

10

II/III



Physik

TEILDRUCK



Blättern Sie durch das **vollständige Livebook**. Dazu einfach den QR-Code scannen oder auf www.ccbuchner.de 67030 in das Suchfeld eingeben.



Realschule Bayern



click & study

Das digitale Schulbuch

Die digitalen Schulbücher click & study enthalten das vollständige digitale C.C.Buchner-Schulbuch inklusiver zahlreicher Zusatzmaterialien und hilfreicher Funktionen, mit denen Ihre Schülerinnen und Schüler digital am Unterricht teilnehmen können.



Einfache Bedienung

- ▶ Menüs und Bedienelemente sind selbsterklärend.
- ▶ Das interaktive Inhaltsverzeichnis ermöglicht eine schnelle Navigation.



Flexibel im Zugriff

- ▶ Flexibel nutzbar auf verschiedenen Endgeräten (PCs, Macs, Tablets) – online und auch offline via App.
- ▶ Freischaltung unter www.click-and-study.de und/oder unter www.bildungslogin.de



Nützliche Funktionen

- ▶ Direkter Zugriff auf Links und Zusatzmaterialien
- ▶ Bspw. Markieren, Kopieren, Zoomen und Suchen – zudem: Lesezeichen, Freihandstift und digitale Arbeitsseite



Verknüpft mit click & teach

- ▶ Durch die die Verknüpfung von click & teach und click & study können Sie sich mit Ihrer Klasse digital austauschen: Schalten Sie Material in click & study individuell frei, sprechen Sie sich über das Forum ab oder vergeben und empfangen Sie Inhalte mit dem Aufgabenpool.

Weitere Informationen und kostenfreie Demoversionen
finden Sie auf www.click-and-study.de.

Einzellizenz

nur für mich



Einzellizenz eines Titels

click & study:
digitaler Freischaltcode



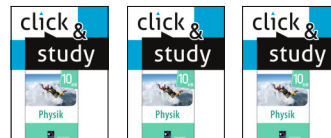
Mehrfachlizenz

für die Schülerinnen
und Schüler



Mehrere Einzellizenzen eines Titels

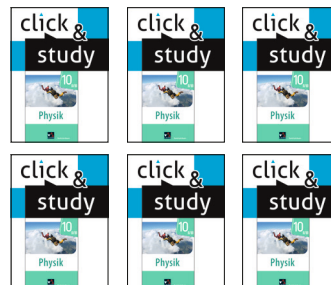
click & study:
digitale Freischaltcodes zum Normalpreis



Mehrere Einzellizenzen eines Titels bei eingeführtem Print-Klassensatz

1,50 €
pro Jahr

► entsprechende Anzahl der digitalen
Schulbücher vergünstigt für 1,50 € pro Jahr



Sie haben Fragen zu click & study?

Wir helfen Ihnen gern! Digital-Beratung:

Mo, Mi, Fr: 10:00 Uhr bis 11:30 Uhr

Di und Do: 14:00 Uhr bis 15:30 Uhr

Telefon: +49 951 16098-333

E-Mail: digitale-schulbuecher@ccbuchner.de

Sie möchten click & study erwerben?



Besuchen Sie **www.ccbuchner.de** und
bestellen Sie ganz einfach im Webshop.

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 zu Arbeitsblättern für die Schülerversuche. 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.

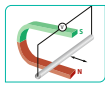
2 Elektrizitätslehre



Unverzweigter Stromkreis



Magnetfeld



INDUKTION



GESAMTSPANNUNG



Primärspule



Transformator



Sinus

KAPITEL 2

2.7 Wirbelströme

Einstieg

Induktionskochfelder sieht man heutzutage in vielen Küchen.

- Hat das was mit elektromagnetischer Induktion zu tun?
- Wie könnte man damit Wärme zum Kochen erzeugen?

Versuche

V1 Eine Spule ($n = 500$) auf einem geschlossenem Eisenkern wird über eine Sicherheitsklemme an die Netzspannung angeschlossen. Zunächst wird ein massiver Eisenkern verwendet, im Anschluss ein geblätterter Eisenkern.

Beobachtung: Beim massiven Eisenkern ist eine deutliche Erwärmung zu spüren.

V2 a) Eine Aluminiumplatte wird so aufgehängt, dass sie zwischen den Polschuhen eines Elektromagneten pendeln kann. Nun wird die Platte ausgelenkt und losgelassen, kurz darauf der Elektromagnet eingeschaltet.

Beobachtung: Nach dem Einschalten des Elektromagneten wird die Platte abgebremst.

b) Die massive Aluminiumplatte wird durch eine geschlitzte ersetzt und V2 a) wiederholt.

Beobachtung: Die Platte wird nur schwach abgebremst.

V3 Durch ein Kupfer- und ein Kunststoffrohr mit gleichen Abmessungen wird gleichzeitig je ein kleiner zylinderförmiger Magnet fallen gelassen (Abb. 2).

Beobachtung: Der Magnet, der durch das Kupferrohr fällt, kommt viel später unten an als der im Kunststoffrohr.

Erklärung

Die Aluminiumplatte in V2 bewegt sich senkrecht zum Magnetfeld des Elektromagneten. In der elektrisch leitenden Aluminiumplatte findet folglich elektromagnetische Induktion statt. Dabei wird in dem Teil der Aluminiumplatte, der sich im Magnetfeld befindet, eine elektrische Spannung induziert. Die Elektronen bewegen sich entsprechend der Polung der induzierten Spannung und bilden einen ringförmigen Stromfluss, einen sogenannten Wirbelstrom (blaue Pfeile in Abb. 3).

Auch hier gilt die **Regel von Lenz**: Der durch Induktion entstehende Wirbelstrom ist so gerichtet, dass sein Magnetfeld der Ursache und somit der Bewegung der Platte entgegengerichtet ist und diese hemmt (Abb. 4).

Bei der geschlitzten Aluminiumplatte in V2 b) können nur sehr kleine Wirbelströme entstehen, weshalb die Platte nur langsam gebremst wird. Nun können wir auch V1 erklären. In dem massiven Eisenkern entstehen starke Wirbelströme, welche durch das ständige Wechseln der Magnetfelder (Wechselspannung des Haushaltsnetzes) zur Erwärmung des Kerns führen. Elektrische Energie wird dabei in thermische Energie umgewandelt.

Merkwissen

- In einem massiven metallischen Leiter, welcher von einem sich ändernden Magnetfeld durchsetzt wird, werden **Wirbelströme** induziert.
- Diese Wirbelströme führen zur **Erwärmung des Leiters**.
- Wird die Magnetfeldänderung durch Relativbewegung von Leiter und Magnet herbeigeführt, können Wirbelströme diese Bewegung hemmen.

Aufgaben

1. Erkläre die Beobachtung von V3.
2. Welche Maßnahmen reduzieren das Auftreten von Wirbelströmen? Begründe.

Alltag

Wirbelströme werden in Alltag und Technik häufig genutzt. Beim Induktionskochfeld beispielsweise wird die starke Wärmeentwicklung im Topfboden durch Wirbelströme genutzt. Auch die Wirbelstrombremse findet man häufig in Schienenfahrzeugen oder Aufzügen. Wie in V2 werden dabei starke Magnete benutzt, die das Fahrzeug mithilfe von Wirbelströmen abbremsen.

Wirbelströme können jedoch auch unerwünscht sein, beispielsweise in den Eisenkernen von Elektromotoren, Generatoren oder Transformatoren. Hier bewirken die Wirbelströme eine unerwünschte Erwärmung und damit einen geringeren Wirkungsgrad. Durch geblätterte Eisenkerne können diese Verluste reduziert werden.

- Recherchiere die technischen Details zu den genannten Beispielen und weitere Anwendungen von Wirbelströmen.

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 (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, ...

Die Themenseiten bieten Wissenswertes aus dem Alltag, der Geschichte, ... Auf den Methodenseiten wird beschrieben, wie man physikalisch arbeitet.

Teste dich hat verschiedene Teile.
Im ersten Teil findet ihr Textaufgaben, die ihr alleine löst. Der zweite Teil enthält Diskussionsaufgaben: Beim Begründen und Argumentieren lernt ihr eine ganze Menge über Physik! Die Lösungen findet ihr im Anhang.

KAPITEL 2

2.9 Teste dich

Aufgaben zur Einzelarbeit

1. **Teste dich** Bearbeite dazu die folgenden Aufgaben und bewerte die Lösungen mit einem Sternchen.

2. Die Aufgaben haben unterschiedliche Schwierigkeitsgrade: **leicht** **mittel** **schwer**

Die Lösungen zu diesen Aufgaben findest du im Anhang.

Das kann ich! Das kann ich fast! Das kann ich noch nicht!

1. Zwei Widerstände $R_1 = 80 \Omega$ und $R_2 = 120 \Omega$ sind in Reihe geschaltet und an eine Spannungsquelle mit $U = 12 \text{ V}$ angeschlossen.

a) Fertige ein Schaltbild an, mit dem die Teilspannungen an den Widerständen gemessen werden können.

b) Berechne den Gesamtstrom I_{Ges} , sowie die Stromstärke I und die einzelnen Teilspannungen U_1 und U_2 an den Widerständen R_1 bzw. R_2 .

2. Zwei Widerstände $R_1 = 80 \Omega$ und $R_2 = 120 \Omega$ sind parallel geschaltet und an eine Spannungsquelle mit $U_{\text{Ges}} = 24 \text{ V}$ angeschlossen.

a) Fertige ein beschriebenes Schaltbild des Versuchsaufbaus an, mit dem die Teilspannungen und Teilströme an den Widerständen gemessen werden können.

b) Berechne den Gesamtstrom I_{Ges} , die Stromstärke I_{Ges} , sowie die einzelnen Teilströme I_1 und I_2 an den Widerständen R_1 bzw. R_2 .

3. Eine Leiterschleife bewegt sich wie abgebildet in einem Magnetfeld hin und her. Begründe das Auftreten einer elektrischen Spannung an den Anschlüssen der Leiterschleife.

4. Ein Lämpchen ist an eine Spule angeschlossen und soll zum Leuchten gebracht werden. Zusätzlich soll ein Hufeisenmagnet zur Verfügung sein.

a) Benenne die Möglichkeiten, das Lämpchen zum Leuchten zu bringen.

b) Beschreibe die Energieumwandlung.

c) Beschreibe Änderungen am Versuch, damit das Lämpchen heller leuchtet.

5. Wird der Stromkreis an der rechten Spule geschlossen, schlägt der Zeiger des Spannungsmessgeräts kurz aus und geht dann zum Nullpunkt zurück.

a) Beschreibe die beiden Spulen mit Fachbegriffen.

b) Erkläre, warum der Zeiger des Spannungsmessgeräts nur kurzzeitig ausschlägt.

c) Nenne drei Möglichkeiten, die angedeutete Spannung zu vergrößern.

6. Ein kleiner Magnet wird durch ein Kupferrohr und anschließend durch ein Kunststoffrohr fallen gelassen. Beschreibe und begründe die Beobachtung.

7. Ein geschlossener Aluminiumring ist fest schiefen aufgestellt. Nun bewegt sich ein Magnet auf ihn zu, ohne den Ring zu berühren.

a) Was ist zu beobachten? Begründe.

b) Nun wird der Ring an einer Stelle durchtrennt. Was ist nun zu beobachten? Begründe.

KAPITEL 2

2.10 Teste dich

Aufgaben zur Einzelarbeit

1. Eine Leiterschleife wird in ein Magnetfeld hinein und anschließend durch ein Hufeisenmagnet.

a) Beschreibe die Energieumwandlung.

b) Beschreibe Änderungen am Versuch, damit das Lämpchen heller leuchtet.

2. Wird der Stromkreis an der rechten Spule geschlossen, schlägt der Zeiger des Spannungsmessgeräts kurz aus und geht dann zum Nullpunkt zurück.

a) Beschreibe die beiden Spulen mit Fachbegriffen.

b) Erkläre, warum der Zeiger des Spannungsmessgeräts nur kurzzeitig ausschlägt.

c) Nenne drei Möglichkeiten, die angedeutete Spannung zu vergrößern.

3. Ein kleiner Magnet wird durch ein Kupferrohr und anschließend durch ein Kunststoffrohr fallen gelassen. Beschreibe und begründe die Beobachtung.

4. Ein geschlossener Aluminiumring ist fest schiefen aufgestellt. Nun bewegt sich ein Magnet auf ihn zu, ohne den Ring zu berühren.

a) Was ist zu beobachten? Begründe.

b) Nun wird der Ring an einer Stelle durchtrennt. Was ist nun zu beobachten? Begründe.

1. Eine Leiterschleife wird in ein Magnetfeld hinein und anschließend durch ein Hufeisenmagnet.

a) Beschreibe die Energieumwandlung.

b) Beschreibe Änderungen am Versuch, damit das Lämpchen heller leuchtet.

2. Wird der Stromkreis an der rechten Spule geschlossen, schlägt der Zeiger des Spannungsmessgeräts kurz aus und geht dann zum Nullpunkt zurück.

a) Beschreibe die beiden Spulen mit Fachbegriffen.

b) Erkläre, warum der Zeiger des Spannungsmessgeräts nur kurzzeitig ausschlägt.

c) Nenne drei Möglichkeiten, die angedeutete Spannung zu vergrößern.

