße in das Gerät aus Abb. 2 eingesetzt. Nun füllt man in die Gefäße Wasser bis zur gleichen Höhe.

An der unteren Öffnung befindet sich eine elastische Membran. Ein Hebelzeiger zeigt die Verformung der Membran an. Ausgangs- und Endlage werden gekennzeichnet.

**Beobachtung:** Unabhängig von der Gefäßform schlägt der Zeiger bei gleicher Wasserhöhe gleich weit aus.

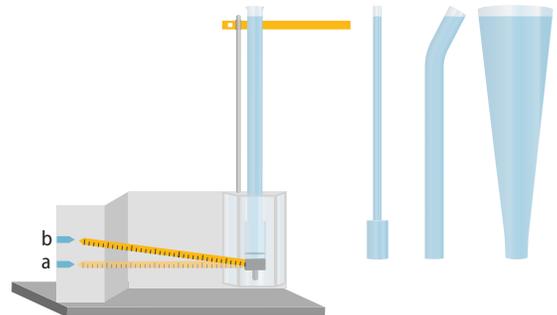


Abb. 2: Versuchsaufbau zu V2

## Erklärung

Mithilfe des Manometers in V1 a) wird nachgewiesen, dass der Druck im Wasser mit größer werdender Eintauchtiefe steigt. V1 b) zeigt, dass der Druck in einer bestimmten Eintauchtiefe unabhängig von der Orientierung der Messmembran ist, was eine Folge der gleichmäßigen Wirkung des Drucks nach allen Seiten ist. Des Weiteren ist der Druck bei gleicher Wasserhöhe (über der Messstelle) unabhängig von der Gefäßform (V2).

Das bedeutet, dass der Druck am Boden eines senkrecht stehenden Rohres bei beispielsweise zwei Metern Wasserhöhe genauso groß ist wie am Boden eines zwei Meter tiefen Brunnens oder eines zwei Meter tiefen Sees. Der Druck in einer bestimmten Tiefe ist also nicht vom Volumen des Wassers im Gefäß abhängig, sondern nur von der Höhe der über dem Messpunkt liegenden Wassersäule (Abb. 3). Diese besteht aus vielen kleinen Schichten. Zusammen genommen ergeben diese eine „Wassersäule“ mit freier Oberfläche. Stellt man sich die Wassersäule als „Stempel“ vor, dann ist die Kraft, mit der auf den Stempel ein Druck ausgeübt wird, die **Gewichtskraft** der Wassersäule. Dieser Druck wird deshalb **Schweredruck**  $p_s$  genannt.

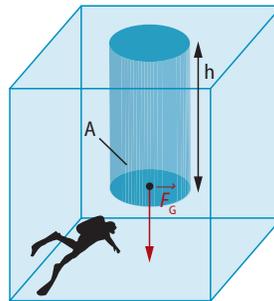


Abb. 3: Flüssigkeitssäule mit der Höhe (Eintauchtiefe)  $h$

- In Wasser (sowie anderen Flüssigkeiten) wirkt der **Schweredruck**  $p_s$ . Er ist nur von der Höhe der Flüssigkeitssäule über dem Messpunkt abhängig.
- In gleicher Eintauchtiefe ist der **Schweredruck unabhängig von der Form** sowie dem **Volumen** des Gefäßes und **in allen Richtungen gleich**.

## Merkwissen

- 1 Erkläre, wie der Schweredruck in Flüssigkeiten entsteht.
- 2 a) Welcher der beiden Taucher nimmt in Abb. 4 den größeren Druck wahr? Begründe deine Antwort.  
b) Recherchiere, worauf man beim Tauchen hinsichtlich des Schweredrucks unbedingt achten muss.

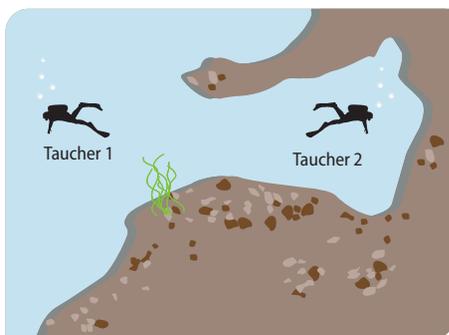


Abb. 4: Druck beim Höhlentauchen

- 3 Blaise Pascal setzte auf ein mit Wasser gefülltes Holzfass ein sehr langes, dünnes Rohr auf (Abb. 5). Als er es ebenfalls mit Wasser füllte, wurde das bisher dichte Fass undicht oder zerbrach gleich ganz. Erkläre den Vorgang physikalisch.

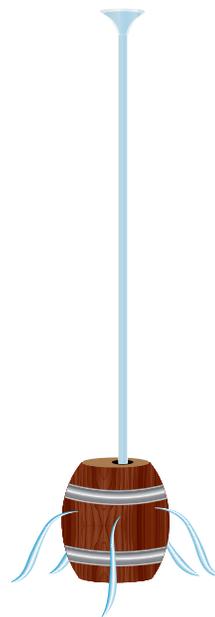


Abb. 5: Fass-Experiment nach Blaise Pascal (1653)

## Aufgaben

Einstieg

Auf Uhren findet man häufig die Angabe, wie gut das jeweilige Modell mit Wasser zurechtkommt. Manche Modelle sind lediglich spritzwassergeschützt, andere dagegen bis zu einer Tiefe von beispielsweise 30 m wasserdicht.

- Warum sind diese Uhren nur bis zu einer bestimmten Tiefe wasserdicht?
- Sind die Uhren auch in anderen Flüssigkeiten dicht?



Versuche

**V1** Die Tauchsonde eines Manometers wird langsam immer tiefer in einen mit Wasser gefüllten Zylinder eingetaucht (Abb. 1).

Die Tabelle zeigt die Messwerte für den Schweredruck  $p_s$  in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe  $h$ .

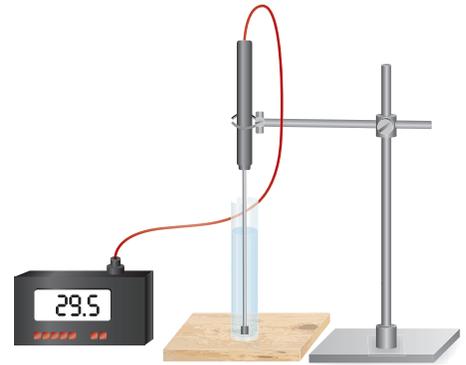


Abb. 1: Versuchsaufbau zu V1

$h$ in cm	0	5,0	8,0	15	20	24	30
$p_s$ in mbar	0	4,8	7,8	14,5	19,5	23,7	29,5

**Beobachtung:** Wenn sich die Eintauchtiefe verdoppelt (verdreifacht, ...), dann vergrößert sich auch der Schweredruck auf ungefähr das Doppelte (Dreifache, ...). Es kann eine direkte Proportionalität zwischen den Größen vermutet werden.

**V2** Mithilfe der Anordnung aus V1 wird nun in Spiritus, Wasser, Salzwasser und Glycerin einer festen Tiefe ( $h = 10$  cm) der Schweredruck in Abhängigkeit von der Dichte  $\rho_{Fl}$  einer Flüssigkeit ermittelt. Folgende Werte entstehen:

	Spiritus	Wasser	Salzwasser	Glycerin
$\rho_{Fl}$ in $\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$	0,830	0,998	1,100	1,261
$p_s$ in mbar	8,1	9,8	10,8	12,7

**Beobachtung:** Mit zunehmender Dichte steigt der Schweredruck in einer festen Eintauchtiefe. Auch hier könnte eine direkte Proportionalität vorliegen.

## Erklärung

Die Ergebnisse aus V1 werden in einem  $h$ - $p_s$ -Diagramm grafisch ausgewertet: Es ergibt sich eine Ursprungstrecke, welche die Vermutung bestätigt. Der **Schweredruck**  $p_s$  ist **direkt proportional** zur **Eintauchtiefe**  $h$ :  $p_s \sim h$  (für  $\rho_{\text{Fl}} = \text{konst.}$ ). Für Wasser gilt vielmehr, dass der Schweredruck pro 10 cm Wassertiefe um 10 mbar zunimmt. Entsprechend nimmt er in 1 m Tiefe um 0,1 bar zu.

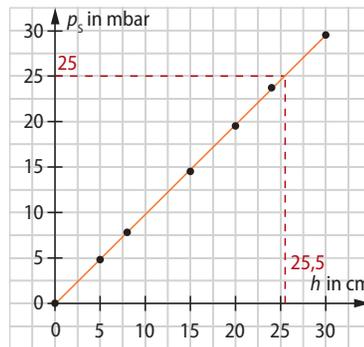


Abb. 2: Grafische Auswertung zu V1

Die Messreihe aus V2 wird numerisch ausgewertet.

$\frac{p_s}{\rho_{\text{Fl}}}$ in $\frac{\text{mbar}}{\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}}$	9,8	9,8	9,82	10,1

Im Rahmen der Messgenauigkeit sind die Quotientenwerte gleich. Bei gleicher Eintauchtiefe  $h$  ist somit der **Schweredruck**  $p_s$  **direkt proportional zur Dichte**  $\rho_{\text{Fl}}$  einer Flüssigkeit:  $p_s \sim \rho_{\text{Fl}}$  (für  $h = \text{konst.}$ ).

Es ergeben sich für den Schweredruck in Flüssigkeiten zwei Abhängigkeiten, genauer: zwei direkte Proportionalitäten, die sich mathematisch durch Multiplikation zusammenfassen lassen:

$$\left. \begin{array}{l} p_s \sim h \\ p_s \sim \rho_{\text{Fl}} \end{array} \right\} \Rightarrow p_s \sim h \cdot \rho_{\text{Fl}} \text{ bzw. } p_s = k \cdot h \cdot \rho_{\text{Fl}}$$

Für den Proportionalitätsfaktor  $k$  gilt  $k = \frac{p_s}{h \cdot \rho_{\text{Fl}}}$  und mithilfe eines Übertrags im  $h$ - $p_s$ -Diagramm sowie der Dichte von Wasser kann dieser konstante Wert bestimmt werden.

$$k = \frac{25 \text{ mbar}}{25,5 \text{ cm} \cdot 0,998 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} = \frac{0,025 \text{ bar}}{2,55 \text{ dm} \cdot 0,998 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} = \frac{0,025 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{2,54 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} = \frac{0,025 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{2,54 \cdot 10^2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

Hierbei handelt es sich um den Ortsfaktor  $g$ , was für den Schweredruck in Flüssigkeiten zu folgender Gesetzmäßigkeit führt:  $p_s = \rho_{\text{Fl}} \cdot g \cdot h$ .

Entsprechend ist der Schweredruck lediglich von der Eintauchtiefe sowie der Dichte der Flüssigkeit abhängig, da für den Ortsfaktor auf der Erde ein fester Wert angenommen werden kann.

- Der **Schweredruck in Flüssigkeiten** hängt von der Eintauchtiefe  $h$  und der Dichte  $\rho_{\text{Fl}}$  der Flüssigkeit ab:  
 $p_s = \rho_{\text{Fl}} \cdot g \cdot h$
- In **Wasser** nimmt der Schweredruck **pro 10 m Wassertiefe um 1 bar** zu.

## Merkwissen

Simulationen  
unter 67029-17



Musteraufgaben

- 1 Berechne den Schweredruck am Boden einer 10,0 m hoch mit Wasser gefüllten Röhre.  
 Lösung:  
 geg.:  $\rho_{\text{Wasser}} = 0,998 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}; h = 10,0 \text{ m}; g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$   
 ges.:  $p_s$   
 Ansatz:  $p_s = \rho_{\text{Wasser}} \cdot g \cdot h$   
 Rechnung:  $p_s = 0,998 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 10,0 \text{ m} = 9,79 \cdot 10^4 \text{ Pa}$
- 2 Wie hoch müsste Quecksilber in eine Röhre gefüllt werden, damit an ihrem Boden der gleiche Schweredruck herrscht wie beim Aufgabenbeispiel 1?  
 Lösung:  
 geg.:  $\rho_{\text{Qu}} = 13,546 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}; p_s = 9,79 \cdot 10^4 \text{ Pa}; g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$   
 ges.:  $h$   
 Ansatz:  $p_s = \rho_{\text{Qu}} \cdot g \cdot h \quad | : \rho_{\text{Qu}} \quad | : g$   
 Rechnung:  $h = \frac{9,79 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{13,546 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 0,737 \text{ m}$

Aufgaben

- 1 Berechne den Druck auf eine Smartwatch, wenn du ...  
 a) in der Badewanne „tauchen“ gehst.  
 b) im Schwimmbad beim Turmspringen bis zum Boden in fünf Metern Tiefe gelangst.
- 2 Ein 3,0 m langer Gartenschlauch voll Wasser hat einen Innendurchmesser von 1,5 cm. Er liegt erst flach auf dem Boden und wird dann senkrecht hochgehalten.  
 a) Berechne für beide Lagen, wie groß der Schweredruck an den tiefsten Stellen des Schlauchs ist.  
 b) Wie hoch müsste ein Rohr mit Spiritus gefüllt werden, um an der tiefsten Stelle den gleichen Schweredruck wie im hochgehobenen Schlauch zu erzeugen?
- 3 Ein Schieber einer Staumauer ist 30 cm breit und 15 cm hoch.  
 a) Welche Kraft wirkt auf ihn, wenn seine Mitte 12 m unter der Wasseroberfläche liegt?  
 b) Welche Rolle spielt dabei das Volumen des Stausees? Begründe.
- 4 Was würde sich für den Schweredruck in einer Flüssigkeit auf dem Mond ändern? Und in der Schwerelosigkeit?