3. Ein kleiner Magnet wird durch ein Kupferrohr und anschließend durch ein Kunststoffrohr fallen gelassen. Beschreibe und begründe die Beobachtung.

4. Ein geschlossener Aluminiumring ist fest schiefen aufgestellt. Nun bewegt sich ein Magnet auf ihn zu, ohne den Ring zu berühren.

a) Was ist zu beobachten? Begründe.

b) Nun wird der Ring an einer Stelle durchtrennt. Was ist nun zu beobachten? Begründe.

KAPITEL 2

2.8 Themenseite: Anwendungen der Induktion

Induktives Laden

Die Technik funktioniert folgendermaßen: In der induktiven Ladestation befindet sich eine Spule. Fließt Wechselstrom durch sie hindurch, baut sich ein sich ständig veränderndes Magnetfeld auf. Auch in dem zu ladenden Gerät ist eine Spule verbaut.

Die Technik funktioniert folgendermaßen: In der induktiven Ladestation befindet sich eine Spule. Fließt Wechselstrom durch sie hindurch, baut sich ein sich ständig veränderndes Magnetfeld auf. Auch in dem zu ladenden Gerät ist eine Spule verbaut.

Die Technik funktioniert folgendermaßen: In der induktiven Ladestation befindet sich eine Spule. Fließt Wechselstrom durch sie hindurch, baut sich ein sich ständig veränderndes Magnetfeld auf. Auch in dem zu ladenden Gerät ist eine Spule verbaut.

KAPITEL 2

2.8 Themenseite: Anwendungen der Induktion

Induktives Laden

Die Technik funktioniert folgendermaßen: In der induktiven Ladestation befindet sich eine Spule. Fließt Wechselstrom durch sie hindurch, baut sich ein sich ständig veränderndes Magnetfeld auf. Auch in dem zu ladenden Gerät ist eine Spule verbaut.

Die Technik funktioniert folgendermaßen: In der induktiven Ladestation befindet sich eine Spule. Fließt Wechselstrom durch sie hindurch, baut sich ein sich ständig veränderndes Magnetfeld auf. Auch in dem zu ladenden Gerät ist eine Spule verbaut.

Die Technik funktioniert folgendermaßen: In der induktiven Ladestation befindet sich eine Spule. Fließt Wechselstrom durch sie hindurch, baut sich ein sich ständig veränderndes Magnetfeld auf. Auch in dem zu ladenden Gerät ist eine Spule verbaut.

KAPITEL 2

2.18 Vermischte Aufgaben

Aufgaben zur Einzelarbeit

1. Ein Widerstand $R_1 = 80 \Omega$ ist in Reihe zu einem Widerstand R_2 , an eine Batterie mit $U = 4,5 \text{ V}$ geschaltet.

a) Fertige ein Schaltbild.

b) Setze die R_1 nachfolgenden Werte ein: 10Ω , 100Ω , 1000Ω , $10 \text{ k}\Omega$, $100 \text{ k}\Omega$. Berechne die Stromstärke I , sowie die Teilspannungen U_1 und U_2 . Vergleiche die Teilspannungen miteinander und formuliere eine Aussage.

2. In einer Küche wird am Haushaltsnetz fünf elektrische Geräte mit den Leistungen $P_1 = 800 \text{ W}$, $P_2 = 400 \text{ W}$, $P_3 = 150 \text{ W}$, $P_4 = 120 \text{ W}$ und $P_5 = 150 \text{ W}$ sowie vier 75 W -Lampen gleichzeitig in Betrieb. Angenommen werden alle Geräte mit einer 16 A-Sicherung.

a) Wie müsste noch ein weiteres Gerät mit einer elektrischen Leistung von 300 W anschließen. Begründe, ob dies möglich ist.

b) Berechne die einzelnen elektrischen Widerstände der Geräte.

3. Ein elektrischer Heizer hat in der Regel eine Leistung von $2,0 \text{ kW}$. Begründe, warum dieser im Haushalt über einen eigenen geschützten Anschluss verfügt.

4. Bestimme die Stromstärke sowie die Teilspannungen an den Widerständen R_1 und R_2 in der nachfolgenden Schaltung. Begründe die Ergebnisse.

5. Bei einem Induktionsherd befindet sich unter dem Kochfeld aus Glasceran eine Spule mit Wechselstrom, die an Wechselspannung hoher Frequenz angeschlossen ist. Das Bild zeigt eine halbierte Gusskesselplatte auf dem Kochfeld eines Induktionsherds. Das Spritzglas ist nach einer gewissen Zeit nur auf dem Plattenrand festgeklebt.

a) Begründe diesen Sachverhalt.

b) Nenne zwei Vorteile, die ein Induktionsherd gegenüber einem herkömmlichen Elektroherd bietet.

KAPITEL 2

2.18 Vermischte Aufgaben

Aufgaben zur Einzelarbeit

1. Ein Widerstand $R_1 = 80 \Omega$ ist in Reihe zu einem Widerstand R_2 , an eine Batterie mit $U = 4,5 \text{ V}$ geschaltet.

a) Fertige ein Schaltbild.

b) Setze die R_1 nachfolgenden Werte ein: 10Ω , 100Ω , 1000Ω , $10 \text{ k}\Omega$, $100 \text{ k}\Omega$. Berechne die Stromstärke I , sowie die Teilspannungen U_1 und U_2 . Vergleiche die Teilspannungen miteinander und formuliere eine Aussage.

2. In einer Küche wird am Haushaltsnetz fünf elektrische Geräte mit den Leistungen $P_1 = 800 \text{ W}$, $P_2 = 400 \text{ W}$, $P_3 = 150 \text{ W}$, $P_4 = 120 \text{ W}$ und $P_5 = 150 \text{ W}$ sowie vier 75 W -Lampen gleichzeitig in Betrieb. Angenommen werden alle Geräte mit einer 16 A-Sicherung.

a) Wie müsste noch ein weiteres Gerät mit einer elektrischen Leistung von 300 W anschließen. Begründe, ob dies möglich ist.

b) Berechne die einzelnen elektrischen Widerstände der Geräte.

3. Ein elektrischer Heizer hat in der Regel eine Leistung von $2,0 \text{ kW}$. Begründe, warum dieser im Haushalt über einen eigenen geschützten Anschluss verfügt.

4. Bestimme die Stromstärke sowie die Teilspannungen an den Widerständen R_1 und R_2 in der nachfolgenden Schaltung. Begründe die Ergebnisse.

5. Bei einem Induktionsherd befindet sich unter dem Kochfeld aus Glasceran eine Spule mit Wechselstrom, die an Wechselspannung hoher Frequenz angeschlossen ist. Das Bild zeigt eine halbierte Gusskesselplatte auf dem Kochfeld eines Induktionsherds. Das Spritzglas ist nach einer gewissen Zeit nur auf dem Plattenrand festgeklebt.

a) Begründe diesen Sachverhalt.

b) Nenne zwei Vorteile, die ein Induktionsherd gegenüber einem herkömmlichen Elektroherd bietet.

Im Grundwissen ist das Wichtigste des ganzen Kapitels nochmals kompakt zusammengefasst.

KAPITEL 2

2.17 Grundwissen

Stromkreise

Für einen unverzweigten Stromkreis (Reihenschaltung) mit n Widerständen gilt:

$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$

$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$

Für einen verzweigten Stromkreis (Parallelschaltung) mit n Widerständen gilt:

$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$

$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$

Elektromagnetische Induktion

Durch elektromagnetische Induktion wird mechanische in elektrische Energie umgewandelt.

Bewegt sich ein elektrischer Leiter und ein Magnetfeld relativ (nicht parallel) zueinander, so wird im Leiter eine Spannung induziert. Bei geschlossenem Stromkreis fließt ein Induktionsstrom.

Die induzierte Spannung ist maximal, wenn der Leiter senkrecht zum Magnetfeld bewegt wird.

Die Polung der Induktionsspannung bzw. die Richtung des Induktionsstroms ist abhängig von der Bewegungs- und Magnetfeldrichtung.

Der Induktionsstrom ist stärker, je schneller die Bewegung bzw. je stärker das Magnetfeld ist.

Induktionsgeräte

Wird eine Spule von einem sich zeitlich ändernden Magnetfeld durchdrungen, so tritt in der Spule eine Induktionsspannung auf.

Die Induktionsspannung ist größer:

- je schneller die Magnetfeldänderung stattfindet
- je größer der Betrag ist, um den sich das Magnetfeld ändert
- je größer die Windzahl der Spule ist

Wenn in der Spule ein Wechselstrom ist, so wird die Induktionsspannung durch den Wechselstrom erzeugt.

Die Polung der Induktionsspannung hängt davon ab, ob es zu einer Verdrängung oder einer Schwächung des Magnetfelds kommt.

KAPITEL 2

2.17 Grundwissen

Stromkreise

Für einen unverzweigten Stromkreis (Reihenschaltung) mit n Widerständen gilt:

$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$

$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$

Für einen verzweigten Stromkreis (Parallelschaltung) mit n Widerständen gilt:

$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$

$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$

Elektromagnetische Induktion

Durch elektromagnetische Induktion wird mechanische in elektrische Energie umgewandelt.

Bewegt sich ein elektrischer Leiter und ein Magnetfeld relativ (nicht parallel) zueinander, so wird im Leiter eine Spannung induziert. Bei geschlossenem Stromkreis fließt ein Induktionsstrom.

Die induzierte Spannung ist maximal, wenn der Leiter senkrecht zum Magnetfeld bewegt wird.

Die Polung der Induktionsspannung bzw. die Richtung des Induktionsstroms ist abhängig von der Bewegungs- und Magnetfeldrichtung.

Der Induktionsstrom ist stärker, je schneller die Bewegung bzw. je stärker das Magnetfeld ist.

Induktionsgeräte

Wird eine Spule von einem sich zeitlich ändernden Magnetfeld durchdrungen, so tritt in der Spule eine Induktionsspannung auf.

Die Induktionsspannung ist größer:

- je schneller die Magnetfeldänderung stattfindet
- je größer der Betrag ist, um den sich das Magnetfeld ändert
- je größer die Windzahl der Spule ist

Wenn in der Spule ein Wechselstrom ist, so wird die Induktionsspannung durch den Wechselstrom erzeugt.

Die Polung der Induktionsspannung hängt davon ab, ob es zu einer Verdrängung oder einer Schwächung des Magnetfelds kommt.

Mit den Vermischten Aufgaben könnt ihr den Stoff wiederholen.

A black and white photograph of two skydivers in freefall, positioned diagonally across the frame. They are surrounded by a thick layer of white clouds, with a darker, textured landscape visible below. The skydivers are wearing helmets, goggles, and parachutes. The overall scene conveys a sense of motion and physics.

10

III/III

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 10_{II/III}

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

Zu diesem Lehrwerk sind erhältlich:

- Digitales Lehrermaterial **click & teach** Einzellizenz, Bestell-Nr. 670405
- Digitales Lehrermaterial **click & teach** Box (Karte mit Freischaltcode), ISBN 978-3-661-**67040-9**

Weitere Materialien finden Sie unter www.ccbuchner.de.

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

Die enthaltenen Links verweisen auf digitale Inhalte, die der Verlag bei verlagsseitigen Angeboten in eigener Verantwortung zur Verfügung stellt. Links auf Angebote Dritter wurden nach den gleichen Qualitätskriterien wie die verlagsseitigen Angebote ausgewählt und bei Erstellung des Lernmittels sorgfältig geprüft. Für spätere Änderungen der verknüpften Inhalte kann keine Verantwortung übernommen werden.

An keiner Stelle im Schülerbuch dürfen Eintragungen vorgenommen werden.

Teildruck

1. Auflage, 1. Druck 2022

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.

© 2022 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

ISBN der genehmigten Auflage: 978-3-661-**67030-0**

Grundlegende physikalische Methoden	6
---	---

1 Mechanik

Startklar Mechanik	12
1.1 Zeit-Weg-Diagramme	16
1.2 Momentan- und Durchschnittsgeschwindigkeit	20
1.3 Gleichmäßig beschleunigte Bewegung	22
1.4 Freier Fall	26
1.5 Grundgleichung der Mechanik	28
1.6 Kinetische Energie	32
1.7 Energieerhaltung	34
1.8 Themenseite: Verkehrssicherheit	38
1.9 Teste dich	40
1.10 Grundwissen	42
1.11 Vermischte Aufgaben	44



2 Elektrizitätslehre

Startklar Elektrizitätslehre	48
Stromkreise und Induktion	
2.1 Unverzweigter Stromkreis	54
2.2 Verzweigter Stromkreis	56
2.3 Elektromagnetische Induktion	58
2.4 Elektromagnetische Induktion in Spulen	60
2.5 Induktionsgesetz	62
2.6 Regel von Lenz	64
2.7 Wirbelströme	66
2.8 Themenseite: Anwendungen der Induktion	68
2.9 Teste dich	70



Anwendungen der Induktion

2.10 Wechselspannungsgenerator	72
2.11 Transformator	76
2.12 Wirkungsgrad eines Transformators	78
2.13 Themenseite: Einsatz von Transformatoren	82
2.14 Übertragung elektrischer Energie	84
2.15 Themenseite: Spannungsnetze und Energieverbund	86
2.16 Teste dich	88
2.17 Grundwissen	90
2.18 Vermischte Aufgaben	92

3 Atom- und Kernphysik



3.1 Radioaktive Strahlung	96
3.2 Aufbau von Atomkernen	100
3.3 Strahlungsarten	102
3.4 Radioaktiver Zerfall	104
3.5 Halbwertszeit	108
3.6 Gefahren radioaktiver Strahlung und Strahlenschutz	110
3.7 Nutzen radioaktiver Strahlung	112
3.8 Teste dich	114
3.9 Grundwissen	116
3.10 Vermischte Aufgaben	118

4 Energieversorgung

Energieträger und Kraftwerke

4.1	Energieträger	122
4.2	Sonnenenergie	124
4.3	Biomasse	126
4.4	Erdwärme	128
4.5	Wärmekraftmaschinen	130
4.6	Themenseite: Wärmekraftmaschinen	132
4.7	Wärmekraftwerke	134
4.8	Themenseite: Wärmekraftwerke	136
4.9	Teste dich	140

Weitere Kraftwerke und energetische Herausforderungen

4.10	GuD-Kraftwerke	142
4.11	Wasserkraftwerke	144
4.12	Windkraftwerke	146
4.13	Speichertechniken	148
4.14	Übertragungstechniken	150
4.15	Auswirkungen auf die Umwelt	152
4.16	Teste dich	154
4.17	Grundwissen	156
4.18	Vermischte Aufgaben	158

Lösungen	160
Operatoren	172
Stichwortverzeichnis	173
Bildnachweis	176

4 Energieversorgung



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 und 9 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**.