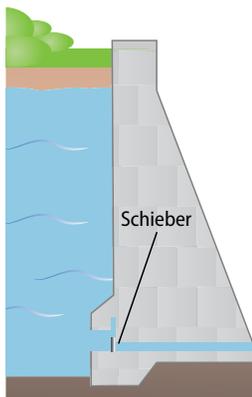


Abb. 3: Gartenschlauch

## Wie entsteht ein Naturgesetz?

Am Anfang vieler Naturgesetze steht eine nicht zu erklärende Beobachtung.

Daraufhin wird das Phänomen nach einer festen Methode untersucht und im besten Fall ein Naturgesetz formuliert. Die in Abb. 4 beschriebene naturwissenschaftliche Arbeitsweise wird auch als **induktive Methode** bezeichnet. Sie wurde innerhalb der Buchreihe bereits häufig angewendet. Der Einzelfall eines Experiments wird hier auf den allgemeinen Fall übertragen und erweitert.

Dem gegenüber steht die **deduktive Methode**. Hier werden anhand bekannter Gesetze neue, allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten abgeleitet und mithilfe von Experimenten überprüft.

Beim Schweredruck in Flüssigkeiten kann die Gesetzmäßigkeit  $p_s = \rho_{\text{Fl}} \cdot g \cdot h$  sowohl induktiv als auch deduktiv erarbeitet werden. Die induktive Herangehensweise wurde auf den vorherigen Seiten gezeigt. Für die deduktive Methode überlegt man:

## Methode

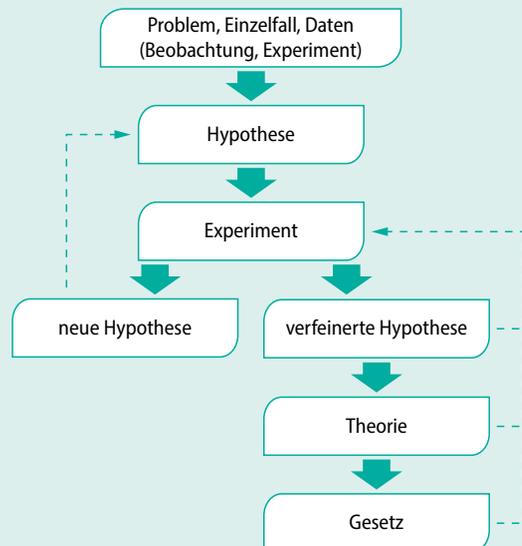


Abb. 4: Induktive Methode zum Erkenntnisgewinn

Der Druck  $p$  ist die Kraft  $F$  auf eine Fläche  $A$ :

$$p = \frac{F}{A}$$

Die Kraft  $F$  auf die Querschnittsfläche  $A$  entspricht der Gewichtskraft  $F_G$ , welche die Flüssigkeitssäule hervorruft:

$$F_G = m \cdot g$$

Die Masse der Flüssigkeitssäule ergibt sich aus dem Volumen  $V$  der Flüssigkeitssäule und der Dichte  $\rho_{\text{Fl}}$ :

$$m = \rho_{\text{Fl}} \cdot V$$

Das Volumen der Flüssigkeitssäule ergibt sich aus der Grundfläche  $A$  und der Höhe  $h$ :

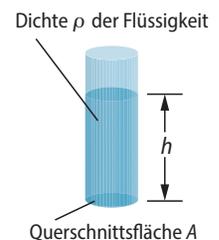
$$V = A \cdot h$$

$$F_G = \rho_{\text{Fl}} \cdot V \cdot g$$

$$F_G = \rho_{\text{Fl}} \cdot A \cdot h \cdot g$$

$$p = \frac{\rho_{\text{Fl}} \cdot A \cdot h \cdot g}{A}$$

$$p_s = \rho_{\text{Fl}} \cdot g \cdot h$$

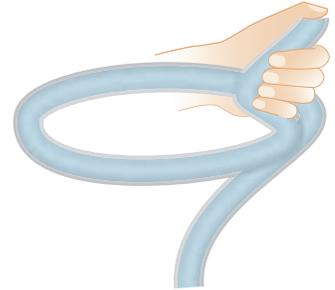


- Erkläre den Unterschied zwischen der induktiven und deduktiven Methode.
- Recherchiere die Herkunft der beiden Wörter und ihre jeweilige ursprüngliche Bedeutung.

## Einstieg

Füllt man ein Schlauchstück vollständig mit Wasser und hält ein Ende mit dem Daumen zu, fließt aus dem unten offenen Schlauch kein Wasser heraus.

- Wie kann das sein?
- Was muss man machen, damit das Wasser herausfließt?



## Versuche

Arbeitsblatt zu V1  
unter 67029-18



- V1 a)** Fülle ein Glas mit Wasser. Lege nun einen Bierdeckel auf das Glas. Drücke den Bierdeckel gegen das Glas und drehe das Glas über dem Waschbecken um. Lass den Bierdeckel nun vorsichtig los. Kippe das Glas auch zur Seite.  
**Beobachtung:** Der Bierdeckel verschließt das Glas. Es tritt kein Wasser aus.

Material  
– Glas  
– Wasser  
– Bierdeckel

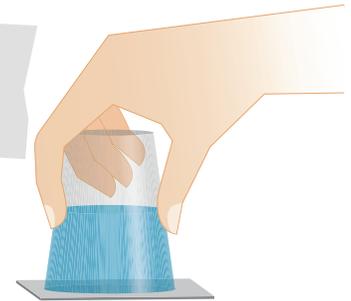


Abb. 1: Mit Wasser gefülltes Glas, verschlossen durch einen Bierdeckel

- b)** Halte das umgedrehte Glas über dem Waschbecken und drücke den Bierdeckel minimal vom Glasrand weg.  
**Beobachtung:** Der Bierdeckel fällt sofort herunter und das Wasser läuft aus.

- V2** Aus einem Modell der Magdeburger Halbkugeln (Abb. 2) wird mit einer Vakuumpumpe die Luft herausgepumpt. Zwei Schüler versuchen durch Ziehen die Halbkugeln zu trennen. Anschließend wird der seitliche Hahn geöffnet und die Kugelhälften wieder belüftet.



Abb. 2: Modell der Magdeburger Halbkugeln

- Beobachtung:** Die Kugeln lassen sich nicht auseinanderziehen, erst nach dem Öffnen des Hahns gelingt dies ohne Anstrengung.

## Erklärung

Beim Umdrehen des Glases aus V1 a) läuft eine geringe Menge Wasser heraus, was dazu führt, dass sich die Teilchendichte in der im Glas befindlichen Restluft verringert. Dadurch herrscht in der Luft im Glas ein niedrigerer Druck als in der Umgebungsluft. Dieser höhere äußere Druck bewirkt eine Kraft, die den Bierdeckel so fest gegen das Glas drückt, dass nichts ausläuft. Der Druck ist richtungsunabhängig, man kann das Glas also auch kippen. V1 b) zeigt, dass im Falle eines Druckausgleichs (kleiner Spalt zwischen Bierdeckel und Glasrand) das Wasser sofort ausläuft.

Ähnlich verhält es sich in V2. Im Inneren der Halbkugeln herrscht ein sehr viel niedrigerer Druck, sodass von außen eine Kraft wirkt, die die Halbkugeln zusammenpresst.

Deshalb ist es nur unter enormer Kraftanstrengung möglich, die Halbkugeln zu trennen.

Die Ursache der wirkenden Kräfte ist der Druck der uns umgebenden Luft. Dieser entsteht durch die Schwere (Masse) der über uns befindlichen Luftsäule und der daraus resultierenden Gewichtskraft, die auf eine bestimmte Fläche wirkt (Abb. 3). Der **Schweredruck der Luft** wird im Allgemeinen auch als **Luftdruck** bezeichnet.

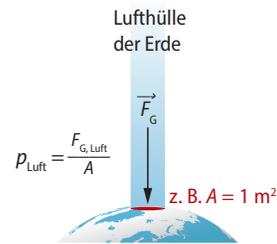


Abb. 3: Ursache des Luftdrucks

- Der **Luftdruck** ist der **Schweredruck der Luft** und wird durch die Gewichtskraft der über dem Messpunkt befindlichen Luftsäule verursacht.

## Merkwissen

- 1 Erläutere mithilfe einer geeigneten Skizze, wie der Luftdruck entsteht.
- 2 Erkläre, warum zum Lösen zweier zusammengedrückter Saugnapfe eine große Kraft aufgewendet werden muss.



Abb. 4: Zusammengedrückte Saugnapfe

## Aufgaben

### Die Magdeburger Halbkugeln

Im Jahre 1657 führte der Naturforscher Otto von Guericke in Magdeburg ein verblüffendes Experiment der Öffentlichkeit vor. Er fügte zwei hohle Halbkugeln aus Kupfer zu einer Kugel zusammen und pumpte die Luft heraus. Dann spannte er an jede Hälfte ein Gespann mit acht Pferden, denen es nicht gelang, die Halbkugeln wieder zu trennen. Erst als Guericke an einem Hahn, der sich an einer der Halbkugeln befand, drehte, fielen sie unter lautem Zischen auseinander.



Abb. 5: Magdeburger Halbkugeln

- Erkläre, warum sich die Halbkugeln nach Drehen des Hahns voneinander lösten.
- Erkläre anhand des Versuchs das Wechselwirkungsprinzip.

## Geschichte

## Einstieg

Packt man sich für eine Reise mit dem Flugzeug ins Handgepäck eine Tüte Chips, so kann man unter Umständen beobachten, dass sie einige Zeit nach dem Start total aufgebläht ist. Auch auf dem Gipfel eines Berges kann man Ähnliches beobachten.

- Kannst du das Phänomen erklären?



## Versuche

**V1** Ermittle mit einer App den Wert des Luftdrucks im Erdgeschoss. Gehe anschließend zum obersten Stockwerk und notiere auf dem Weg weitere Werte.

**Beobachtung:** Wenn man nach oben steigt, nimmt der Luftdruck ab.

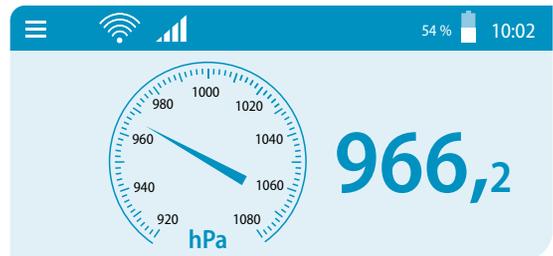


Abb. 1: Messdaten des Drucksensors eines Smartphones

**V2** Ein dünner, mindestens 11 m langer durchsichtiger Schlauch wird mit Wasser befüllt. Nun verschließt man ein Ende mit einem Stöpsel. Das andere bleibt offen in einem mit Wasser gefüllten Eimer unter Wasser fixiert. Das geschlossene Ende zieht man zusammen mit einem Maßband hoch.

**Beobachtung:** Zwischen 9 m und 10 m Höhe pendelt sich der Spiegel der Wassersäule unabhängig von der Höhe des oberen Schlauchendes ein. Darüber bleibt der Schlauch leer.

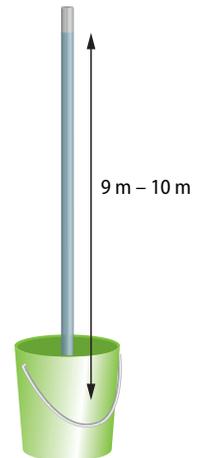


Abb. 2: Versuchsaufbau zu V2

## Erklärung

Mit zunehmender Höhe nimmt der Luftdruck ab (V1). V2 zeigt, dass der Druck auf die Wasserfläche im Eimer etwa dem Schweredruck einer Wassersäule von 9 m bis 10 m entspricht, also einem Druck zwischen etwa 900 mbar und 1000 mbar. Würde man den Druck in verschiedenen Höhen über dem Meeresspiegel in Abständen von 1000 m messen, so würde man im Gegensatz zum Schweredruck in Wasser sehen, dass sich der **Luftdruck nicht linear verändert** (Abb. 3). Der Grund dafür ist: **Luft lässt sich** im Gegensatz zu Wasser **komprimieren**. Tiefer liegende Luftschichten werden aufgrund der Gewichtskraft der (darüber liegenden) Luft stärker komprimiert als höher liegende. In einer Höhe von 5000 m beträgt der Luftdruck nur noch die Hälfte des Drucks in Meeresspiegelhöhe, wo er unter Normalbedingungen  $1013 \text{ hPa} = 1,013 \text{ bar}$  beträgt.

München liegt etwa 530 m über dem Meeresspiegel (530 m über N.N.). Es herrscht dort ein durchschnittlicher Luftdruck von 948 hPa. Je nach Wetterlage schwankt er zwischen 920 hPa (Tiefdruck) und 975 hPa (Hochdruck).

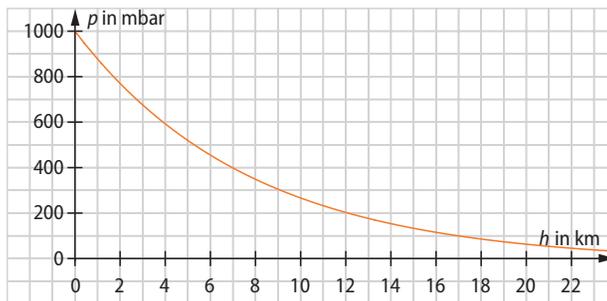


Abb. 3:  $h$ - $p$ -Diagramm: Der Luftdruck nimmt nicht linear mit der Höhe ab. Mit  $h$  ist hier nicht die Höhe der Luftsäule, sondern die Höhe über dem Meeresspiegel gemeint.

Simulation  
unter 67029-19



Ein Messgerät zur Messung des Luftdrucks wird oft als „Barometer“ bezeichnet.

- Der **Luftdruck in Meeresspiegelhöhe** beträgt unter Normalbedingungen etwa **1013 hPa = 1,013 bar**.
- Mit zunehmender Höhe nimmt der **Luftdruck nicht linear** ab.

## Merkwissen

- Erkläre, warum der Luftdruck mit ansteigender Höhe abnimmt, und warum diese Abnahme nicht linear ist.
  - Von welchen anderen Bedingungen hängt der Luftdruck ab?

- Abb. 4 zeigt den Aufbau eines Dosenbarometers mit einer luftleeren Dose. Erkläre dessen Funktionsweise. Begründe sie physikalisch.
  - Informiere dich über weitere Messgeräte zum Bestimmen des Luftdrucks. Erstelle zu einem Messgerät einen Steckbrief, welcher den Aufbau und die Funktionsweise wiedergibt.

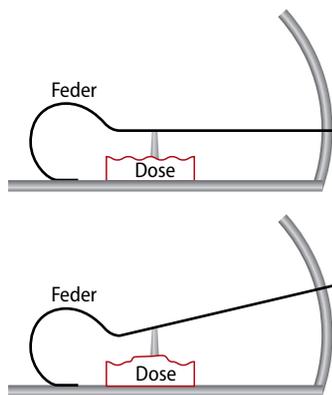


Abb. 4: Funktionsweise Dosenbarometer

- Bestimme mithilfe des  $p$ - $h$ -Diagramms (Abb. 3) den Luftdruck an folgenden Orten.
  - Gipfel der Zugspitze
  - Gipfel des Mount Everests
  - Anfang der Stratosphäre (über dem Äquator)
- Wie hoch ist bzw. wäre ein Berg, wenn auf seinem Gipfel der Luftdruck noch 80 % (60 %, 50 %, 25 %, 1 %) des Luftdrucks unter Normalbedingungen betrüge?
- Ein Punkt am Ufer des Toten Meeres liegt 413 Meter unter dem Meeresspiegel. Wie hoch ist hier der Luftdruck? Recherchiere.

## Aufgaben

Verbundene Gefäße

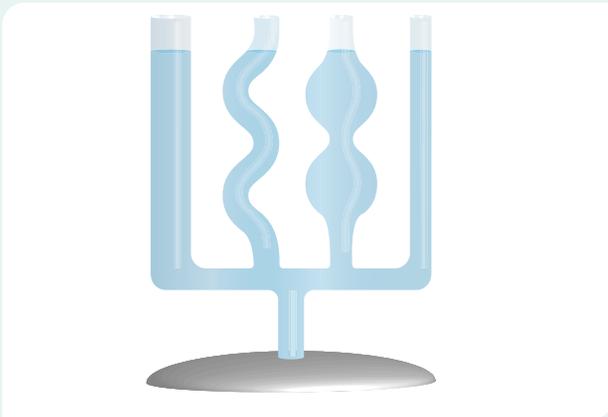


Abb. 1: Verbundene Gefäße

Zwei oder mehrere oben offene Gefäße, die so miteinander verbunden sind, dass Wasser (oder eine andere Flüssigkeit) von einem Gefäß in die anderen fließen kann, nennt man verbundene Gefäße (Abb. 1). Beim Einfüllen von Wasser in eines der Gefäße steigt das Wasser anfangs in diesem Gefäß etwas höher. Dort herrscht nun wegen der größeren Höhe auch ein größerer Schweredruck. Aufgrund des Druckunterschiedes strömt das Wasser aus diesem Gefäß in die anderen Gefäße, bis in allen Gefäßen der gleiche Flüssigkeitsstand und damit auch der gleiche Druck herrscht.

In unserem Alltag gibt es zahlreiche Anwendungen, die auf das Prinzip der verbundenen Gefäße zurückgehen: In Abb. 2 ist eine Schlauchwaage dargestellt. Man kann damit ohne weitere Hilfsmittel gleiche Höhen, beispielsweise an den Wänden eines Zimmers, markieren.

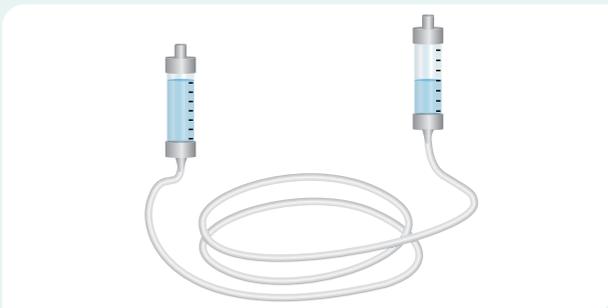


Abb. 2: Schlauchwaage

Abb. 3 zeigt unser Wasserversorgungssystem, das dafür sorgt, dass Haushalte tagtäglich fließendes Wasser zur Verfügung haben.

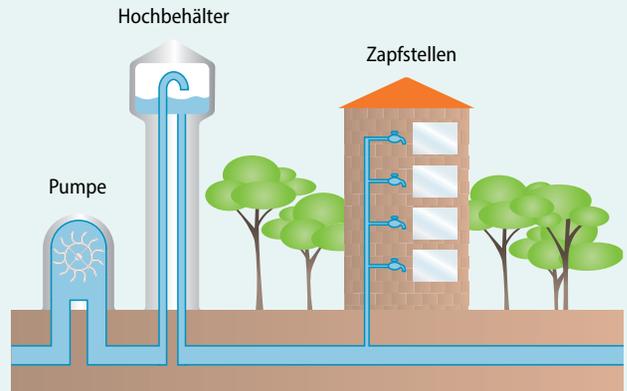


Abb. 3: Wasserversorgungsanlage

- Statt „verbundener“ Gefäße ist auch der Begriff „kommunizierende“ Gefäße/Röhren üblich. Erkläre.
- Baue eine Schlauchwaage aus einem durchsichtigen Schlauch und untersuche, ob dein Schreibtisch waagrecht steht. Wie gehst du dabei vor?
- Erläutere, welche Aufgabe Pumpe, Hochbehälter und Zapfstellen in einer Wasserversorgungsanlage (Abb. 3) haben. Warum ist auch hier der Luftdruck wichtig?
- Abb. 4 zeigt weitere verbundene Gefäße. Beschreibe die jeweiligen Anwendungen.
- Nenne weitere Beispiele für Geräte, deren Funktionsprinzip auf der Grundlage verbundener Gefäße beruht.



Abb. 4: Weitere verbundene Gefäße

## Staumauern



Abb. 5: Hoover Dam – eine Kombination aus Bogen- und Gewichtstaumauer

Zur Sicherung der Wasserversorgung oder zur Bereitstellung elektrischer Energie werden riesige Wassermassen angestaut. In vielen Fällen errichtet man Talsperren und staut auf diese Weise mit einer Staumauer bzw. einem Damm das Fließgewässer eines Tales zu einem Stausee auf. Weil der Schweredruck mit der Tiefe zunimmt, werden Staumauern bzw. Dämme nach unten hin stärker. Die sogenannte Dammsohle (unten) ist also viel breiter als die Dammkrone (oben). Abb. 6 zeigt einen typischen Querschnitt durch eine Gewichtstaumauer, die durch ihre große Masse eine hohe Stabilität bietet.

- Recherchiere, welche verschiedenen Arten von Staudämmen gebaut werden. Nenne ihre Vor- und Nachteile.
- Beschreibe, wie man den Druck am Fuß eines Staudamms berechnen kann.
- Erkläre, was ein Deich ist. Skizziere einen Deichquerschnitt und begründe seine Form.

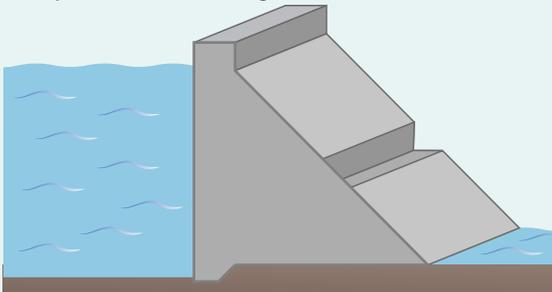


Abb. 6: Gewichtstaumauer

## Tauchen

Grundsätzlich gibt es beim Tauchen zwei Probleme: Zum einen fehlt unter Wasser die Luft zum Atmen, zum anderen erhöht sich mit zunehmender Wassertiefe der Schweredruck des Wassers, was sich beispielsweise durch einen Druck auf die Ohren bemerkbar macht. Auch die Lunge verkleinert sich rapide. Ohne Hilfsmittel kann ein Mensch deshalb nur wenige Meter tief tauchen. Dem Schweredruck des Wassers wird deshalb mit Pressluft entgegengewirkt, die den Taucher atmen lässt und gleichzeitig dafür sorgt, dass die Lunge nicht zusammenfällt. Auf diese Weise sind Tauchtiefen über 50 m erreichbar.



Abb. 7: Taucher bei einem Safety-Stop

- Recherchiere weitere Informationen zum Druckausgleich (z. B. Safety- oder Deko-Stopp), zu Gefahren beim Tauchen sowie Maßnahmen zur ersten Hilfe.
- Erkläre, was ein Schnorchel ist, und begründe, warum seine Länge 35 cm nicht überschreiten darf.
- Welche Taucharten werden unterschieden? Welche Tiefen wurden maximal erreicht? Recherchiere.
- Wie gehen verschiedene Meerestiere mit dem Schweredruck in Wasser um? Recherchiere.

Hoch- und Tiefdruck

Der Luftdruck hat großen Einfluss auf unser Wetter. Gebiete mit hohem Luftdruck werden Hoch(-druckgebiete), Gebiete mit niedrigem Luftdruck entsprechend Tief(-druckgebiete) genannt. Durch die Luftdruckunterschiede fließt die Luft vom Hoch zum Tief – ein Wind ist entstanden. Tiefdruck kann z. B. durch starke Sonneneinstrahlung über dem Festland entstehen. Die Luft erwärmt sich über dem Boden und dehnt sich dabei aus. Die Dichte der Luft wird geringer und der Luftdruck nimmt ab. Analog kann es zu Hochdruck über kalten Gebieten, z. B. über dem Meer, kommen.