Von einem Elektromotor soll geprüft werden, wie schnell er physikalische Arbeit verrichten kann. Dazu wird gemessen, bis in welche Höhe h er ein Massestück der Masse m in einer vorgegebenen Zeit t heben kann. Daraus wird die Hubarbeit W_{Hub} berechnet.

Der Elektromotor hebt eine Masse mit $m = 400 \text{ g}$.

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

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

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.

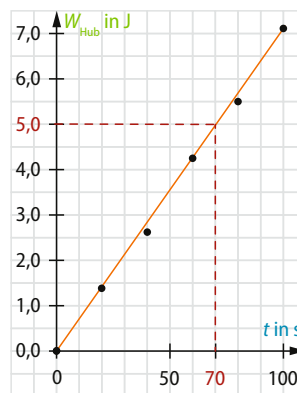


Abb. 1: Grafische Auswertung im t - W_{Hub} -Diagramm und Bestimmung der Proportionalitätskonstante

Eine Ausgleichsstrecke liegt vor. Daraus folgt, dass die physikalische Arbeit direkt proportional zur benötigten Zeit ist: $W_{\text{Hub}} \sim t$.

Die Proportionalitätskonstante $\frac{W_{\text{Hub}}}{t}$ wird als physikalische Leistung P bezeichnet.

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	20	40	60	80	100
$W_{\text{Hub}} = F_G \cdot h$ in J	0,0	1,4	2,5	4,31	5,49	7,06
$\frac{W_{\text{Hub}}}{t}$ 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_{Hub} und der Zeit t konstant:

$$\frac{W_{\text{Hub}}}{t} = \text{konst.}$$

Damit liegt eine direkte Proportionalität vor: $W_{\text{Hub}} \sim t$.

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.

$$P = \frac{W_{\text{Hub}}}{t}$$

$$P = \frac{5,0 \text{ J}}{70 \text{ s}} = 0,071 \text{ W}$$

$$\bar{P} = \frac{0,070 + 0,063 + 0,072 + 0,069 + 0,0706}{5} \frac{\text{J}}{\text{s}} = 0,069 \text{ W}$$

Rechenaufgaben unter Beachtung der sinnvollen Ziffern lösen

Angabe von Größen

Bei der Angabe von Größen 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.

$2,3 \text{ mm} \neq 2,30 \text{ mm}$, 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 oft Zehnerpotenzen.

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

$$l_1 = 25 \text{ m} \neq l_2 = 2500 \text{ cm}$$

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

$$l_2 = 2500 \text{ cm} = 25,00 \text{ m}$$

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.

$$t_{\text{ges}} = 64,3 \text{ s} + 62,8 \text{ s} + 63,2 + 61,6 \text{ s} = 251,9 \text{ s}$$
- Größen unterschiedlicher Genauigkeit**
 Besitzen die Werte unterschiedliche Genauigkeiten, so wird das Ergebnis am Ende gerundet, und zwar entsprechend dem Wert mit der geringsten Genauigkeit.

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

Berechnung der Hubarbeit mit $W_{\text{Hub}} = m \cdot g \cdot h$:

$$m = 70,4 \text{ kg}; g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}; h = 4,0 \text{ m}$$

Mathematisch berechnete Hubarbeit:

$$W_{\text{Hub}} = 70,4 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 4,0 \text{ m} = 2762,496 \text{ J}$$

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

Physikalisch berechnete Hubarbeit:

$$W_{\text{Hub}} = 70,4 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 4,0 \text{ m}$$

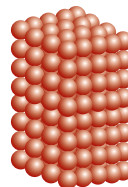
Der ungenaueste Messwert (4,0 m) hat zwei sinnvolle Ziffern, weswegen der obige, mathematische Wert gerundet und auf zwei sinnvolle Ziffern angegeben wird:

$$W_{\text{Hub}} = 2,8 \cdot 10^3 \text{ J} = 2,8 \text{ kJ}$$

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.

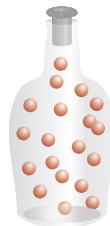


Abb. 2: Aggregatzustände im Teilchenmodell

AUFGABEN

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

t in min	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	80,0
W_{Hub} in kJ	0,28	0,56	0,84	1,13	1,39	1,49

- Beschreibe, wie sich der Betrag der verrichteten Arbeit verändert, wenn die Zeit verdoppelt wird.
 - Werte die Tabelle numerisch aus.
 - Erstelle ein t - W_{Hub} -Diagramm mit entsprechender grafischer Auswertung.
 - Erläutere den vorliegenden mathematischen Zusammenhang zwischen Arbeit und Zeit.
 - Bestimme mithilfe beider Auswertungen die vom Motor verrichtete durchschnittliche Leistung.
- 2
- Berechne die Zeit, die ein Radfahrer (Gesamtmasse mit Fahrrad 78 kg) benötigt, um einen Höhenunterschied von 450 m zu überwinden, wenn er eine durchschnittliche mechanische Leistung von 70 W erbringt.
 - Tatsächlich ist die Leistung viel größer. Berechne die tatsächliche aufgebrachte Leistung, wenn man beim System „Radfahrer und Fahrrad“ von einem Wirkungsgrad von $\eta = 28,5 \%$ ausgeht.
- 3 Erkläre jeweils mithilfe des Teilchenmodells.
- Ein Löffel erwärmt sich in einem frisch aufgebrühten Tee so stark, dass man sich die Finger an ihm verbrennt.
 - Bei Stromfluss leuchtet eine Glühlampe.

1

Mechanik



Bewegung

Zeit-Weg-Diagramm

DURCHSCHNITTSGESCHWINDIGKEIT

Kraft



FREIER FALL

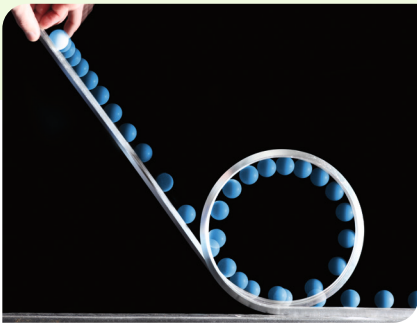
Fallbeschleunigung

ENERGIEERHALTUNG

Kinetische Energie

Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

- 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.



ENERGIEUMWANDLUNG



Beschleunigung

Ortsfaktor

Anhalteweg

Grundgleichung der Mechanik

Bewegungsgleichung

Bremsweg

Geschwindigkeit

Sicherheitsabstand



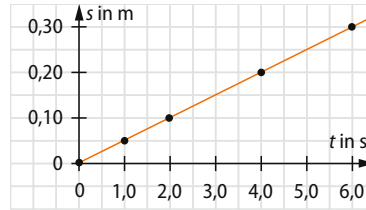
VERKEHRSSICHERHEIT

STROBOSKOPAUFNahme

MOMENTANGESCHWINDIGKEIT

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

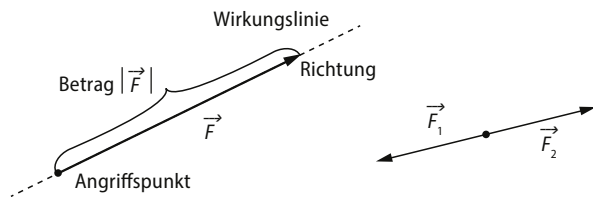
- **Kräfte** kann man an ihren Wirkungen erkennen.
- Die Kraft $\vec{F}$ ist eine **vektorielle Größe** mit drei Bestimmungsstücken:
Kraftbetrag, Angriffspunkt, Richtung
- Die Einheit der Kraft ist 1 Newton: $[F] = 1 \text{ N}$.
- Eine Kraft ruft stets eine gleich große Gegenkraft hervor (**Wechselwirkungsprinzip**).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

dynamische Wirkung:

Geschwindigkeitsänderung oder Richtungsänderung

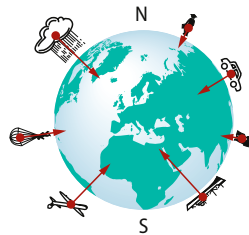
statische Wirkung:

elastische oder plastische Verformung



Gravitation und Gewichtskraft

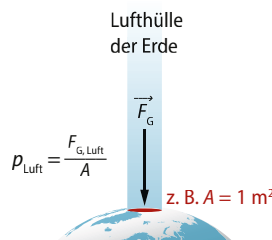
- Alle Körper ziehen sich gegenseitig an (**Gravitation**).
- Die **Gewichtskraft** $\vec{F}_G$ ist die Gravitationskraft der Erde auf einen Körper. Sie zeigt zum Erdmittelpunkt und wird kleiner, je weiter man sich von diesem entfernt.



Luftdruck

Der **Luftdruck** ist der Schweredruck der Luft. Er beträgt in **Meeresspiegelhöhe** unter Normalbedingungen etwa **1013 hPa = 1,013 bar**.

- Mit zunehmender Höhe nimmt der **Luftdruck** zwar ab, aber **nicht linear**.



Reibung

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

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

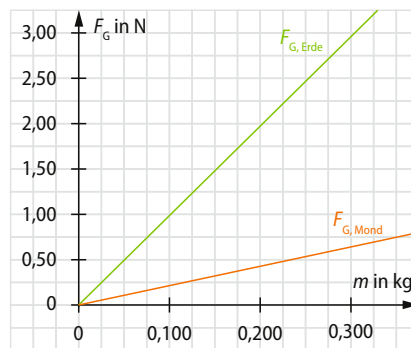


Modellvorstellung zur Haft- und Gleitreibung (links) und Rollreibung (rechts)

Trägheit, Masse und Gewichtskraft

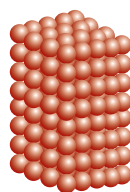
- Jeder Körper ist träge:** Er bleibt in Ruhe oder bewegt sich gleichförmig fort, wenn keine Kräfte auf ihn wirken oder die Kräfte auf den Körper im Gleichgewicht sind.
- Trägheit und Schwere bezeichnen eine ortsunabhängige Eigenschaft eines Körpers. Man bezeichnet sie als **Masse m** mit $[m] = 1 \text{ kg}$.
- 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.

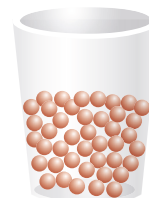


Aggregatzustände und Teilchenmodell

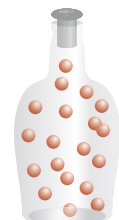
- Alle Körper liegen in einem von drei Aggregatzuständen vor (**fest, flüssig, gasförmig**).
- Alle Körper bestehen aus Teilchen. Zwischen den Teilchen befindet sich ein Vakuum.
- Zwischen den Teilchen wirken Kohäsionskräfte.
- Körper unterscheiden sich durch die Art und die Anordnung der Teilchen.
-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



fest



flüssig

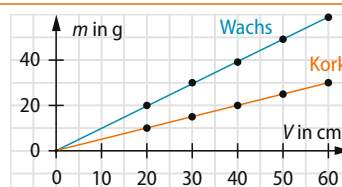


gasförmig

Dichte

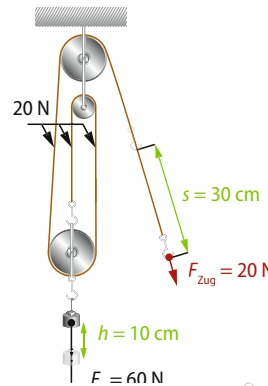
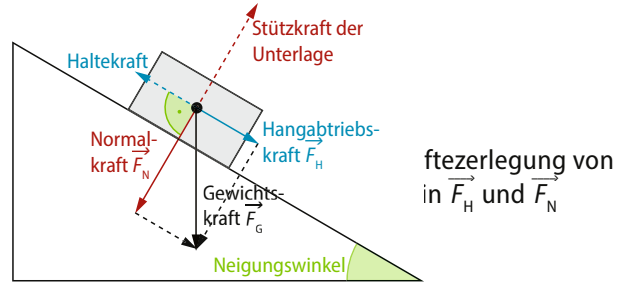
- Masse und Volumen** von Körpern aus demselben Material sind **direkt proportional**: $m \sim V$.
Der Proportionalitätsfaktor heißt Dichte ρ :

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

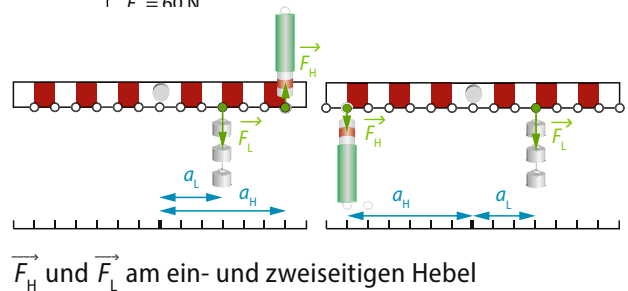


Kraftwandler: Schiefe Ebene, Flaschenzug und Hebel

- **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** $\vec{F}_{\text{Zug}}$ mithilfe von Seilen und Rollen.
- Der Betrag der **Zugkraft** $\vec{F}_{\text{Zug}}$ 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.
- 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.