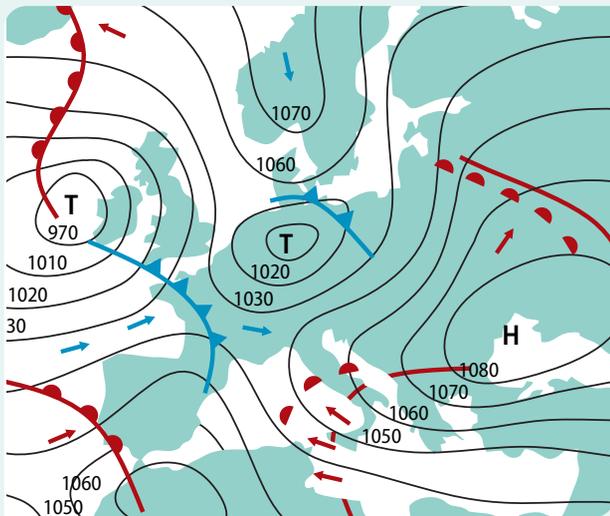


Abb. 1: Wetterkarte. Die Linien, die Orte mit gleichem Luftdruck verbinden, werden Isobare genannt.

- Im Wetterbericht wird manchmal von einem Azorenhoch gesprochen. Was sind die Azoren? Was haben sie mit Hochdruck zu tun?
- Erstelle eine Legende (mit kurzen Erklärungen) zur abgebildeten Wetterkarte.
- Neben der Erwärmung der Erdoberfläche spielen noch andere Faktoren bei der Entstehung von Hochs und Tiefs eine Rolle. Finde einige heraus.
- Lewis Fry Richardson hatte 1922 die Idee, die Entwicklung des Wetters vorherzusagen, indem man die Atmosphäre in Abteilungen unterteilt. Informiere dich, wie sich die Wettermodelle von 1922 bis heute entwickelt haben.

Saugpumpen

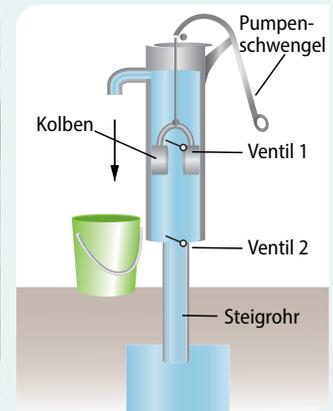


Abb. 2: Saugpumpe und ihre Funktionsweise

Eine Saugpumpe besteht aus einem Metallzylinder, in dem ein Kolben auf und ab bewegt werden kann. Im Kolbenraum befindet sich ein Ventil (Ventil 1, Abb. 2), an der Verbindungsstelle des Steigrohrs zum Kolbenraum befindet sich ein weiteres (Ventil 2).

Beim Hochziehen des Pumpenschwengels bewegt sich der Kolben nach unten, der Kolbenraum verringert sich und die Luft entweicht durch Ventil 1. Beim Herunterdrücken des Pumpenschwengels wird der Innenraum vergrößert und Ventil 1 schließt sich. Weil keine Luft nachströmen kann, nimmt der Druck im Kolbenraum ab. Durch den äußeren Luftdruck wird dabei Wasser durch das Steigrohr in den Kolbenraum gedrückt (Einströmen durch Ventil 2). Bei der Abwärtsbewegung des Kolbens schließt sich Ventil 2 und das Wasser strömt durch Ventil 1 in den Raum über dem Kolben. Bei der nächsten Aufwärtsbewegung wird es schließlich aus der Pumpe gedrückt, im Kolbenraum entsteht wieder ein Unterdruck und die Abläufe wiederholen sich.

- Warum kann mit einer solchen Saugpumpe Wasser nur etwa 10 m hochgepumpt werden?
- Wie verhält es sich mit anderen Flüssigkeiten – zum Beispiel Öl?
- Welche Vor- und Nachteile hat eine Saugpumpe im Vergleich zu einer Druckpumpe? Recherchiere.

## Druckkabinen

Moderne Passagierflugzeuge erreichen Reise Flughöhen von bis zu 12 000 m. In dieser Höhe, aber auch schon in deutlich geringeren Höhen, ist der Luftdruck so niedrig, dass ein Mensch nicht überleben könnte. Deshalb wird im Inneren der sogenannten Druckkabine künstlich ein Luftdruck erzeugt, der einer Höhe von etwa 2400 Metern entspricht. Die hohe Druckdifferenz zwischen Kabineninnendruck und Außendruck stellt allerdings eine große Belastung für den Druckkörper des Flugzeugs dar.



Abb. 3: Passagierkabine innerhalb der Druckkabine eines Flugzeugs

- Ermittle anhand der Grafik auf Seite 69 den Innendruck in 2400 m und den Außendruck in 12 000 m Höhe. Berechne damit die Kräfte, die auf 1,0 m<sup>2</sup> Wand von innen und außen wirken. Vergleiche. Welche Gesamtkraft wirkt also unter diesen Bedingungen auf 1,0 m<sup>2</sup> der Flugzeugwand?
- Was würde bei einem Leck in der Druckkabine passieren? Recherchiere, welche Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden und welche Notfallvorkehrungen es in Flugzeugen gibt.
- Noch extremer sind die Bedingungen bei Raumschiffen. Hier beträgt der Außendruck im Vakuum des Weltalls 0 bar. Welche technischen Tricks werden hier angewendet, um die Druckkabine nicht unnötig schwer zu machen? Recherchiere.

## Höhenbergsteigen

Unter Höhenbergsteigen versteht man das Bergsteigen in höheren Lagen eines Gebirges, bei dem eine Anpassung des menschlichen Körpers an die entsprechende Höhe notwendig ist. Dabei wird der Körper durch längeren Aufenthalt in Höhen von 4200 m bis 5500 m an die niedrige Sauerstoffversorgung gewöhnt. Nach dieser Eingewöhnung ist es normalerweise möglich, sich kurzfristig in Höhen bis 7000 m aufzuhalten. Der Bereich darüber bis hin zum Gipfel des Mount Everest in 8849 m wird als Todeszone bezeichnet. In diesem Bereich kann nicht mehr genügend Sauerstoff vom Blut aufgenommen werden, um den Bergsteiger ausreichend zu versorgen. So ist ein Überleben in Höhen über 8000 m bei einem Aufenthalt von über 48 Stunden unwahrscheinlich. Bisher ist es nur vergleichsweise wenigen Bergsteigern gelungen, den Gipfel des Everest ohne zusätzlichen Flaschensauerstoff zu erreichen. Die ersten, die es schafften, waren Peter Habeler und Reinhold Messner im Jahre 1978.



Abb. 4: Bergsteiger mit Sauerstoffmaske am Mount Everest

- Ermittle den jeweiligen Luftdruck in verschiedenen Höhen (0 m, 2500 m, 4200 m, 5000 m, 7000 m, 8849 m).
- Was versteht man unter der Höhenkrankheit? Recherchiere, ab welcher Höhe Anzeichen dieser Krankheit auftreten können, welche Ursachen sie hat und wie sie verlaufen kann.

Aufgaben zur Einzelarbeit

- 1 Teste dich! Bearbeite dazu die folgenden Aufgaben und bewerte die Lösungen mit einem Smiley.
- 2 Die Aufgaben haben unterschiedliche Schwierigkeitsgrade: leicht mittel schwer

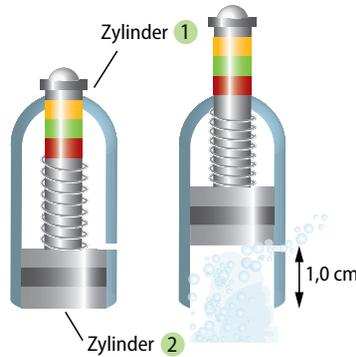
😊	😐	☹️
Das kann ich!	Das kann ich fast!	Das kann ich noch nicht!

- 1 Erkläre mithilfe des Teilchenmodells, warum der Druck innerhalb eines Dampfdrucktopfs steigt, wenn er sich auf einer eingeschalteten Herdplatte befindet.



- 2 Ein Haus soll mit insgesamt 15 Hubzylindern, von denen jeder eine Querschnittsfläche von  $0,011 \text{ m}^2$  besitzt, um 30 cm angehoben werden. Der Druck des Öls in jedem Hubzylinder beträgt dabei 19 bar.
  - a) Bestimme den Betrag der Kraft, die ein einzelner Zylinder auf das Haus ausübt.
  - b) Berechne die von den 15 Zylindern verrichtete physikalische Arbeit.

- 3 Die Abbildung zeigt das Sicherheitsventil eines Dampfkochtopfes. Bei einem Überdruck von 0,22 bar wirkt auf Zylinder 2 eine Kraft von 2,0 N und die Auslassöffnung wird freigegeben.



- a) Beschreibe die Funktionsweise des Überdruckventils.
  - b) Berechne die Querschnittsfläche von Zylinder 2.

- 4
  - a) Berechne den Druck in einem Fahrradreifen, wenn auf eine Fläche von  $2,5 \text{ cm}^2$  eine Kraft von 87 N wirkt.
  - b) Vergleiche den Druck im Fahrradreifen mit dem Druck in einem Luftballon (1,4 bar) und erkläre, warum man beim Fahrradreifen ein stabileres Material als beim Ballon verwendet.

- 5 Die Staumauer eines Speicherwasserkraftwerks muss gereinigt werden. Tim, der Reinigungstauger, befindet sich noch in Ausbildung und erhält die Aufgabe, sich in verschiedenen Wassertiefen  $h$  den Schweredruck  $p$  des Wassers zu notieren. Er schreibt sich folgende Werte auf:

$h$ in m	5	10	15	20	25
$p$ in kPa	50	101	149	203	248

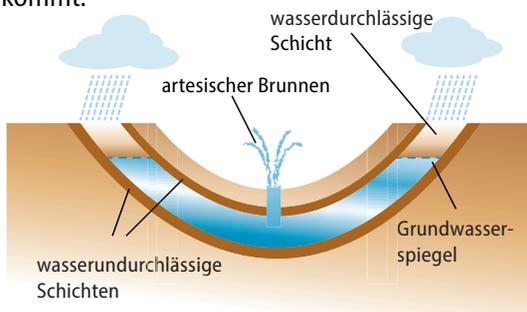
- a) Erstelle aus den Messwerten ein  $h$ - $p$ -Diagramm.
  - a) Gib den mathematischen Zusammenhang zwischen Tiefe und Schweredruck an.
  - c) Entnimm aus dem Diagramm die Tiefe, in der der Schweredruck 185 kPa beträgt.
  - d) Ermittle die Druckzunahme auf deinen Körper, wenn du 7,5 m tief tauchst.

- 6 In einer Flasche aus Plastik werden seitlich untereinander drei gleich große Öffnungen angebracht. Die Grafik zeigt die Beobachtung, wenn man die Flasche mit Wasser füllt. Erkläre die Beobachtung.



7 Bei einem artesischen Brunnen tritt das Wasser von selbst aus.

a) Erkläre mithilfe der Abbildung, wie es dazu kommt.



b) Skizziere einen Versuch, mit dem du dieses Phänomen nachstellen kannst.

8 Stech- bzw. Giftheber werden verwendet, um unter anderem giftige Flüssigkeiten gefahrlos umfüllen zu können.

a) Beschreibe das auf der Wirkung des Luftdrucks beruhende Funktionsprinzip.

b) Welchen Alltagsgegenstand kannst du verwenden, um dieselbe Wirkung zu erzielen?



### Aufgaben für Lernpartner

1 Bearbeite die folgenden Aufgaben alleine.

2 Suche dir einen Partner und erkläre ihm deine Lösungen. Höre aufmerksam und gewissenhaft zu, wenn dein Partner dir seine Lösungen erklärt.

3 Korrigiere gegebenenfalls deine Antworten und benutze dazu eine andere Farbe.

Sind folgende Behauptungen **richtig** oder **falsch**? Begründe schriftlich.

A Der Druck in einem Gas beschreibt, wie schnell die Gasteilchen sind.

B Der Druck in einem abgeschlossenen Gas kann durch Erwärmen erhöht werden.

C Der Druck „wirkt“ in alle Richtungen gleich.