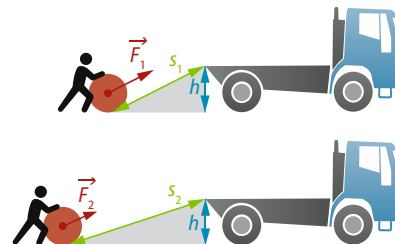


aschenzug mit drei tragenden Seilstücken



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}

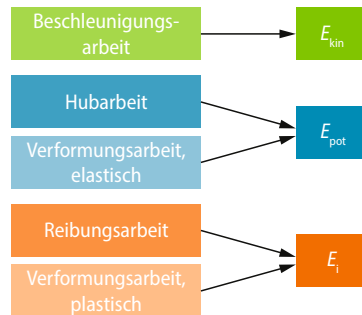


Je länger die Strecke, desto kleiner ist bei gleicher Höhe h die benötigte Kraft.

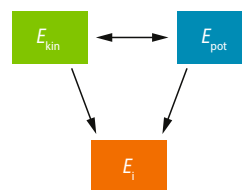
- **Goldene Regel der Mechanik:** Durch Einsatz eines Kraftwandlers kann die Arbeit, die verrichtet werden muss, nicht verkleinert werden.
- Als Speicher- bzw. Zustandsgröße gibt die Energie die Fähigkeit eines Körpers an, Arbeit zu verrichten.

Man unterscheidet:

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

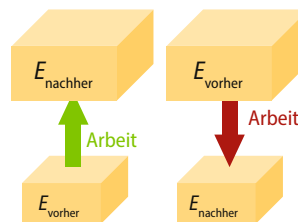


Energieumformungen am Beispiel des Pendels

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:

$$P = \frac{W}{t} \text{ mit } [P] = 1 \text{ W (Watt) und } 1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$$
- Der **Wirkungsgrad η** 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

Einstieg

Wird ein bewegter Körper nach gleichen Zeitabschnitten fotografiert und werden die Einzelbilder überlagert, entsteht eine sogenannte Stroboskopaufnahme.

- Beschreibe den Bewegungsverlauf der Sportlerin.



Versuche

„phyphox“ ist der Name der App „physical phone experiments“, die von der RWTH Aachen entwickelt wurde.

Arbeitsblatt zu V1
unter 67030-01



V1 Installiere die Physik-App „phyphox“ auf deinem Smartphone.

Öffne die App und wähle die Anwendung „Standort (GPS)“ aus. Bewege dich mit deinem Smartphone auf dem Pausenhof. Unterbrich dabei zweimal deine Bewegung.

Material
– Smartphone
– App „phyphox“

Beobachtung: Der Graph im Zeit-Weg-Diagramm (Abb. 1) besitzt eine unregelmäßige Form, er beginnt im Ursprung und verläuft während eines Bewegungsstillstands parallel zur Zeit-Achse.

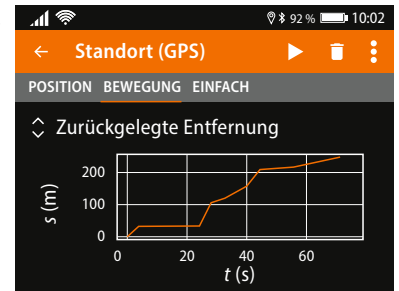


Abb. 1: Zeit-Weg-Diagramm

V2 Mit einer Smartphone-App, die für die Erstellung von Stroboskop- und Serienfotos geeignet ist (z. B. die App „Motion Shot“), wird eine Stroboskopaufnahme eines Ballwurfs gemacht und ein Zeit-Weg-Diagramm angefertigt, indem die Entfernungen zwischen den Ballmittelpunkten gemessen werden.

Bei 8 Aufnahmen in 1,00 s ergeben sich folgende Zeitintervalle:

$$\Delta t = t_{\text{ges}} : n = 1,00 \text{ s} : 7 = 0,14 \text{ s}$$

t in s	0,00	0,14	0,29	0,43
Δs in mm	0	23	11	8
s in mm	0	23	34	42
t in s	0,57	0,71	0,86	1,00
Δs in mm	6	12	17	37
s in mm	48	60	77	114

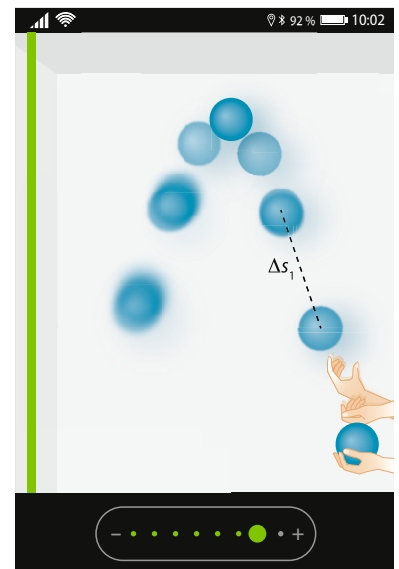


Abb. 2: Bildaufnahme des Ballwurfs

Beobachtung: Der Verlauf des Zeit-Weg-Diagramms zu V2 beginnt im Ursprung und steigt mit zunehmender Zeit an. Bei $t = 0,50 \text{ s}$ ist der Anstieg am schwächsten (Abb. 3).

Bewegte Körper wie der einer Sportlerin legen während ihrer Bewegungen Wegstrecken zurück. Die nach einer bestimmten Zeit t zurückgelegte Wegstrecke s eines Körpers kann gemessen und in einem Zeit-Weg-Diagramm (t - s -Diagramm) grafisch dargestellt werden. Graphen in Zeit-Weg-Diagrammen beginnen daher immer im Ursprung. V1

zeigt, dass die Graphen (bzw. Teilstücke des Graphen) von Körpern ohne Bewegung im Zeit-Weg-Diagramm parallel zur Zeit-Achse verlaufen, da trotz verstreichender Zeit kein Weg zurückgelegt wird (Abb. 1). Je

schneller sich ein Körper bewegt, desto steiler ist der Verlauf der Kurve. In V2 bewegt sich der Ball an seinem Wendepunkt am langsamsten, der Verlauf des Graphen ist hier am flachsten.

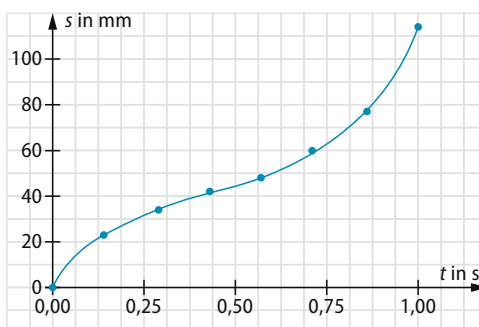


Abb. 3: Zeit-Weg-Diagramm

Erklärung

- **Zeit-Weg-Diagramme (t - s -Diagramme)** stellen die von einem Körper zurückgelegte Strecke s in Abhängigkeit von der verstrichenen Zeit t dar.
- Ein Graph im t - s -Diagramm beginnt stets im Ursprung und steigt bei Bewegung mit zunehmender Zeit an.
- Je größer die Strecke ist, die ein Körper in gleichen Zeitintervallen zurücklegt, d. h. je größer der Betrag seiner Geschwindigkeit ist, desto steiler ist der Verlauf des Graphen im t - s -Diagramm.

Merkwissen

1 Das abgebildete Zeit-Weg-Diagramm beschreibt die Fahrt eines Spielzeugautos.

- Beschreibe jeweils den Bewegungszustand des Autos in den Abschnitten 1 bis 6.
- Berechne die Geschwindigkeit des Autos in denjenigen Abschnitten, in denen es sich mit konstanter Geschwindigkeit fortbewegt. Gib die Geschwindigkeit in $\frac{m}{s}$ und $\frac{km}{h}$ an.
- Beschreibe, woran man in einem Zeit-Weg-Diagramm eine Zu- bzw. Abnahme der Geschwindigkeit erkennt.

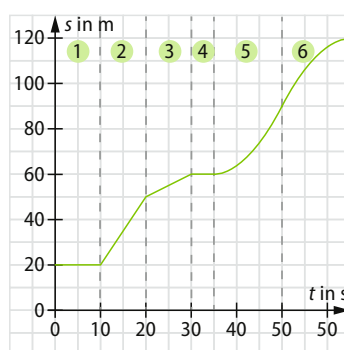


Abb. 4: Fahrt eines Spielzeugautos

Aufgaben

- Beschreibe detailliert den Bewegungsverlauf aus V2 anhand des t - s -Diagramms.
- Erstelle für deinen Weg zur Schule mithilfe einer App ein t - s -Diagramm.

Die Spiele wurden wegen der Corona-Pandemie erst im Sommer 2021 ausgetragen.

- 4 Skizziere Zeit-Weg-Diagramme für folgende Situationen:
- Ein Auto fährt für 20 s lang mit $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf einem geraden Straßenabschnitt.
 - Ein Radfahrer fährt 5 Minuten lang mit $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ und verlangsamt danach seine Geschwindigkeit pro Minute um $5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
 - Ein Sportler springt von einer 25 m hohen Plattform ins Wasser.
 - Ein Fallschirmspringer springt aus dem Flugzeug und zieht nach 20 s den Fallschirm.
- 5 Ein Triathlon besteht aus den Disziplinen Schwimmen, Radfahren und Laufen, die nacheinander und in genau dieser Reihenfolge bewältigt werden müssen. Stelle den gesamten Triathlon der beiden Olympiasieger von 2020 in Tokio in einem einzigen Weg-Zeit-Diagramm dar.

	Name	Gesamt	1500 m Schwimmen	40 km Radfahren	10 km Laufen
Olympiasiegerin Frauen	Flora Duffy	1:55:36	18:32	1:02:49	33:00
Olympiasieger Männer	Kristian Blummenfelt	1:45:04	18:04	0:56:19	29:34

Methode

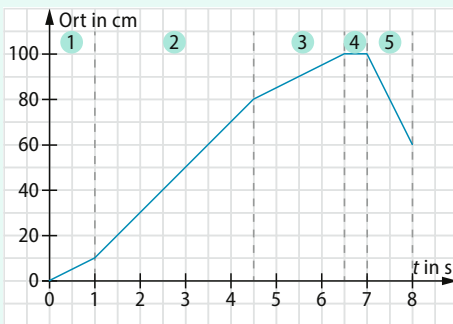


Abb. 5: Zeit-Orts-Diagramm



Abb. 6: Fahrradfahrt

Zeit-Orts-Diagramme

Wenn nicht der zurückgelegte Weg, sondern der Ort des betrachteten Körpers aufgetragen wird, dann erhält man ein Zeit-Orts-Diagramm (Abb. 5). Steigt der Graph, so liegt eine Vorwärtsbewegung vor, fällt er, so bewegt sich der Körper rückwärts.

- Beschreibe die Bewegung eines Spielzeugautos, das auf einer geraden Schiene vor und zurück fährt, anhand des Zeit-Orts-Diagramms von Abb. 5. Bestimme auch die Geschwindigkeiten in den Abschnitten 1 bis 5.
- Abb. 5 enthält Knicke. Erkläre, warum die Knicke für eine gute Darstellung der Wirklichkeit „abgerundet“ werden müssten.
- Erstelle für V2 ein Zeit-Orts-Diagramm.
- Stelle in einem Zeit-Orts-Diagramm die Bewegung zweier Spielzeugautos dar, die geradlinig aufeinander zu fahren und bei Begegnung stoppen.
- In der Praxis sind Bewegungen selten geradlinig. Will man beispielsweise eine Fahrradfahrt mit gleichem Start-Ziel-Punkt darstellen, so kann die y-Achse nicht den Ort, sondern lediglich die Entfernung zum Startpunkt abbilden. Erkläre genauer.

6 Abb. 7 zeigt das idealisierte Zeit-Orts-Diagramm einer Fahrradfahrt.

a) Ordne jedem der drei Bewegungsabschnitte ein Bild zu und begründe deine Entscheidung.