D Mit einem Barometer kann man den Druck in einer Flüssigkeit bestimmen.

E Im Weltall ist der Druck sehr groß.

F Sind zwei oder mehrere oben offene, mit Wasser gefüllte Gefäße miteinander verbunden, so ist der Wasserspiegel in allen Gefäßen gleich hoch.

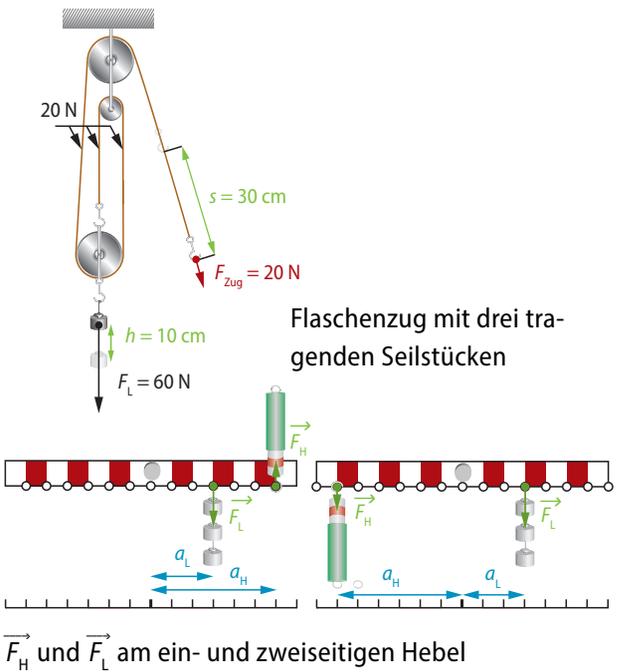
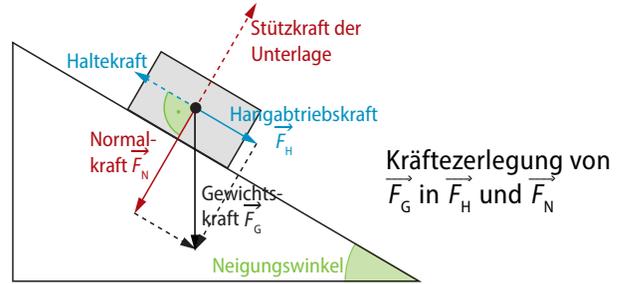
G Der Schweredruck in Wasser nimmt pro 10 m Eintauchtiefe um 10 000 Pa zu.

H Der Luftdruck nimmt gleichmäßig mit der Höhe ab.

Aufgabe	Ich kann ...	Hilfe
1, A, B, C, D, E	den Druck mithilfe des Teilchenmodells erklären und auf Beispiele anwenden.	S. 52
2, 3, 4	den Zusammenhang zwischen Kraft und Fläche erklären und anwenden.	S. 54
4, 5, 6, 7, F, G	die Abhängigkeiten des Schweredrucks erläutern und anwenden.	S. 60, 62
8, H	den Luftdruck in Alltagssituationen begründen.	S. 66, 68

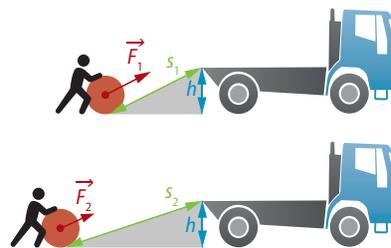
**Kraftwandler: Schiefe Ebene, Flaschenzug und Hebel**

- **Kraftwandler** sind mechanische Geräte, die mindestens ein Bestimmungsstück einer Kraft ändern: den **Angriffspunkt**, den **Kraftbetrag** oder die **Richtung der Kraft**.
- Bei der Überwindung von Höhenunterschieden zerlegt die gegen die Horizontale geneigte **schiefe Ebene** die **Gewichtskraft  $\vec{F}_G$**  in die **Hangabtriebskraft  $\vec{F}_H$**  und die **Normalkraft  $\vec{F}_N$** .
- Ein **Flaschenzug** verringert den Betrag der **Zugkraft  $\vec{F}_{Zug}$**  mithilfe von Seilen und Rollen.
- Der Betrag der **Zugkraft  $F_{Zug}$**  verringert sich entsprechend der Anzahl der **tragenden Seilstücke**.
- Die Strecke  $s$ , die das Zugseil bewegt werden muss, vergrößert sich entsprechend der Anzahl der tragenden Seilstücke.
- Jeder starre Körper, der um einen festen Punkt drehbar ist, kann als **Hebel** genutzt werden. Das Wirken einer Kraft auf einen Hebelarm will eine Drehbewegung des Hebels hervorrufen.
- Am längeren Arm greift die kleinere Kraft an.
- Am einseitigen Hebel sind  $\vec{F}_H$  und  $\vec{F}_L$  entgegengesetzt gerichtet, am zweiseitigen Hebel sind  $\vec{F}_H$  und  $\vec{F}_L$  gleichgerichtet.



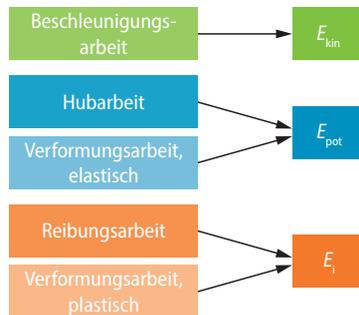
**Arbeit, Energie und Energieumwandlung**

- Die **mechanische Arbeit  $W$**  ist das Produkt aus dem Betrag einer Kraft  $\vec{F}$  und dem Weg  $s$ :  $W = F \cdot s$  mit  $\vec{F} \parallel \vec{s}$  und  $[W] = 1 \text{ J (Joule)} = 1 \text{ Nm}$
- Arbeit beschreibt den Kraftaufwand, einen Körper längs eines Weges zu bewegen. Als Produkt aus Kraft und Weg ist Arbeit eine abgeleitete Größe. Man unterscheidet:
  - Hubarbeit  $W_{Hub}$
  - Reibungsarbeit  $W_R$
  - Beschleunigungsarbeit  $W_B$
  - Verformungsarbeit  $W_V$

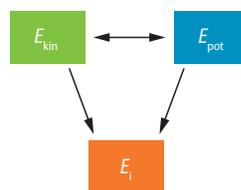


Je länger die Strecke, desto kleiner ist bei gleicher Höhe  $h$  die benötigte Kraft.

- **Goldene Regel der Mechanik:** Durch Einsatz eines Kraftwandlers kann die Arbeit, die verrichtet werden muss, nicht verkleinert werden.
- Als Speicher- bzw. Zustandsgröße gibt die Energie die Fähigkeit eines Körpers an, Arbeit zu verrichten.  
Man unterscheidet:
  - chemische Energie  $E_{\text{chem}}$
  - kinetische Energie  $E_{\text{kin}}$  (Bewegungsenergie)
  - potenzielle Energie  $E_{\text{pot}}$  (Lageenergie)
  - innere Energie  $E_i$
  - elektrische Energie  $E_{\text{el}}$
- Energieformen können ineinander umgewandelt werden. Bei physikalischen Energieumwandlungen wird immer ein Teil der Energie in innere Energie umgewandelt.
- **Energieerhaltungssatz:** Energie kann nicht verbraucht und nicht produziert werden, sie wird lediglich in andere Energieformen umgewandelt.



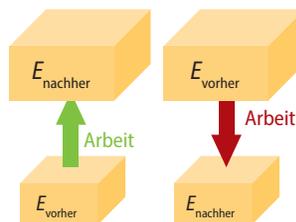
Arbeitsarten und Energieformen



Energieumformungen am Beispiel des Pendels

### Arbeit, Leistung und Wirkungsgrad

- Die **physikalische Arbeit** gibt an, wie viel Energie von einem Körper auf einen anderen Körper übertragen wird: Die Energie eines Körpers nimmt zu, wenn an ihm Arbeit verrichtet wird; die Energie eines Körpers nimmt ab, wenn der Körper Arbeit verrichtet.
- Die **Leistung  $P$**  ist der Quotient aus verrichteter Arbeit  $W$  und benötigter Zeitspanne  $t$ . Sie gibt an, wie viel Energie in einer bestimmten Zeitspanne umgewandelt bzw. übertragen wird:  
$$P = \frac{W}{t} \text{ mit } [P] = 1 \text{ W (Watt)} \text{ und } 1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$$
- Der **Wirkungsgrad  $\eta$**  eines Vorgangs beschreibt, welcher Anteil an zugeführter Energie in Nutzenergie umgewandelt wird.
- Der Wirkungsgrad ist stets kleiner als 1, d. h.: Bei jeder Energieumwandlung ist die Nutzenergie immer kleiner als die zugeführte Energie.



Energieerhöhung (am Körper wird Arbeit verrichtet) und Energieabnahme (der Körper verrichtet Arbeit).

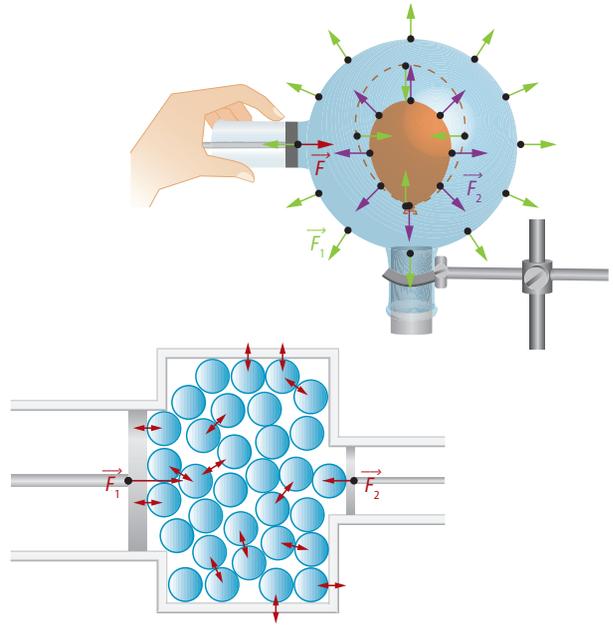


zugeführte Energie, Nutzenergie und innere Energie

**Druck in Flüssigkeiten und Gasen**

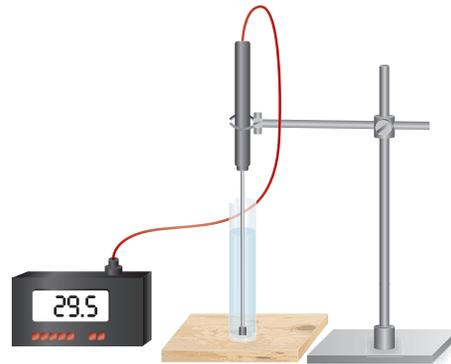
- Der **Druck** ist eine Größe, die den Zustand des „Gepresstseins“ eingeschlossener Gase oder eingeschlossener Flüssigkeiten beschreibt.
- **Gase** können **komprimiert** werden, **Flüssigkeiten und Festkörper nicht**.
- Die durch den **Druck** in einem eingeschlossenen Gas bzw. einer eingeschlossenen Flüssigkeit hervorgerufenen Kräfte auf die Begrenzungsflächen wirken **nach allen Seiten gleichmäßig** und beschreiben, wie häufig und wie schnell die Teilchen mit der Grenzfläche zusammenstoßen.
- Der **Druck  $p$**  ist der Quotient aus dem Kraftbetrag  $F$  und der Fläche  $A$ , auf die die Kraft senkrecht einwirkt:  

$$p = \frac{F}{A} \text{ mit } [p] = \frac{[F]}{[A]} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \text{ Pa}$$
- $1 \text{ bar} = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$



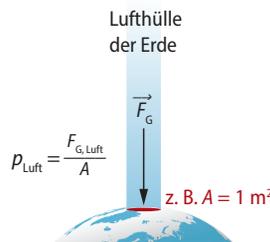
**Schweredruck**

- In Flüssigkeiten wirkt der **Schweredruck  $p_s$** . Er hängt von der Eintauchtiefe  $h$  und der Dichte  $\rho$  der Flüssigkeit ab:  $p_s = \rho_{\text{Fl}} \cdot g \cdot h$ .
- In gleicher Eintauchtiefe ist der Schweredruck **unabhängig von der Form** sowie dem Volumen des Gefäßes und in allen Richtungen gleich.
- In Wasser nimmt der Schweredruck pro 10 m Wassertiefe um 1 bar zu.



**Luftdruck**

- Der **Luftdruck** ist der Schweredruck der Luft. Er beträgt in **Meeresspiegelhöhe** unter Normalbedingungen etwa  $1013 \text{ hPa} = 1,013 \text{ bar}$ .
- Mit zunehmender Höhe nimmt der **Luftdruck** zwar ab, aber **nicht linear**.



## 1.28 Vermischte Aufgaben

1 Benenne drei Kraftwandler, die du in deinem Alltag verwendest. Erkläre für jeden Kraftwandler, wie sich die Kraft hinsichtlich ihrer Bestimmungsstücke ändert.

2 Bei der Planung einer neuer Bootsrampe besprechen die Konstrukteure, dass die Rampe einen maximalen Steigungswinkel aufweisen soll. Bestimme mithilfe einer Konstruktion diesen Wert, wenn auf einen Körper ( $m = 2,04 \text{ t}$ ;  $g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ ) eine Anpresskraft von  $18,8 \text{ kN}$  und eine Hangabtriebskraft von  $6,8 \text{ kN}$  wirken dürfen.



*Tipp: Konstruiere zunächst ein „Kräfte Dreieck“.*

Verwende hierzu einen geeigneten Kräftemaßstab.

3 Erkläre, inwiefern du beim Schnüren deiner Schuhe gezieltes Wandeln von Kraft- richtung und Angriffspunkt einsetzt.

4 Begründe, warum Lisa (in der Abbildung links) beim Seilziehen immer gewinnt.



5 Bei einer Sackkarre wirkt ein einseitiger Hebel.

- Skizziere die Abbildung in dein Heft und zeichne die wirkenden Kräfte ein.
- Erkläre die Funktionsweise des einseitigen Hebels.



6 Begründe, warum es keine Maschine mit einem Wirkungsgrad  $\eta \geq 1$  gibt.

7 Ein Auto fährt auf einer ebenen Straße mit konstanter Geschwindigkeit. Erkläre, ob in den folgenden Fällen physikalische Arbeit verrichtet wird.

- Reibung bleibt außer Betracht.
- Reibung wird berücksichtigt.

8 Erläutere und bewerte die folgende Aussage:  
„Ohne Arbeit keine Energie, ohne Energie keine Arbeit.“

- 9 Ein Elektromotor hebt einen Körper mit bekannter Masse hoch. Ermittelt wurde die am Körper verrichtete Hubarbeit  $W_{\text{Hub}}$  in Abhängigkeit von der Zeit.

$t$ in s	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0
$W_{\text{Hub}}$ in J	0,28	0,56	0,84	1,13	1,40

- Wie verändert sich der Betrag der verrichteten Arbeit, wenn sich die Zeit verdoppelt (verdreifacht)?
- Werte die Tabelle numerisch aus, indem du die Tabelle vervollständigst.
- Erstelle ein  $t$ - $W_{\text{Hub}}$ -Diagramm mit entsprechender grafischer Auswertung.
- Welcher mathematische Zusammenhang besteht zwischen  $W_{\text{Hub}}$  und  $t$ ?
- Bestimme aus dem  $t$ - $W_{\text{Hub}}$ -Diagramm die Arbeit, die nach 40 s verrichtet wurde.
- Ermittle die physikalische Leistung des Elektromotors.

- 10 Die Canadair CL-415 wird in vielen Ländern zum Löschen von Waldbränden eingesetzt. Beim Start beschleunigt das Flugzeug (12 t) auf eine Geschwindigkeit von  $150 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  und verrichtet dabei eine Beschleunigungsarbeit von 10,4 MJ. Dabei beträgt die zugeführte Leistung 3,0 MW und der Gesamtwirkungsgrad der Energieumwandlung 30 %.



- Welche Energieumwandlungen finden während der Beschleunigung auf horizontaler Strecke statt?
- Welche Zeit benötigt das Flugzeug für die Beschleunigung auf Abhebegeschwindigkeit?
- Abhängig vom Einsatzort nimmt die Canadair Wasser aus dem Meer auf und hebt es bis zum Abwerfen über dem brennenden Waldstück auf eine Höhe von 300 m. Wie viele Liter Meerwasser ( $1,03 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ ) werden transportiert, wenn dabei eine Hubarbeit von 53,5 MJ verrichtet wird?

- 11 Eine Seilschwebbahn überwindet einen Höhenunterschied von 800 m. Voll beladen hat die Gondel eine Masse von 6,0 t. Für eine Beförderung braucht die Seilbahn 15 min.



- Berechne die Leistung des Seilbahnmotors.
- Welche elektrische Energie muss dem Motor zugeführt werden, wenn dieser einen Wirkungsgrad von 97 % aufweist?
- Ein älterer Seilbahnmotor mit einem Wirkungsgrad von 92 % hatte eine Leistung von 33 kW. Wie lange benötigte diese Seilbahn für eine Beförderung?

- 12 In einer Luftmatratze befindet sich Luft, das Ventil ist und bleibt verschlossen. Erläutere, wie du trotzdem den Druck der Luft in der Matratze erhöhen kannst, und erkläre deine Maßnahmen mithilfe des Teilchenmodells.



- 13 Der Reifen eines Rennrads soll weiter aufgepumpt werden. Welche Kraft muss auf den Stempel der Luftpumpe mit einer Querschnittsfläche von  $3,5 \text{ cm}^2$  mindestens wirken, wenn der Druck im Reifen bereits ...
- a)  $6,0 \text{ bar}$  beträgt?                      b)  $7,5 \text{ bar}$  beträgt?

- 14 Die physikalische Größe Druck kann auch ein Maß für die Belastung des menschlichen Körpers sein. Druckgeschwüre können sich bei wiederholter Belastung eines Fußes von mehr als  $300 \text{ kPa}$  bilden.



- a) Vergleiche die Belastung des Vorfußes ( $A_{\text{Mann}} = 45,5 \text{ cm}^2$ ) eines übergewichtigen Mannes mit einem Körpergewicht von  $m_{\text{Mann}} = 127,4 \text{ kg}$  mit der Belastung des Vorfußes ( $A_{\text{Frau}} = 12,0 \text{ cm}^2$ ) bei einer Frau ( $m_{\text{Frau}} = 50,4 \text{ kg}$ ), die auf engen Stöckelschuhen geht.
- b) Bewerte das Risiko der Bildung von Druckgeschwüren.

- 15 Ein halb gefülltes, oben geschlossenes Blechfass mit einer Querschnittsfläche von  $1960 \text{ cm}^2$  soll über einen Schlauch mit Wasser weiter gefüllt werden. Das Fass ist luftdicht verschlossen. Der Druck in der Wasserleitung beträgt  $4,0 \text{ bar}$ .
- a) Warum fließt ab einem bestimmten Füllstand kein Wasser ins Fass mehr nach?
- b) Wie groß wird der Luftdruck über der Wasseroberfläche höchstens? Begründe.
- c) Mit welcher Kraft wirkt die Luft auf die Wasseroberfläche?

- 16 Durch Abbaggern des Uferbereichs könnte das Fassungsvermögen eines Stausees bei gleichbleibender Wasserhöhe vergrößert werden. Begründe, dass sich der Schweredruck des Wassers nicht ändert.

- 17 Ein Saugknopf wird als Handtuchhalterung verwendet.

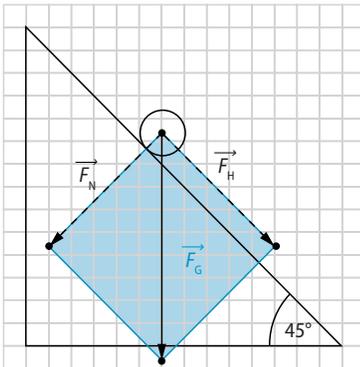
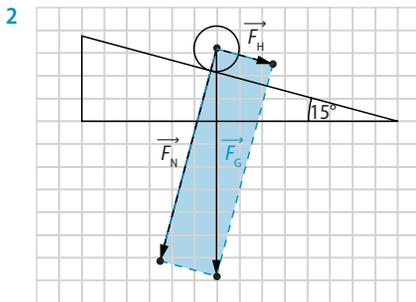


- a) Erkläre, warum der Saugknopf so fest an der Wand haftet.
- b) Was musst du machen, um ihn wieder von der Wand zu trennen?
- c) Erläutere, worauf du beim Anbringen eines Saugknopfes achten musst.

1.6 Teste dich – Seite 24 / 25

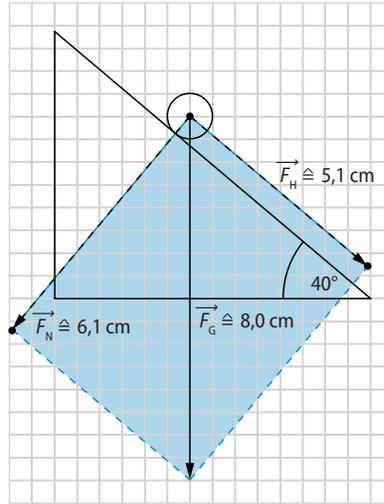
Aufgaben zur Einzelarbeit

- 1 Um eine Kraft zu beschreiben, benötigt man den Angriffspunkt, den Betrag und die Richtung der Kraft. Bei den Wirkungen von Kräften unterscheidet man zwischen dem dynamischen und dem statischen Kraftaspekt:
- dynamischer Kraftaspekt: Der Bewegungszustand eines Körpers ändert sich.
  - statischer Kraftaspekt: Die Form eines Körpers ändert sich vorübergehend (elastisch) oder dauerhaft (plastisch).



Bei einer Neigung von  $15^\circ$  ist der Betrag der Normalkraft größer und der Betrag der Hangabtriebskraft kleiner als bei  $45^\circ$  Hangneigung.

- 3 Eine Masse von  $m = 81,5 \text{ kg}$  entspricht einer Gewichtskraft von  $F_G = 81,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 800 \text{ N}$ . Beim angegebenen Maßstab hat der Kraftpfeil für die Gewichtskraft eine Länge von  $8,0 \text{ cm}$ . Einer Zeichnung kann man entnehmen, dass für die Normalkraft  $F_N = 61 \cdot 10 \text{ N}$  und  $F_H = 51 \cdot 10 \text{ N}$  gilt.



- 4 Zum Lösen einer festsitzenden Schraube ist eine bestimmte „Stärke der Kraft“ nötig. Je länger der Schraubenschlüssel ist, umso geringer ist die Kraft, die für das Lösen der Schraube nötig ist. Bei einem doppelt so langen Schraubenschlüssel (2) ist nur eine halb so große Kraft zum Lösen der Schraube nötig. Nachteil eines längeren Schraubenschlüssels ist die schlechtere Handhabung.

5

geändert wird ...			
Kraftwandler	Angriffspunkt	Betrag	Richtung
schiefe Ebene		ja	ja
Seil	ja		
feste Rolle			ja
lose Rolle		ja	
Flaschenzug	ja	ja	ja

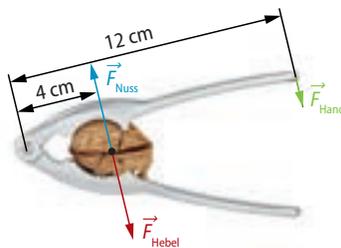
geändert wird ...			
Kraftwandler	Angriffspunkt	Betrag	Richtung
einseitiger Hebel	ja	möglich	
zweiseitiger Hebel	ja	möglich	ja
Kraft sparerender Hebel	ja	ja	möglich
Weg sparerender Hebel	ja	ja	möglich

- 6 a) Man erhält hier drei tragende Seile, da das fest verbundene Seilende auch die Last mitträgt.



- b) Jede weitere lose Rolle fügt jeweils zwei tragende Seilstücke dazu.
- 7 a) Durch die zwei tragenden Seilstücke ist die Zugkraft halb so groß wie die Gewichtskraft des angehängten Körpers. Daraus folgt für seine Masse  $m = \frac{F_G}{g} = \frac{2 \cdot 220 \text{ N}}{9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 44,9 \text{ kg}$ .
- b) In den Punkten A und B wirkt jeweils die Kraft, die in dem entsprechenden tragenden Seilstück auftritt. Ihr Betrag entspricht der Zugkraft  $F_z = 220 \text{ N}$ , welche die Gegenkraft dazu darstellt. Das Seil verändert nur den Angriffspunkt, ändert aber ebenso wie die feste Rolle nicht den Betrag der Kraft.
- 8 Da die Gewichtskraft mehr als dreimal so groß wie die maximale Zugkraft des Arbeiters ist, benötigt man mindestens vier tragende Seilstücke. Ein geeigneter Flaschenzug muss also mindestens zwei lose Rollen besitzen, damit der Arbeiter den Gegenstand anheben kann.