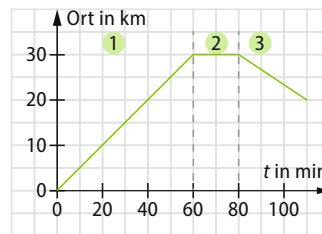


Abb. 7: Fahrradfahrt

b) Erstelle aus dem Zeit-Orts-Diagramm ein Zeit-Weg-Diagramm.

c) Bestimme die Geschwindigkeit des Radfahrers in der Einheit $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ in jedem der drei Abschnitte.

7 Welche der folgenden Aussagen sind für die Zeit-Orts-Diagramme jeweils korrekt?

- a) 1 Körper A überholt B.
 2 A bewegt sich mit $5,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
 3 A bewegt sich mit $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
 4 A und B sind gleichzeitig gestartet, A hatte Vorsprung.
 5 A und B sind vom gleichen Ort gestartet, B früher.
 6 A und B bewegen sich in die gleiche Richtung.

- b) 1 Körper B überholt A.
 2 B bewegt sich mit $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
 3 B bewegt sich mit $1,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
 4 A und B bewegen sich in entgegengesetzte Richtung.
 5 A und B sind gleichzeitig gestartet, B hatte Vorsprung.
 6 A und B sind vom gleichen Ort gestartet, A früher.

- c) 1 A bewegt sich zurück.
 2 B bewegt sich mit $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
 3 A bewegt sich mit $-0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
 4 B bewegt sich dreimal so schnell wie A.
 5 A und B sind vom gleichen Ort gestartet, A später.
 6 A und B begegnen sich nie.

- d) 1 Körper A bewegt sich zurück.
 2 Körper A wird schneller.
 3 Körper A wird langsamer.
 4 Körper B wird schneller.
 5 Körper B wird langsamer.
 6 Körper B bewegt sich vorwärts.

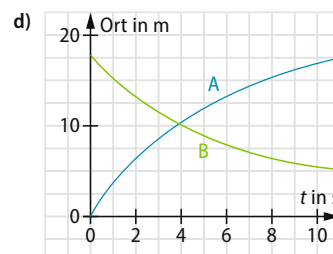
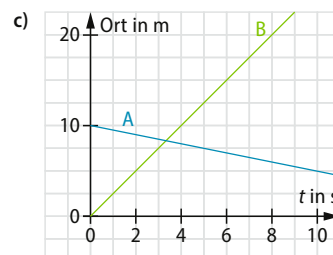
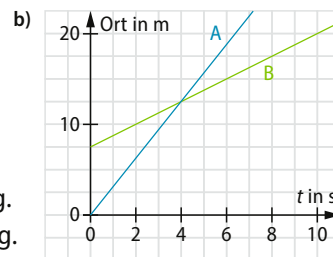
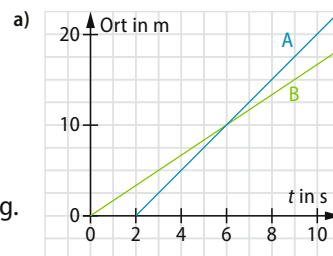


Abb. 8: Zeit-Orts-Diagramme zu Aufgabe 7

Einstieg

Im Escape-Freizeitpark in Malaysia wurde 2019 die riesige Wasserrutsche mit 1140 m Länge eröffnet.

- Wie schnell wird man auf einer Wasserrutsche?
- Kann die Geschwindigkeit mit einer Stoppuhr gemessen werden?



Versuche

Arbeitsblatt zu V1
unter 67030-02



Arbeitsblatt zu V2
unter 67030-03



- V1** Das Deutsche Museum soll vom Hauptbahnhof München aus erreicht werden. Ermittle mithilfe eines Routenplaners die Durchschnittsgeschwindigkeit eines Pkws vom Bahnhof bis zum Museum.

Material
– Smartphone oder PC
– Routenplaner

Beobachtung: Die berechnete Durchschnittsgeschwindigkeit des Pkws beträgt $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2,9 \text{ km}}{13 \text{ min}} = 13 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

- V2** Stelle dich mit dem Smartphone in einen Fahrstuhl und öffne die App „phyphox“. Starte die Anwendung „Aufzug“ und fahre in verschiedene Etagen.

Material
– Smartphone
– App „phyphox“

Beobachtung: Die Geschwindigkeit ist bei der Abwärtsfahrt negativ, in Ruhe gleich 0 und bei der Aufwärtsfahrt positiv (Abb. 1).



Abb. 1: t-v-Diagramm zu V2

- V3** Eine Kugel wird auf eine schiefe Ebene aufgesetzt und rollen gelassen. In mehreren Durchgängen wird ihre Geschwindigkeit bestimmt.

Beobachtung: Die berechnete Geschwindigkeit ist bei Durchgang 1 klein, sie steigt bei kleineren Weg- und Zeitintervallen in Durchgang 3 auf bis zu $25 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ an.

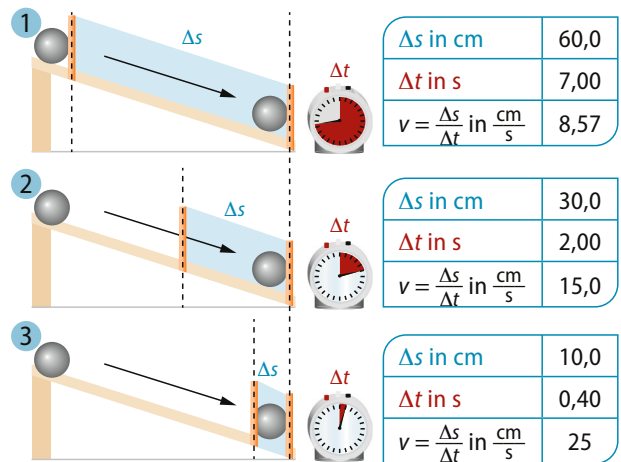


Abb. 2: Rollende Kugel und ihre Geschwindigkeit

V1 zeigt, dass die berechnete Geschwindigkeit kleiner ist als die typische Geschwindigkeit im Straßenverkehr, da diese als **Durchschnittsgeschwindigkeit** auch kleine Geschwindigkeiten beim Anfahren und Bremsen oder im Stau berücksichtigt. Geschwindigkeitsangaben im Alltag, z. B. Maximalgeschwindigkeiten bei Tempolimits, beziehen sich häufig auf die Geschwindigkeiten von Körpern zu einem bestimmten Zeitpunkt. Diese Geschwindigkeiten werden als **Momentangeschwindigkeiten** bezeichnet.



Abb. 3: Geschwindigkeiten zu V2

Abb. 3 zeigt in einem t - v -Diagramm die Momentangeschwindigkeiten (orange) sowie die Durchschnittsgeschwindigkeit (blau) des Fahrstuhls aus V2. In V3 wird die Geschwindigkeit einer auf einer schiefen Ebene rollenden Kugel in mehreren Durchgängen ermittelt. In Durchgang 1 wird die Durchschnittsgeschwindigkeit des gesamten Rollvorgangs und in Durchgang 3 (mit sukzessive kleiner werdendem Abstand der beiden Lichtschranken) die angenäherte Momentangeschwindigkeit am Ende der schiefen Ebene bestimmt.

- Die **Geschwindigkeit** $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ ist die **durchschnittliche Geschwindigkeit** eines bewegten Körpers entlang der Strecke Δs im Zeitintervall Δt .
- Die **Momentangeschwindigkeit** v_M eines Körpers ist die Geschwindigkeit des Körpers zu einem Zeitpunkt t und kann mit $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ angenähert werden, wenn Δs oder Δt in der Umgebung des Messzeitpunkts t sehr klein ist.

Erklärung

Merkwissen

- 1 Die Durchschnittsgeschwindigkeit auf der Wasserrutsche im Escape Park beträgt $4,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, die Rutschenlänge beträgt 1140 m. Ermittle die Dauer einer Fahrt.
- 2 Ein Flugzeug startet und hebt nach 42 s bei einer Geschwindigkeit von $300 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ab. Dabei hat es auf der Startbahn eine Strecke von 2300 m zurückgelegt.
 - a) Berechne die Durchschnittsgeschwindigkeit des Flugzeugs.
 - b) Beschreibe die Momentangeschwindigkeit des Flugzeugs während des Startvorgangs mithilfe eines t - v -Diagramms.
- 3
 - a) Lies aus Abb. 1 die maximale Auf- bzw. Abwärtsgeschwindigkeit des Aufzugs ab.
 - b) Beschreibe die Fahrt des Aufzugs anhand des t - v -Diagramms von Abb. 1. Verwende Begriffe wie „Abwärtsfahrt“, „Bremsbewegung“, ...



Abb. 4: Aufzug

Aufgaben

Einstieg

- Beschreibe die Bewegungszustände und benenne die Unterschiede und Gemeinsamkeiten.



Versuche

Arbeitsblatt zu V1
unter 67030-04



V1 Starte in der App „Beschleunigung (ohne g)“.

- Bewege deine Hand mit dem Smartphone mit unterschiedlicher Stärke.
- Lasse dein Smartphone auf einem Wägelchen frei rollen.

Material
– Smartphone
– App „phyphox“
– Wägelchen

Beobachtung: Bei ruckartigen Bewegungen des Smartphones zeichnet der Sensor verschieden große Beschleunigungen auf. Bei der Bewegung in b) werden (fast) keine Beschleunigungen gemessen.

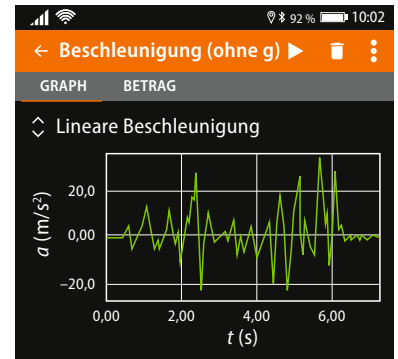


Abb. 1: Bewegung aus dem Handgelenk

- V2** Ein Wagen mit Fähnchen wird von einem fallenden Körper gezogen (Abb. 2). Auf der Fahrbahn werden in gleichen Abständen fünf Lichtschranken platziert und die Eintrittszeit t sowie die Durchgangszeit Δt des Wagens an der Lichtschranke gemessen (Breite des Fähnchens $\Delta s = 2,0$ cm). Die jeweilige Momentangeschwindigkeit v_M des Wagens wird berechnet.

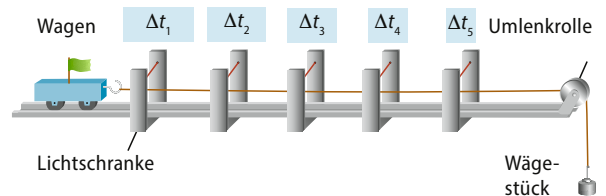


Abb. 2: Bahn mit Wagen

s in m	0,000	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500
t in s	0,000	0,447	0,632	0,775	0,895	0,995
Δt in s	0,000	0,045	0,032	0,026	0,023	0,020
Δs in m	0,000	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
$v_M = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ in $\frac{m}{s}$	–	0,44	0,63	0,77	0,87	1,0

Beobachtung: Je mehr Zeit vergeht, desto größer ist die Momentangeschwindigkeit des Wagens. Bei Verdopplung der Zeit t erhöht sich die Momentangeschwindigkeit v_M auch auf das Doppelte, die zurückgelegte Strecke s erhöht sich auf ungefähr auf das Vierfache.

Grafische Auswertung von V2

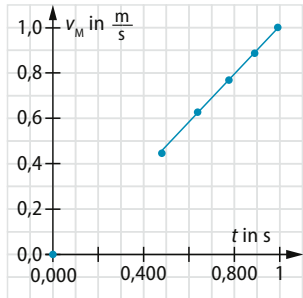


Abb. 3: t - v_M -Diagramm

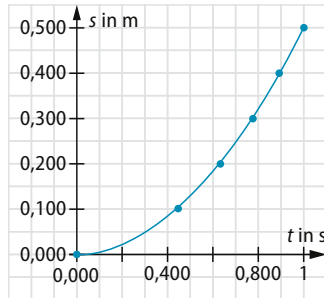


Abb. 4: t - s -Diagramm

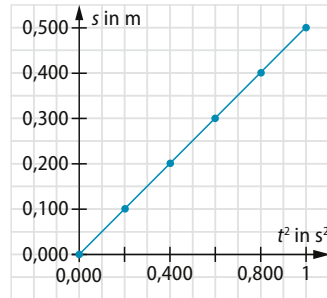


Abb. 5: t^2 - s -Diagramm

Numerische Auswertung von V2

$\frac{v_M}{t}$ in $\frac{m}{s^2}$	–	0,98	1,0	0,99	0,97	1,0
t^2 in s^2	0,000	0,200	0,399	0,601	0,801	0,990
$\frac{s}{t^2}$ in $\frac{m}{s^2}$	–	0,500	0,501	0,499	0,499	0,505

Im Rahmen der Messgenauigkeit gilt: $\frac{v_M}{t} = \text{konst.}$ und $\frac{s}{t^2} = \text{konst.}$

Die Momentangeschwindigkeit v_M ist direkt proportional zur Zeit t : $v_M \sim t$.

Die zurückgelegte Strecke s ist direkt proportional zum Quadrat der Zeit t : $s \sim t^2$

In V1 a) wirken unregelmäßige Kräfte auf das Smartphone, diese rufen unregelmäßige Beschleunigungen des Körpers hervor (Abb. 1). Ohne Änderung des

Bewegungszustandes (V1 b) zeichnet der Sensor keine Beschleunigungen auf. Körper können nur durch äußere Kräfte beschleunigt werden (Abb. 6).

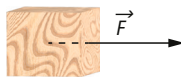


Abb. 6: Der Körper wird durch die Kraft $\vec{F}$ beschleunigt.

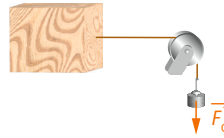


Abb. 7: Der Körper wird durch die Gewichtskraft $\vec{F}_G$ beschleunigt.

6). In V2 wird der Wagen durch die Gewichtskraft des fallenden Körpers beschleunigt (Abb. 7). Da die Krafteinwirkung hier mit zunehmender Zeit konstant bleibt, erhöht sich die Momentangeschwindigkeit gleichmäßig: $v_M \sim t$.

Man spricht in diesen Fällen von einer **gleichmäßig beschleunigten Bewegung**.

Der konstante Quotient $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ einer solchen Bewegung wird als **Beschleunigung a** bezeichnet, er beschreibt die gleichmäßige Veränderung der Momentangeschwindigkeit mit der Zeit: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_M}{t}$.

Umformen ergibt das **Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz**: $v_M = a \cdot t$.

V2 zeigt, dass der zurückgelegte Weg proportional zum Quadrat der Zeit ist: $s \sim t^2$.

Der Wagen beschleunigt mit $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \left(\frac{v_M}{t} \right) = 1,0 \frac{m}{s^2}$.

Ein Verdoppeln des Mittelwerts $\left(\frac{s}{t^2} \right)$ ergibt $2 \cdot \left(\frac{s}{t^2} \right) = 2 \cdot 0,501 \frac{m}{s^2} = 1,002 \frac{m}{s^2} = a$

Umformen der Gleichung nach s ergibt das **Zeit-Weg-Gesetz**: $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$.

Merkwissen

Die angegebenen Formeln beziehen sich nur auf geradlinige, gleichmäßig beschleunigte Bewegungen und nur auf solche, bei denen aus dem Stand beschleunigt oder bis zum Stillstand abgebremst wird.

- Wirkt auf einen Körper eine in Betrag und Richtung **konstante Kraft**, dann wird der Körper **gleichmäßig beschleunigt**, d. h. der Körper erfährt in gleichen Zeitintervallen gleiche Geschwindigkeitsänderungen. Die Momentangeschwindigkeit ist dabei direkt proportional zur Zeit: $v_M \sim t$.
- Für die gleichmäßige Beschleunigung a gilt: $a = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{\Delta t}$ mit $[a] = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- Bei gleichmäßig beschleunigter Bewegung gelten folgende Gesetze:
Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz: $v = a \cdot t$
Zeit-Weg-Gesetz: $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$

Musteraufgabe

Eine negative Beschleunigung stellt eine Bremsbewegung dar. Wenn man von einer Anfangsgeschwindigkeit bis zum Stillstand abbremst, legt man den gleichen Weg zurück, wie wenn man aus dem Stand auf dieselbe Geschwindigkeit (in jeweils derselben Zeit) beschleunigt. Für die Rechnung verwendet man deshalb im einen Fall Betragsstriche, um einen positiven Weg zu erhalten.

- 1 Berechne jeweils die Beschleunigung und die zurückgelegte Weglänge.

- a) Ein Pkw beschleunigt gleichmäßig von $0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ in $4,0 \text{ s}$.
b) Anschließend bremst er in $2,5 \text{ s}$ gleichmäßig bis zum Stillstand ab.

Lösung:

a) geg.: $v_{\text{Anfang}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende}} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}; \Delta t = 4,0 \text{ s}$
 ges.: $a; s$
 Ansatz: $a = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{\Delta t}; s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$
 Rechnung: $a = \frac{50 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{4,0 \text{ s}} = \frac{50 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{4,0 \text{ s}} = \frac{50 \frac{\text{m}}{3,6 \text{ s}}}{4,0 \text{ s}} = 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 $s = \frac{1}{2} \cdot 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (4,0 \text{ s})^2 = 28 \text{ m}$

b) geg.: $v_{\text{Anfang}} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}; v_{\text{Ende}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}; \Delta t = 2,5 \text{ s}$
 ges.: $a; s$
 Ansatz: $a = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{\Delta t}; s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$
 Rechnung: $a = \frac{0 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{2,5 \text{ s}} = \frac{-50 \frac{\text{km}}{\text{h}}}{2,5 \text{ s}} = \frac{-50 \frac{\text{m}}{3,6 \text{ s}}}{2,5 \text{ s}} = -5,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 $s = \frac{1}{2} \cdot \left| -5,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right| \cdot (2,5 \text{ s})^2 = 18 \text{ m}$

Aufgaben

- 1 a) Beschreibe anhand von Alltagssituationen die Änderung des Betrags der Geschwindigkeit eines Körpers bei gleichbleibender Bewegungsrichtung.
 b) Begründe die unterschiedlichen Messwerte für die Beschleunigung bei V1 (Abb. 1) und interpretiere die negativen Werte der Beschleunigung.
- 2 Beschreibe die Bewegungszustände und beurteile anhand von Betrag und Richtung der Kraft, ob es sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung handelt.

a)



b)



c)



- 3 Angegeben ist, wie und in welcher Zeit Fahrzeuge gleichmäßig beschleunigen. Berechne jeweils die Beschleunigung a und die zurückgelegte Weglänge s .
- a) von $0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ in $8,0 \text{ s}$ b) von $0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ in $12,3 \text{ s}$
 c) von $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ auf $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ in $3,5 \text{ s}$ d) von $140 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf $0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ in $7,5 \text{ s}$
- 4 a) Ein Schnellzug erhält aus dem Stillstand eine Beschleunigung von $0,80 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Nach welcher Zeit hat er eine Geschwindigkeit von $140 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ erreicht?
 b) Ein Sportwagen fährt mit einer Geschwindigkeit von $130 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Innerhalb von $4,5 \text{ s}$ kommt der Wagen zum Stillstand. Berechne seine Bremsbeschleunigung.
 c) Ein Sportpilot beschleunigt seinen Rennwagen in $2,75 \text{ s}$ von $0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Anschließend brems er mit einer Beschleunigung von $-12 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ bis zum Stillstand. Berechne jeweils die Längen der zurückgelegten Wege.

Komplexere Bewegungen

Bisher wurden nur „einfache“ Beschleunigungen untersucht, bei denen entweder v_{Anfang} oder v_{Ende} jeweils 0 waren. In der Realität sind viele Bewegungen komplexer, weil beispielsweise ein Auto schon eine Ausgangsgeschwindigkeit v_0 hat und nicht bis zum Stillstand abbremst, oder weil es weiter beschleunigt. Für solche Fälle gleichmäßig beschleunigter Bewegungen werden die Bewegungsgesetze erweitert, sodass auch das Setzen von Beträgen entfällt:

Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz: $v = v_0 + a \cdot t$

Zeit-Weg-Gesetz: $s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$

- Ein Auto bremst innerhalb von $5,0 \text{ s}$ von $135 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ bis zum Stillstand ab. Welchen Weg hat das Auto zurückgelegt? Zeige, dass man mit beiden Ansätzen (1 Mustersaufgabe 1 b) und 2 $s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$) dasselbe Ergebnis erhält.
- Berechne jeweils die Endgeschwindigkeit des Fahrzeugs und seine bis dahin zurückgelegte Wegstrecke mit den obigen Bewegungsgesetzen.
 - Ein Fahrzeug bremst bei einer Geschwindigkeit von $120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ für $2,4 \text{ s}$ mit einer Beschleunigung von $-7,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
 - Ein Fahrzeug beschleunigt bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von $30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ für $2,0 \text{ s}$ mit $a = 4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- Ermittle die Beschleunigung eines Elektroautos, das aus dem Stand nach $3,2 \text{ s}$ eine Geschwindigkeit von $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ erreicht.
 - Das Auto beschleunigt ab $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ für 10 s bis zur Höchstgeschwindigkeit. Berechne diese und den zurückgelegten Weg.
 - Berechne die Länge des Anhaltewegs, wenn das Auto von $160 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ mit $a = -8,50 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ bis zum Stillstand bremst und der Fahrer zuvor eine Reaktionszeit von $1,0 \text{ s}$ hatte.

Alltag



Abb. 8: Elektroauto

Einstieg

In einem Freizeitpark soll ein Fallturm gebaut werden.

- Wie hoch muss der Turm gebaut werden, damit die Fahrgäste einen freien Fall von fünf Sekunden erleben können?



Versuche

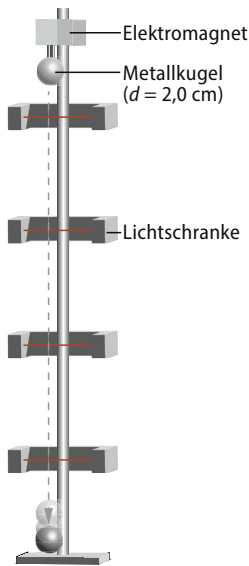


Abb. 1: Fallturm

V1 Ein Eisenstück und eine Feder werden aus gleicher Höhe fallen gelassen. Der Versuch wird im Vakuum wiederholt.

Beobachtung: Das Eisenstück fällt schneller zu Boden als die Feder. Wird der Versuch im Vakuum wiederholt, dann fallen die beiden Körper gleich schnell.

V2 An einem Fallturm werden Lichtschranken in gleichen Abständen und am oberen Ende ein Elektromagnet platziert (Abb. 1). Nun werden jeweils die Eintrittszeit t sowie die Durchgangszeit Δt der fallenden Eisenkugel mit einem Durchmesser von $d = 2,0$ cm an den Lichtschranken gemessen und die Momentangeschwindigkeiten der Eisenkugel $v_M = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ berechnet. Die Strecke Δs entspricht dem Durchmesser der Eisenkugel.

s in m	0,000	0,050	0,100	0,150	0,200
t in s	0,000	0,102	0,144	0,174	0,204
Δs in m	–	0,020	0,020	0,020	0,020
Δt in s	–	0,020	0,014	0,012	0,010
$v_M = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ in $\frac{m}{s}$	–	1,0	1,4	1,7	2,0

Beobachtung: Bei Verdopplung der Zeit t erhöht sich die Momentangeschwindigkeit v_M auf das Doppelte und die zurückgelegte Strecke auf ungefähr das Vierfache.

Erklärung

Grafische und numerische Auswertung

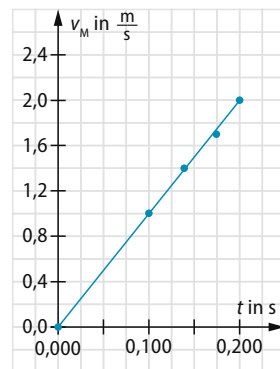


Abb. 2: t - v_M -Diagramm

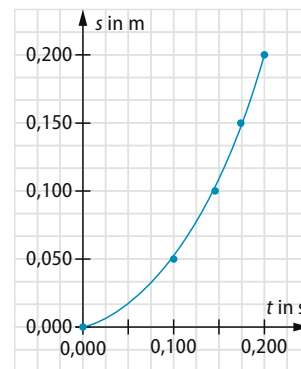


Abb. 3: t - s -Diagramm

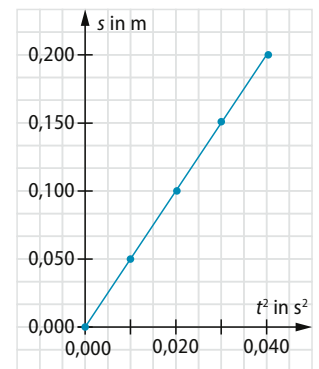


Abb. 4: t^2 - s -Diagramm

t^2 in s^2	0,000	0,0104	0,0207	0,0303	0,0416
s in m	0,000	0,050	0,100	0,150	0,200
$\frac{s}{t^2}$ in $\frac{m}{s^2}$	–	4,8	4,83	4,95	4,81
$\frac{v_M}{t}$ in $\frac{m}{s^2}$	–	9,8	9,7	9,8	9,8

Im Rahmen der Messgenauigkeit gilt: $\frac{s}{t^2} = \text{konst.}$ und $\frac{v_M}{t} = \text{konst.}$

$$\overline{\left(\frac{s}{t^2}\right)} = \left(\frac{4,8 + 4,83 + 4,95 + 4,81}{4}\right) \frac{m}{s^2} = 4,8 \frac{m}{s^2} \quad \overline{\left(\frac{v_M}{t}\right)} = \left(\frac{9,8 + 9,7 + 9,8 + 9,8}{4}\right) \frac{m}{s^2} = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

V1 zeigt, dass im Vakuum alle Körper unter der Wirkung der Gewichtskraft gleich schnell fallen. Wir bezeichnen diese Bewegung als **freien Fall**. Da die Gewichtskraft konstant ist, ist der freie Fall eine **gleichmäßig beschleunigte Bewegung** ($v_M \sim t$).

Die Kugel beschleunigt mit $a = \overline{\left(\frac{v_M}{t}\right)} = 9,8 \frac{m}{s^2}$, also dem Ortsfaktor g auf der Erde.

Bestimmt man den Ortsfaktor mit einer Feder, nutzt man die Schwere eines Körpers.