- 9 Der Nussknacker wirkt als einseitiger Hebel. Die Hand übt auf den Griff eine Kraft aus. Diese Kraft wird ungewandelt, indem sich ihr Angriffspunkt und ihr Betrag ändert. Der Betrag nimmt entsprechend dem Verhältnis der Abstände beider Kräfte zum Auflagepunkt („Drehzentrum“) zu (siehe Abbildung, Maße beispielhaft). Die Kraft auf die Nuss ist in der Folge viel größer, was dazu führt, dass sich die Nuss öffnen lässt.



- 10 a) Ein Nussknacker ist ein Kraft sparender Hebel, da die Muskelkraft der Hand geringer ist als die Kraft, die zum Knacken der Nuss benötigt wird.

- b) Diese Knochen sind Weg sparende Hebel, weil der Weg, um den sich der Muskel verkürzt, geringer ist als der Weg, den das andere Ende des Knochens zurücklegt. Beim Unterarm wäre dies das Handgelenk bzw. die Hand, die durch die Kontraktion des Bizepses ihre Position verändern.
- c) Beim Kraft sparenden Hebel ist der Kraftarm länger als der Lastarm. Weg sparende Hebel haben einen im Vergleich zum Lastarm kürzeren Kraftarm.

- 11 Der abgebildete Flaschenzug besteht aus einem Seil, einer losen Rolle sowie einer festen Rolle. Während letztere lediglich Richtung und Angriffspunkt ändert, wird mithilfe der losen Rolle der zum Spannen der Leitung notwendige Kraftbetrag halbiert. Somit kann ein Massestück mit geringerer Masse eingesetzt werden.

- 12 a) Bei der Schubkarre befinden sich der Kraftarm mit den Handgriffen und der Lastarm mit der Mulde auf der gleichen Seite des Rades, das den Drehpunkt darstellt. Es handelt sich hier also um einen einseitigen Hebel.
- b) Bei der Schere befindet sich der Kraftarm mit dem Griff auf der anderen Seite des Drehpunktes wie der Lastarm mit den Klingen. Die Schere stellt daher einen zweiseitigen Hebel dar.

### Aufgaben für Lernpartner

- A Das ist falsch. Bei der Verwendung einer schiefen Ebene muss die Kraft den gleichen Angriffspunkt haben wie beispielsweise beim senkrechten Anheben einer Last. Die schiefe Ebene verringert den Betrag der benötigten Kraft und ändert ihre Richtung, die nicht mehr senkrecht nach oben zeigt, sondern parallel zur schiefen Ebene verläuft.
- B Das ist richtig. Man bewegt sich nicht senkrecht nach oben oder unten, sondern schräg.
- C Das ist richtig. Wenn mehrere Seilschlingen über die gleiche lose Rolle laufen, entsteht an dieser Stelle unerwünschte Reibung, die einen zusätzlichen Kraftaufwand erfordert.
- D Das ist richtig. Man muss dazu die Last am freien Seilende befestigen und die Zugkraft an der Flasche bzw. der losen Rolle aufbringen.
- E Das ist richtig. Die Lenkstange ist ein starrer Gegenstand, der um einen festen Punkt gedreht werden kann.

F Das ist nicht immer richtig bzw. nicht ausreichend. Kraft und Gegenkraft haben den gleichen Angriffspunkt und die entgegengesetzte Richtung auf einer gemeinsamen Wirkungslinie. Um einen Hebel im Gleichgewicht zu halten, muss die Summe aller Produkte aus Hebelkraft und Hebelarm genauso groß sein wie die Summe aller Produkte aus Lastkraft und Lastarm. Diese Situation ist zwar mit einer Kraft und ihrer Gegenkraft gegeben, kann aber auch mit unterschiedlichen Kräften an verschiedenen Angriffspunkten mit ihrer jeweiligen Richtung erzeugt werden.

1.15 Teste dich – Seite 46 / 47

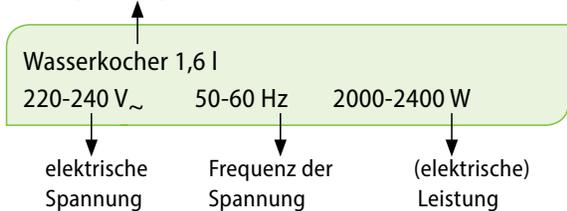
Aufgaben zur Einzelarbeit

1 a)

s in m	0,60	0,74	1,17	1,92	2,40
F in N	6,2	5,0	3,2	2,0	1,57
F · s in Nm	3,7	3,7	3,7	3,8	3,77

- b) Vervierfacht sich die Länge der Rampe, viertelt sich der Kraftbetrag.
  - c) Der Betrag der Zugkraft ist indirekt proportional zur Länge der Wegstrecke.
  - d)  $E_{\text{pot}} \rightarrow E_{\text{kin}} + E_i$
- 2 a)  $E_{\text{chem}} \rightarrow E_{\text{pot}} + E_i$   
Verformungsarbeit
- b)  $E_{\text{chem}} \rightarrow E_{\text{pot}}$  (Lageenergie) +  $E_i$   
Hubarbeit
- c)  $E_{\text{chem}} \rightarrow E_{\text{kin}} + E_i$   
Beschleunigungsarbeit
- d)  $E_{\text{kin}} \rightarrow E_i$   
Reibungsarbeit
- 3 Beide Begriffe lassen die Annahme zu, dass Energie erzeugt bzw. vernichtet werden könnte. Dies ist nach dem Energieerhaltungssatz jedoch nicht möglich. Bei jedem Vorgang wird Energie lediglich in andere Formen umgewandelt oder auf andere Körper übertragen.

4 a) Fassungsvermögen (Volumen)



b) Die Leistungsangabe beschreibt, wie viel elektrische Energie pro Zeiteinheit in innere Energie des Wassers umgewandelt werden kann. Bei einer elektrischen Leistung von 2000 W verrichtet der Wasserkocher beispielsweise eine Arbeit von 2000 J pro Sekunde bzw. überträgt in dieser Zeitspanne eine Energie von 2000 J auf das Wasser.

5 a) geg.:  $t = 20 \text{ s}; P_{\text{Nutz}} = 43 \text{ MW}; \eta = 0,31$   
 ges.:  $W_{\text{zu}}$   
 Ansatz:  $\eta = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{zu}}}$      $P_{\text{zu}} = \frac{W_{\text{zu}}}{t}$   
 $P_{\text{zu}} = \frac{P_{\text{Nutz}}}{\eta}$      $W_{\text{zu}} = P_{\text{zu}} \cdot t$

Rechnung:  $P_{\text{zu}} = \frac{43 \cdot 10^6 \text{ W}}{0,31} = 0,14 \cdot 10^9 \text{ W}$   
 $W_{\text{zu}} = 0,14 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot 20 \text{ s} = 2,8 \cdot 10^9 \text{ J}$   
 $W_{\text{zu}} = 2,8 \text{ GJ}$

b) geg.:  $h = 16 \text{ m}; W_{\text{Hub}} = 34 \text{ MJ}; \rho = 0,79 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$   
 ges.:  $V$   
 Ansatz:  $W_{\text{Hub}} = F_G \cdot h$      $F_G = m \cdot g$      $\rho = \frac{m}{V}$   
 $F_G = \frac{W_{\text{Hub}}}{h}$      $m = \frac{F_G}{g}$      $V = \frac{m}{\rho}$

Rechnung:  $F_G = \frac{34 \cdot 10^6 \text{ J}}{16 \text{ m}} = 2,1 \cdot 10^6 \text{ N}$   
 $m = \frac{2,1 \cdot 10^6 \text{ N}}{9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 0,21 \cdot 10^6 \text{ kg}$   
 $V = \frac{0,21 \cdot 10^6 \text{ kg}}{0,79 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} = 0,27 \cdot 10^6 \text{ dm}^3 = 0,27 \cdot 10^6 \text{ l}$

6 geg.:  $P_{\text{zu}} = 8,0 \text{ kW}; h = 18 \text{ m}; t = 12 \text{ h}; \eta = 0,70;$   
 $\rho = 0,998 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$   
 ges.:  $V$   
 Ansatz:  $\eta = \frac{P_{\text{Nutz}}}{P_{\text{zu}}}$      $P_{\text{Nutz}} = \frac{W_{\text{Nutz}}}{t}$   
 $P_{\text{Nutz}} = P_{\text{zu}} \cdot \eta$      $W_{\text{Nutz}} = P_{\text{Nutz}} \cdot t$   
 $W_{\text{Nutz}} = F_G \cdot h$      $F_G = m \cdot g$   
 $F_G = \frac{W_{\text{Nutz}}}{h}$      $m = \frac{F_G}{g}$   
 $\rho = \frac{m}{V}$   
 $V = \frac{m}{\rho}$

Rechnung:  $P_{\text{Nutz}} = 8,0 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot 0,70 = 5,6 \cdot 10^3 \text{ W}$   
 $W_{\text{Nutz}} = 5,6 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot 43 \cdot 10^3 \text{ s} = 0,24 \cdot 10^9 \text{ J}$   
 $F_G = \frac{0,24 \cdot 10^9 \text{ J}}{18 \text{ m}} = 13 \cdot 10^6 \text{ N}$   
 $m = \frac{13 \cdot 10^6 \text{ N}}{9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 1,3 \cdot 10^6 \text{ kg}$   
 $V = \frac{1,3 \cdot 10^6 \text{ kg}}{0,998 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} = 1,3 \cdot 10^6 \text{ dm}^3 = 1,3 \cdot 10^6 \text{ l}$

7 a) geg.:  $P_{\text{Hub}} = 41 \text{ W}; W_{\text{Hub}} = 2,51 \text{ MJ}$   
 ges.:  $t$   
 Ansatz:  $P_{\text{Hub}} = \frac{W_{\text{Hub}}}{t}$   
 $t = \frac{W_{\text{Hub}}}{P_{\text{Hub}}}$   
 Rechnung:  $t = \frac{2,51 \cdot 10^6 \text{ J}}{41 \text{ W}} = 61 \cdot 10^3 \text{ s} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ min}$   
 $t = 17 \text{ h}$

b) geg.:  $m = 80,0 \text{ kg}; W_{\text{Hub}} = 2,51 \text{ MJ}$   
 ges.:  $h$   
 Ansatz:  $W_{\text{Hub}} = F_G \cdot h \quad F_G = m \cdot g$   
 $h = \frac{W_{\text{Hub}}}{F_G}$   
 Rechnung:  $F_G = 80,0 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 0,785 \cdot 10^3 \text{ N}$   
 $h = \frac{2,51 \cdot 10^6 \text{ J}}{0,785 \cdot 10^3 \text{ N}} = 3,20 \cdot 10^3 \text{ m} = 3,20 \text{ km}$

8 a) Man lässt den Flummi aus einer bestimmten Höhe  $h$  fallen und misst anschließend die Höhe  $h_1$ , die nach einem Bodenkontakt erreicht wird. Entspricht diese Höhe  $h_1$  90 % der Ausgangshöhe  $h$ , ist der Wirkungsgrad bestätigt.

$$\eta = \frac{W_{\text{Nutz}}}{W_{\text{Zu}}} = \frac{F_G \cdot h_1}{F_G \cdot h} = \frac{h_1}{h}$$

b) Aus Aufgabe a) ergibt sich für die Höhe  $h_1$  nach einem Bodenkontakt:

$$h_1 = 0,90 \cdot h$$

Nach jedem weiteren Bodenkontakt erreicht der Flummi jeweils nur 90 % der Höhe vor dem Aufprall.

Entsprechend gilt nach dem 2. bzw. 3. Bodenkontakt:

$$h_2 = 0,90 \cdot h_1$$

$$h_3 = 0,90 \cdot h_2$$

$$\text{bzw. } h_3 = 0,90 \cdot 0,90 \cdot 0,90 \cdot h$$

$$h_3 = 0,90^3 \cdot h = 0,90^3 \cdot 1,60 \text{ m} = 1,17 \text{ m}$$

### Aufgaben für Lernpartner

- A Das ist richtig. Die vom Körper gespeicherte kinetische Energie ist von der Masse und der Geschwindigkeit des Körpers abhängig.
- B Das ist falsch. Die potenzielle Energie eines Körpers ist neben der Entfernung vom Erdmittelpunkt auch von der Masse des Körpers abhängig.
- C Das ist richtig. Bei allen mechanischen Vorgängen findet Reibung statt. Dadurch wird auch immer ein Teil der zugeführten Energie in innere Energie umgewandelt.
- D Das ist falsch. Für einen eingesetzten Kraftwandler in einer bestimmten Situation gilt, dass der aufgebrauchte Kraftbetrag sich indirekt proportional zur zurückgelegten Strecke verhält. Entsprechend ist das Produkt, die physikalisch verrichtete Arbeit, immer gleich.