Weil in unserem Versuch aber die Trägheit des beschleunigten Körpers eine Rolle spielt, erhalten wir die Einheit $1 \frac{m}{s^2}$ für den Ortsfaktor. Damit folgen für den freien Fall das Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz: $v_M = g \cdot t$ und das Zeit-Weg-Gesetz: $s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$.

Unterschiedliche Fallbeschleunigungen im Alltag resultieren aus den verschiedenen großen Luftwiderständen, die die Körper aufgrund ihrer unterschiedlichen Oberflächen hervorrufen. Bei einfachen Fallexperimenten kann bei kurzen Fallzeiten aufgrund der geringen Fallgeschwindigkeiten der Luftwiderstand vernachlässigt werden.

- Der **freie Fall** ist eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung unter der Wirkung der konstanten Gewichtskraft.
- Diese für alle Körper gleiche Fallbeschleunigung beträgt im Vakuum **9,81 $\frac{m}{s^2}$** und entspricht dem Ortsfaktor g .
- Für den freien Fall gelten: $v = g \cdot t$ und $s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$.

Merkwissen

- Ein Stein wird von einem hohen Turm fallen gelassen.
 - Benenne und begründe die Art der Bewegung.
 - Berechne die Fallgeschwindigkeit und Fallhöhe des Steins nach 2,0 s.
 - Bestimme die Fallzeit, nach der eine Fallgeschwindigkeit von $30 \frac{m}{s}$ erreicht ist.
 - Nach welcher Zeit und mit welcher Geschwindigkeit trifft der Stein auf den Boden, wenn der Turm 100 m hoch ist?
- Ein Sportler springt von einem 10-m-Brett ins Wasser.
 - Bestimme den Zeitpunkt, an dem er in das Wasser eintaucht, und die Eintauchgeschwindigkeit.
 - Im Wasser bremst der Sportler die Eintauchgeschwindigkeit innerhalb von 4 m auf $0 \frac{m}{s}$ ab. Berechne die Bremsdauer und vergleiche die Bremsbeschleunigung mit der Fallbeschleunigung.
 - Wie tief taucht der Sportler in das Wasser ein, wenn er den Sprung von einem 5-m-Brett wiederholt?

Aufgaben

Einstieg

Passagierflugzeuge mit Strahltrieb benötigen häufig eine Startbahnlänge von 2500 m. Für Interkontinentalflüge und große Flugzeuge müssen die Startbahnen länger sein.

- Finde Gründe für die unterschiedlichen Startbahnlängen.



Versuche

Arbeitsblatt zu V1
unter 67030-05



- V1** Öffne auf deinem Smartphone die App „phyphox“ und starte „Beschleunigung (ohne g)“. Beschleunige dein Smartphone mehrmals mit zunehmender Stärke aus dem Handgelenk (Abb. 1).

Material
– Smartphone
– App „phyphox“

Beobachtung: Die Beschleunigung des Körpers nimmt schrittweise zu (Abb. 2).

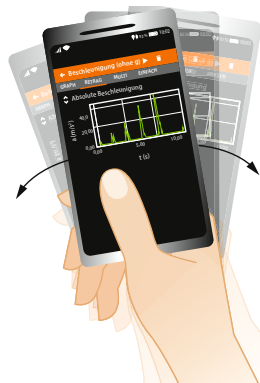


Abb. 1: Bewegung aus dem Handgelenk

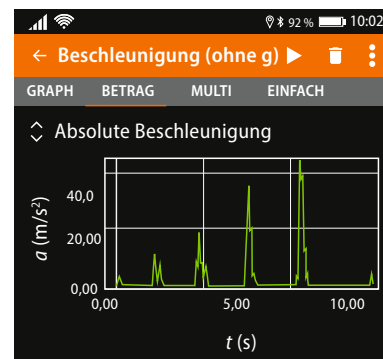


Abb. 2: Beschleunigungen

- V2** Ein Wagen soll auf einer Fahrbahn mit $l = 1,00$ m über eine Umlenkrolle von Wägestücken beschleunigt werden. Von insgesamt acht Wägestücken mit jeweils $m = 100$ g werden beim ersten Durchgang sieben Wägestücke auf dem Wagen und ein Wägestück zur Beschleunigung platziert. Mit Lichtschranken wird die Momentangeschwindigkeit des Wagens im Abschnitt Δs gemessen. Nach jedem Durchgang wird ein Wägestück vom Wagen genommen und angehängt.

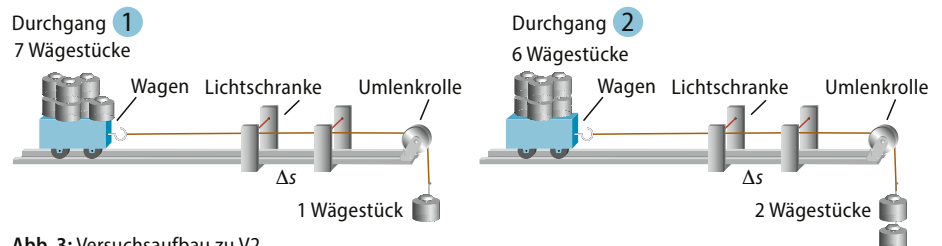


Abb. 3: Versuchsaufbau zu V2

Durchgang	1	2	3	4	5
m_{Zug} in kg	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500
$F_{\text{Zug}} = m_{\text{Zug}} \cdot g$ in N	0,981	1,96	2,94	3,92	4,91
t in s	1,27	0,89	0,73	0,64	0,57
v_M in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	1,57	2,21	2,71	3,13	3,50
$a = \frac{v_M}{t}$ in $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	1,23	2,5	3,7	4,9	6,1

Beobachtung: Je größer die Zugkraft, desto größer ist die Beschleunigung. Bei Verdopplung (Verdreifachung, ...) der Zugkraft erhöht sich die Beschleunigung auf das Doppelte (Dreifache, ...). Die gesamte beschleunigte Masse $m_{\text{gesamt}} = 800 \text{ g}$ aus der Summe der acht Wägestücke bleibt konstant.

$\frac{a}{F_{\text{Zug}}} \text{ in } \frac{\text{m}}{\text{s}^2 \cdot \text{N}}$	1,25	1,3	1,3	1,3	1,2
---	------	-----	-----	-----	-----

Im Rahmen der Messgenauigkeit gilt: $\frac{a}{F_{\text{Zug}}} = \text{konst.}$

Mit $m_{\text{gesamt}} = \text{konst.}$ liegt eine direkte Proportionalität zwischen a und F_{Zug} vor.

Als Mittelwert erhält man: $\left(\frac{a}{F_{\text{Zug}}}\right) = \frac{1,25 + 1,3 + 1,3 + 1,3 + 1,2}{5} \frac{\text{m}}{\text{Ns}^2} = 1,3 \frac{\text{m}}{\text{Ns}^2}$

V1 zeigt, dass mit zunehmender Zugkraft auf einen Körper auch die Beschleunigung des Körpers zunimmt (solange keine Verformung auftritt). In V2 wurde der aus allen acht Wägestücken zusammengesetzte Körper ($m_{\text{gesamt, grün}}$) nach jedem Durchgang mit zunehmender Zugkraft der Wägestücke (orange) beschleunigt (Abb. 4). Da die zusätzlichen Wägestücke dem Wagen (blau) entnommen wurden, hat sich die Gesamtmasse des beschleunigten Körpers (grün) nicht verändert (Wagen und Schnüre sind nahezu masselos).

Erklärung

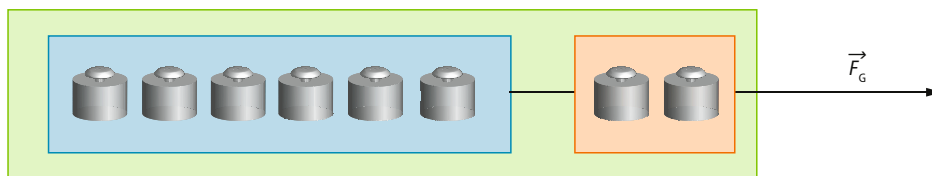


Abb. 4: Der Gesamtkörper (grün) wird durch die Gewichtskraft seines Teilkörpers (orange) beschleunigt.

Der Kehrwert der Konstanten $\left(\frac{a}{F_{\text{Zug}}}\right)$ ergibt den Betrag $\frac{F_{\text{Zug}}}{a} = 0,77 \frac{\text{Ns}^2}{\text{m}}$. Im Rahmen der Messgenauigkeit entspricht das der konstanten Gesamtmasse des beschleunigten Körpers von $m_{\text{gesamt}} = 800 \text{ g} = 0,800 \text{ kg}$. Weitere Versuche bestätigen diese Vermutung $\frac{F_{\text{Zug}}}{a} = m$. Umgeformt ergibt sich die **Grundgleichung der Mechanik:** $F = m \cdot a$ mit der Einheit: $[F] = 1 [m] \cdot [a] = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Merkwissen

- Die Beschleunigung eines Körpers ist proportional zur einwirkenden Kraft.
- Grundgleichung der Mechanik** (für $m = \text{konst.}$): $F = m \cdot a$ mit $[F] = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$.
Um einen Körper der Masse m mit einer Beschleunigung vom Betrag a zu beschleunigen, ist eine Kraft mit dem Betrag $F = m \cdot a$ erforderlich.

Musteraufgaben

- 1 Ein Airbus A380 (Gesamtmasse ohne Treibstoff 360 t) mit vier Triebwerken beschleunigt auf einer Startbahn gleichmäßig mit $2,28 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Ein Triebwerk liefert dabei einen Schub von 320 kN. Die beiden inneren Triebwerke des Airbus A380 besitzen eine Schubumkehr, die bei einem Abbremsvorgang die Richtung des Schubs um 180° dreht. Betrachte im Folgenden die Gesamtmasse während des Starts und der Landung als konstant.
- a) Berechne die Masse des Treibstoffs.
- b) Berechne die Beschleunigung des



Abb. 5: Airbus A380



Abb. 6: Triebwerk in Schubumkehr

- Flugzeugs beim Abbremsen. Gehe davon aus, dass noch 20,0 % des Treibstoffs an Bord sind und die inneren Triebwerke volle Schubumkehr liefern.

Lösung:

a) geg.: $a = 2,28 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; $F_{\text{Schub}} = 320 \text{ kN}$; $m_{\text{leer}} = 360 \text{ t}$

ges: $m_{\text{Treibstoff}}$

Ansatz: $F = m \cdot a \quad | : a$

$$m_{\text{ges}} = m_{\text{leer}} + m_{\text{Treibstoff}}$$

Rechnung: $F_{\text{ges}} = 4 \cdot F_{\text{Schub}} = 4 \cdot 320 \text{ kN} = 1280 \text{ kN}$

$$m_{\text{ges}} = \frac{F_{\text{ges}}}{a} = \frac{1280 \text{ kN}}{2,28 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{1280 \cdot 10^3 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}}{2,28 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 561 \cdot 10^3 \text{ kg} = 561 \text{ t}$$

$$m_{\text{Treibstoff}} = m_{\text{ges}} - m_{\text{leer}} = 561 \text{ t} - 360 \text{ t} = 201 \text{ t}$$

b) geg.: $m_{\text{Treibstoff}} : m_{\text{Treibstoff, ges}} = 0,200$; $m_{\text{Treibstoff}} = 201 \text{ t}$; $F_{\text{Schub}} = 320 \text{ kN}$

ges.: a

Ansatz: $F = m \cdot a \quad | : m$

Rechnung: $m_{\text{ges}} = m_{\text{leer}} + m_{\text{Treibstoff}}$

$$m_{\text{ges}} = m_{\text{leer}} + 0,200 \cdot m_{\text{Treibstoff, ges}}$$

$$m_{\text{ges}} = 360 \text{ t} + 0,200 \cdot 201 \text{ t} = 400 \text{ t}$$

$$F_{\text{ges}} = 2 \cdot 320 \text{ kN} = 640 \text{ kN}$$

$$a = \frac{F_{\text{ges}}}{m_{\text{ges}}} = \frac{640 \text{ kN}}{400 \text{ t}} = \frac{640 \cdot 10^3 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}}{400 \cdot 10^3 \text{ kg}} = 1,60 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Da die Beschleunigung entgegen der Bewegungsrichtung erfolgt, gilt:

$$a = -1,60 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

1 Beschreibe einen Versuch zur Messung der Masse eines Körpers ohne Waage.

2 Welche Kraft benötigt eine Sportlerin ($m = 55 \text{ kg}$), um beim Start eines 100-m-Laufs mit $4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ gleichmäßig zu beschleunigen?



Abb. 7: Beschleunigung am Start

3 Astronauten erfahren zu Beginn eines Raketenstarts eine bis zu vierfache Fallbeschleunigung. Berechne die Kraft, mit der ein Astronaut der Masse 70 kg beim Beginn des Raketenstarts in den Sitz gepresst wird.

4 Beim Curling beschleunigen sich die Spieler gemeinsam mit ihren Curlingsteinen, um diese geschickt auf einer Zielscheibe auf der Eisfläche zu platzieren. Martin ($m = 50 \text{ kg}$) beschleunigt sich und seinen Curl mit $0,50 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ und wendet dabei eine Kraft von 34 N auf. Berechne die Masse des Curls.