E Das ist falsch. Der Vorgang müsste innerhalb einer Sekunde geschehen.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{m \cdot g \cdot s}{t} = \frac{0,100 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 1 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ W}$$

F Das ist richtig. Eine Kondensation hat zur Folge, dass sich die Temperatur des Gases verringert. Folglich verringert sich auch die Geschwindigkeit der Teilchen und damit auch die innere Energie.

G Das ist richtig. Der Energieerhaltungssatz besagt, dass Energie nicht verbraucht bzw. erschaffen, sondern lediglich in andere Formen umgewandelt werden kann. Kann die umgewandelte Energie nicht mehr genutzt werden, spricht man von einer Entwertung der Energie.

H Das ist richtig. Bei jeder Energieumwandlung wird ein Teil der ursprünglichen Energie, zum Beispiel durch Reibung, entwertet. Dies führt dazu, dass der Wert der genutzten Energie kleiner als der Wert der zugeführten Energie ist und der Quotient bzw. der Wirkungsgrad kleiner als 100 % = 1 sein muss.

## 1.26 Teste dich – Seite 74/75

### Aufgaben zur Einzelarbeit

1 Die Teilchen des Dampfes bewegen sich frei im Raum zwischen Wasser und Deckel. Da immer mehr Wasser verdampft, erhöht sich in dem Zwischenraum die Teilchendichte, also die Anzahl der Teilchen pro Volumen. Damit nimmt die Anzahl der Zusammenstöße zwischen Teilchen und Topf zu, und entsprechend auch der Druck.

- 2 a) geg.:  $A_1 = 0,011 \text{ m}^2; p = 19 \text{ bar}$   
 ges.:  $F_1$   
 Ansatz:  $p = \frac{F_1}{A_1} \quad | \cdot A_1$   
 Rechnung:  $F_1 = p \cdot A_1$   
 $F_1 = 19 \text{ bar} \cdot 0,011 \text{ m}^2 = 19 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,011 \text{ m}^2$   
 $F_1 = 19 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0,011 \text{ m}^2$   
 $F_1 = 0,21 \cdot 10^5 \text{ N} = 21 \cdot 10^3 \text{ N} = 21 \text{ kN}$   
 $n = 15; s = 30 \text{ cm}; F_1 = 21 \text{ kN}$   
 b) geg.:  
 ges.:  $W$   
 Ansatz:  $W = n \cdot W_1; W_1 = F_1 \cdot s$   
 Rechnung:  $W = n \cdot F_1 \cdot s$   
 $W = 15 \cdot 21 \text{ kN} \cdot 30 \text{ cm}$   
 $W = 15 \cdot 21 \text{ kN} \cdot 0,30 \text{ m} = 95 \text{ kNm} = 95 \text{ kJ}$

3 a) Mit zunehmendem Druck wird eine immer größer werdende Kraft auf den Zylinder ausgeübt. Ist diese Kraft groß genug, wird die Feder so weit gestauch, dass sie das Ventil öffnet und Dampf hinausströmen kann.

b) geg.:  $p = 1,22 \text{ bar}; F = 2,0 \text{ N}$

ges.:  $A$

Ansatz:  $p = \frac{F}{A} \quad | \cdot A \quad | : p$

Rechnung:  $A = \frac{F}{p}$

$$A = \frac{2,0 \text{ N}}{1,22 \text{ bar}} = \frac{2,0 \text{ N}}{1,22 \cdot 10^5 \text{ Pa}}$$

$$A = \frac{2,0 \text{ N}}{1,22 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$A = 0,16 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,16 \text{ cm}^2$$

4 a) geg.:  $A = 2,5 \text{ cm}^2; F = 87 \text{ N}$

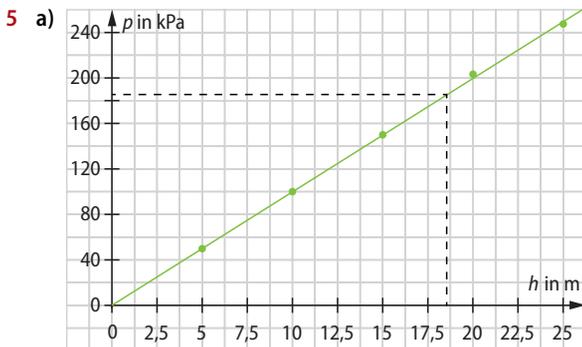
ges.:  $p$

Ansatz:  $p = \frac{F}{A}$

Rechnung:  $p = \frac{87 \text{ N}}{2,5 \text{ cm}^2} = 35 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 35 \frac{\text{N}}{10^{-4} \text{ m}^2}$

$$p = 35 \cdot 10^4 \text{ Pa} = 3,5 \text{ bar}$$

b) Da der Luftdruck in einem Fahrradreifen (3,5 bar) größer ist als in einem Luftballon (1,4 bar), wirken auf die Wände des Fahrradreifens viel größere Kräfte. Ein dickeres Material und auch ein eingebautes Gewebe („Karkasse“) sorgen beim Fahrradreifen dafür, dass gegen den Druck im Innern entsprechende Gegenkräfte wirken können.



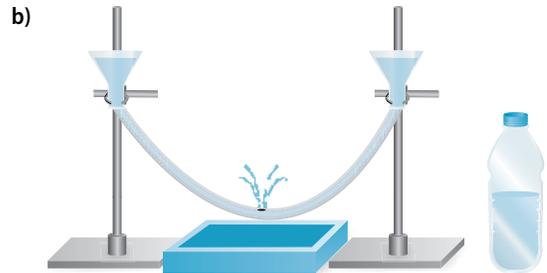
b) Schweredruck und Tiefe sind direkt proportional.

c) Die Tiefe beträgt etwas mehr als 18 m.

d) Bei einer Tiefe von 7,5 m nimmt der Druck um ungefähr 75 kPa zu.

6 Aufgrund der Zunahme des Schweredrucks des Wassers mit zunehmender Wassersäule wirken auf das Wasser in Bodennähe größere Kräfte senkrecht zu den Gefäßwänden als auf das Wasser weiter oberhalb. Folglich fließt das Wasser in einem umso größeren Bogen aus der Flasche, je tiefer sich das Loch in der Flasche befindet.

7 a) Der größere Schweredruck des Wassers in der Senke in der Mitte des Brunnens bewirkt eine größere Kraft auf das Wasser, welches dann durch eine Öffnung nach oben herausfließen kann.



8 a) Durch das Zusammenpressen eines Saugballs am oberen Ende des Stechhebers wird die Luft aus dem Röhrchen gepresst, sodass der Luftdruck in dem Röhrchen geringer ist als der äußere Luftdruck. Diesen Luftdruckunterschied kann man auch mit einem Stechheber ohne Saugball erreichen, indem man das obere Ende des Stechhebers mit dem Daumen verschließt. Das nachfolgende Loslassen erzeugt folglich einen kurzfristigen Unterdruck, welcher die Flüssigkeit in das Röhrchen bewegt, wenn das obere Ende des Stechhebers wieder geöffnet wird.

b) Ein dünner Strohhalm beispielsweise kann als Saugheber genutzt werden.

### Aufgaben für Lernpartner

A Das ist falsch. Der Druck ist zwar abhängig von der Teilchengeschwindigkeit, er ist aber durch die Kraft auf die Begrenzungsfläche definiert.

B Das ist richtig.

C Das ist richtig.

D Das ist falsch. Ein Barometer ist ein Gerät zur Messung des Luftdrucks. Möchte man den Druck in einer Flüssigkeit messen, verwendet man ein Manometer.

E Das ist falsch. Im Weltall herrscht ein Vakuum: Es gibt keine Teilchen und somit auch keine Kräfte, die sie ausüben könnten – und somit auch keinen Druckzustand.

F Das ist richtig.

G Das ist richtig.

H Das ist falsch. Der Luftdruck nimmt nicht gleichmäßig mit der Höhe über dem Meeresspiegel ab.

## Bildnachweis

---

AdobeStock / Ilan Amith – S. 26; - / Archivist – S. 27; - / ARochau – S. 28, 44; - / Ingo Bartussek – S. 45; - / Hoda Bogdan – S. 54; - / Markus Bormann – S. 53; - / David W. Cerny\_Reuters – S. 37; - / ChristianK – S. 22; - / daviles – S. 79; - / Fiedels – S. 72; - / Daria Filiminova – S. 29; - / Vladimir Gerasimov – S. 11, 52; - / Ramil Gibadullin – S. 11, 42; - / grafxart – S. 33; - / Idanupong – S. 15; - / Brain Jackson – S. 11, 34; - / KaDoFaible – S. 46; - / Anastasija Krivenko – S. 62; - / lemélangedesgenres – S. 46; - / Manuela – S. 72; - / Marco2811 – S. 45; - / Santiago Nunez – S. 37; - / ok-fotoday – S. 3, 10, 16; - / photonic – S. 22; - / picture.jacker – S. 81; - / Pictures4you – S. 80; - / PiLensPhoto – S. 33; - / Tein – S. 14; - / Samo Trebizan – S. 23; - / Olivier Tuffé – S. 80; - / VIAR PRO Studio – S. 37, 46; - / Olaf Wandruschka – S. 25; / Westend 61 – S. 73; akg-images – S. 67; Alamy Stock Photo / Panther Media GmbH – S. 29; dpa picture Alliance / Alexander Bernhard, Shotshop – S. 51; - / Benjamin Beytekin, Benjamin Beytekin – S. 50; Fotolia\_wichientep – S. 25; - / Digital Vision Vectors, ilbusca – S. 15; - / iStockphoto, 100 – S. 81; - / iStockphoto, 12963734 – S. 21; - / iStockphoto, 3sbworld – S. 60; - / iStockphoto, ALotOfPeople – S. 5; - / iStockphoto, antisteer – S. 9; - / iStockphoto, baloon111 – S. 74; - / iStockphoto, Bogdanhoda – S. 36; - / iStockphoto, champlifezy@gmail.com – S. 56; - / iStockphoto, ConstantinosZ – S. 24; - / iStockphoto, Cylonphoto – S. 46; - / iStockphoto, dei-sin – S. 15; - / iStockphoto, Artur Didyk – S. 46; - / iStockphoto, filmfoto – S. 44; - / iStockphoto, fizkes – S. 81; - / iStockphoto, Fotonen – S. 58; - / iStockphoto, FS-Stock – S. 29; - / iStockphoto, Gelia – S. 57; - / iStockphoto, icarmen13 – S. 41; - / iStockphoto, jonnysek – S. 57; - / iStockphoto, Jun – S. 15; - / iStockphoto, Marcin Kilarski – S. 73; - / iStockphoto, Knapjames – S. 23; - / iStockphoto, Milan Markovic – S. 50; - / iStockphoto, MaximFesenko – S. 32; - / iStockphoto, michelangeloop – S. 57; - / iStockphoto, Sean Pavone – S. 71; - / iStockphoto\_Ashley Pickering – S. 29; - / iStockphoto, Prykhodov – S. 57; - / iStockphoto, rootstocks – S. 56; - / iStockphoto, Skatzenberger – S. 19; - / iStockphoto, sunstock – S. 64; - / iStockphoto, Toa55 – S. 9; - / iStockphoto, Vetta, Clerkenwell – S. 79; - / iStockphoto, ViktorCap – S. 29; - / iStockphoto, weerapatkiatdumrong – S. 23; - / iStockphoto, Zerbor – S. 15; - / iStockphoto Editorial, Razvan – S. 30; - / Purestock – S. 8; Mauritius Images / Alamy Stock Photo, Sasa Huzjak – S. 3, 10, 48; - / Alamy Stock Photo, Martin Shields – S. 68; - / Science Source – S. 55; Marco Nelkenbrecher, Weißenburg – S. 50 (2); Science Photo Library / Reinhard Dirscherl, Visual Unlimited – S. 71; - / Giphotos – S. 35; - / MINT IMAGES – S. 38.



T67029