Abb. 8: Curl und Spieler

5 Geländelimosinen besitzen deutlich größere Massen als durchschnittliche Pkws.

- Begründe physikalisch den erhöhten Spritverbrauch.
- Berechne die Masse eines SUV ($F_{\text{Antrieb}} = 10,2 \text{ kN}$), das bei gleichmäßiger Beschleunigung nach $6,0 \text{ Sekunden}$ eine Geschwindigkeit von $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ erreicht.
- Berechne die notwendige Antriebskraft eines Pkws der Masse $1,500 \text{ t}$, um mit gleicher Beschleunigung wie in b) zu starten.
- Recherchiere weitere Gründe für den erhöhten Spritverbrauch der SUV.

6 Lui liest in einer Statistik: „Ein Gepard beschleunigt von $0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ in $3,0 \text{ Sekunden}$. Um einen Körper so stark zu beschleunigen, wird eine Kraft von 470 N benötigt.“

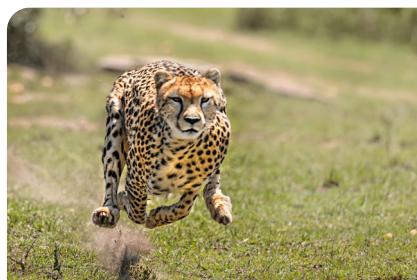


Abb. 9: Gepard

Daraufhin meint Lui erstaunt: „Das ist ja wie beim Fall von einem Sprungturm“.

- Bestätige oder widerlege Luis Aussage durch Rechnung.
- Berechne die Gewichtskraft des Gepards aus der Statistik.
- Ein Gepard erreicht Spitzengeschwindigkeiten von $110 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Wie hoch muss ein Sprungturm sein, damit ein Mensch dieselbe Geschwindigkeit im freien Fall erreicht?

Einstieg

Skispringer haben eine geringe Masse. Um dem Vorwurf des Magerwahns unter den Sportlern entgegenzuwirken, wurde eine Untergrenze des Body-Mass-Index (BMI) der Springer festgelegt. Nur mit einem entsprechend festgelegten BMI dürfen die Springer bei den Wettkämpfen die volle Skilänge ausnutzen. Am Ende der Schanze erreichen die Springer Geschwindigkeiten von $90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.



- Welche Energieumwandlung findet beim Herunterfahren statt?
- Welche Rolle spielen die Masse und die Geschwindigkeit beim Skispringen?

Versuche

Arbeitsblatt zu V1
unter 67030-06



V1 Ein Wagen fährt aus einer bestimmten Höhe eine Rampe herunter und verschiebt anschließend einen Holzklotz.

a) Erhöhe mithilfe von Massestücken die Masse des Wagens und wiederhole den Versuch.

Beobachtung: Bei größerer Masse wird der Holzklotz weiter verschoben als zuvor.

b) Erhöhe die Geschwindigkeit, indem du die Starthöhe vergrößerst.

Beobachtung: Auch bei erhöhter Geschwindigkeit wird der Holzklotz weiter verschoben.

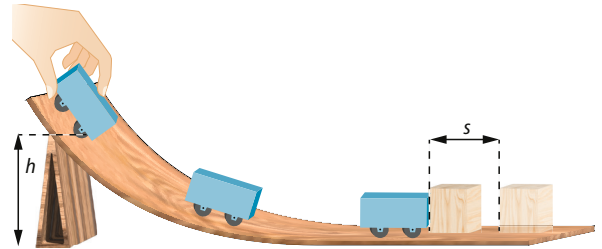


Abb. 1: Wagen auf der Rampe

Material
– Rampe
– Experimentierwagen
– Massestücke
– Holzklotz

V2 Der Versuchswagen der Masse $m = 0,15 \text{ kg}$ fährt erneut aus verschiedenen Höhen eine Rampe hinunter. Am Ende der Rampe wird seine Geschwindigkeit mithilfe einer Lichtschranke gemessen.

h in cm	5	10	20	40
v in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	1,0	1,4	2,0	2,8

Beobachtung: Die Geschwindigkeit nimmt mit größer werdender Höhe zu.

Erklärung

In V1 a) wandelt der Wagen während des Herunterfahrens potenzielle Energie in kinetische Energie um. Mithilfe dieser Energie ist er in der Lage, Arbeit am Holzklotz zu verrichten. Aufgrund des Energieerhaltungssatzes ist die Arbeit auch gleich der potenziellen Energie des Wagens am Startpunkt, da die Reibung in diesem Fall vernachlässigt werden kann. Die verrichtete Arbeit und die kinetische Energie sind umso größer, je größer die Masse (V1 a) bzw. die Geschwindigkeit (V1 b) des Wagens ist.

Mithilfe der Messreihe aus V2 wird der Zusammenhang zwischen der kinetischen Energie und der Geschwindigkeit des Körpers untersucht. Dazu wird mit der Masse m und der Höhe h die jeweilige potenzielle Energie des Wagens an den verschiedenen Startpunkten und folglich auch seine jeweilige kinetische Energie bestimmt. Bestimmt man das Quadrat der Geschwindigkeit, so zeigt sich: $E_{\text{kin}} \sim v^2$

$E_{\text{pot}} = E_{\text{kin}} \text{ in J}$	0,07	0,15	0,29	0,59
$v^2 \text{ in } \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$	1,0	2,0	4,0	7,8
$\frac{E_{\text{kin}}}{v^2} \text{ in } \frac{\text{J}}{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}$	0,07	0,075	0,073	0,076

Für den Zusammenhang zwischen der kinetischen Energie und der Masse benötigt man wieder den **Energieerhaltungssatz**. Da die Masse direkt proportional zur potenziellen Energie ist, ist sie auch direkt proportional zur kinetischen Energie: $E_{\text{kin}} \sim m$. $E_{\text{kin}} \sim v^2$ und $E_{\text{kin}} \sim m$ lassen sich durch Multiplikation zusammenfassen: $E_{\text{kin}} \sim m \cdot v^2$. Die genaue Auswertung der Messreihe ergibt für den Proportionalitätsfaktor 0,5. Entsprechend folgt für die kinetische Energie:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \text{ mit } [E_{\text{kin}}] = [m] \cdot [v]^2 = 1 \text{ kg} \cdot 1 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$$

- Die **kinetische Energie** eines Körpers ist direkt proportional zu seiner Masse und zum Quadrat seiner Geschwindigkeit: $E_{\text{kin}} \sim m$ und $E_{\text{kin}} \sim v^2$.
- $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ mit $[E_{\text{kin}}] = 1 \text{ J (Joule)}$

Merkwissen

Musteraufgabe

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

Lösung:

geg.: $m = 80 \text{ kg}; v = 101 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

ges.: E_{kin}

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

Rechnung: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot 80 \text{ kg} \cdot \left(101 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot 80 \text{ kg} \cdot \left(28,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 32 \cdot 10^3 \text{ J} = 32 \text{ kJ}$

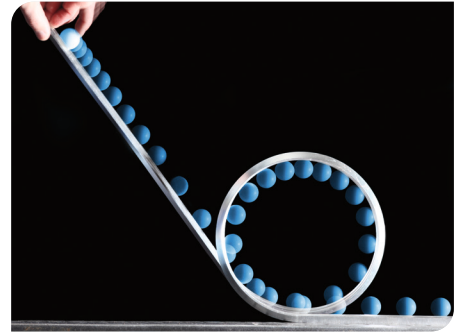
Aufgaben

- Bestätige rechnerisch mithilfe der Werte aus V2 den Proportionalitätsfaktor 0,5.
- Im August 2009 stellte Usain Bolt ($m = 95 \text{ kg}$) die aktuelle Weltrekordzeit im 100-Meter-Lauf auf. Vergleiche seine kinetische Energie mit der, die du während des Radfahrens erreichst.
- Bestimme die Geschwindigkeit einer Rakete mit der Masse 8,0 t und einer kinetischen Energie von 12 GJ.

Einstieg

Mit einer Kugelbahn kann man tolle Experimente machen, denn ab einer bestimmten Höhe schafft es die Kugel durch den Looping.

- Beschreibe die Geschwindigkeit der Kugel im tiefsten Punkt der Bahn.
- Spielt die Masse der Kugel für das Gelingen des Experiments eine Rolle?



Versuche

V1 a) Ein Versuchswagen der Masse $m = 0,15 \text{ kg}$ wird aus verschiedenen Höhen eine Rampe hinunterfahren gelassen. Am Ende der Rampe wird mithilfe einer Lichtschranke seine Geschwindigkeit gemessen.

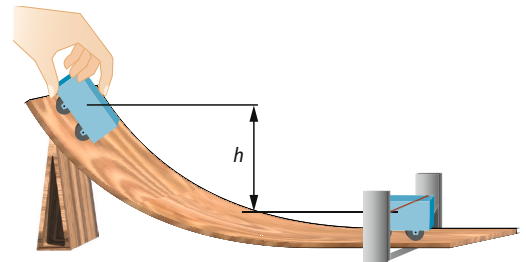


Abb. 1: Versuchsaufbau zu V1

h in cm	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
v in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	0,9	1,1	1,3	1,4	1,5

Beobachtung: Die Geschwindigkeit nimmt mit größer werdender Höhe zu.

b) V1 a) wird mehrere Male wiederholt und dabei jeweils die Masse des Wagens erhöht.

Beobachtung: Die Geschwindigkeit ist im Rahmen der Messgenauigkeit bei einer bestimmten Höhe für jede Masse gleich groß.

Erklärung

Je größer die zu Beginn von V1 a) im Wagen gespeicherte potenzielle Energie ist, desto höher ist auch die kinetische Energie nach der Umwandlung. Begründet wird dies durch den Energieerhaltungssatz, der besagt, dass die gesamte Energie umgewandelt wird. V1 b) zeigt, dass die Energieumwandlung und damit die Geschwindigkeit des Körpers unabhängig ist von der Masse des beteiligten Körpers.

Unter der Annahme, dass die gesamte potenzielle Energie in kinetische Energie umgewandelt wird (Abb. 2 unten), kann aus dem Energieerhaltungssatz die Geschwindigkeit eines Körpers wie folgt berechnet werden:

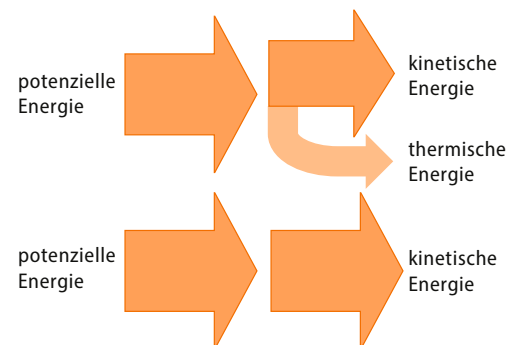


Abb. 2: Energieflussdiagramm mit Reibung (oben) und ohne Reibung (unten)

$$E_{\text{kin}} = E_{\text{pot}}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h \quad | : m \quad | \cdot 2$$

$$v^2 = 2 \cdot g \cdot h \quad | \sqrt{}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Folglich ist im Falle der vollständigen Energieumwandlung von potenzieller in kinetische Energie des Wagens die Geschwindigkeit des Wagens ausschließlich vom Ortsfaktor und der Starthöhe abhängig und insbesondere unabhängig von seiner Masse.

- Bei der vollständigen (reibungsfreien) Umwandlung potenzieller Energie in kinetische Energie folgt aus dem **Energieerhaltungssatz**:

$$E_{\text{pot}} = E_{\text{kin}}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Die Geschwindigkeit ist unabhängig von der Masse des Körpers.

Merkwissen

- Ermittle die Geschwindigkeit eines Wagens am Ende einer 5,0 m hohen Rampe unter der Annahme, dass die gesamte potenzielle Energie in kinetische Energie umgewandelt wird

Lösung:

geg.: $h = 5,0 \text{ m}$

ges.: v

Ansatz: $E_{\text{vorher}} = E_{\text{nachher}}$ bzw. $E_{\text{pot}} = E_{\text{kin}}$

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad | : m \quad | \cdot 2$$

$$v^2 = 2 \cdot g \cdot h \quad | \sqrt{}$$

Rechnung: $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5,0 \text{ m}} = 9,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

- Ein Pfeil wird mit einer Energie von 50 J in einem Bogen gespannt. Nach dem Abschuss erreicht der Pfeil eine durchschnittliche Geschwindigkeit von $22,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Berechne die Masse des Pfeils, wenn die Spannenergie vollständig in kinetische Energie umgewandelt wird.

Lösung:

geg.: $E_{\text{Spann}} = 50 \text{ J}; v = 22,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

ges.: m

Ansatz: $E_{\text{vorher}} = E_{\text{nachher}}$ bzw. $E_{\text{Spann}} = E_{\text{kin}}$

$$E_{\text{Spann}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad | \cdot 2 \quad | : v^2$$

Rechnung: $m = \frac{2 \cdot E_{\text{Spann}}}{v^2} = \frac{2 \cdot 50 \text{ J}}{(22,4 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2} = 0,20 \text{ kg}$



Abb. 3: Pfeil und Bogen

Musteraufgaben

Aufgaben

- 1 Erkläre die Energieumwandlungen bzw. die Energieerhaltung in den folgenden Situationen, einmal mit Energieentwertung und einmal ohne.

a)



Abb. 4: Den Berg hinunter

b)



Abb. 5: Die Straße entlang

c)



Abb. 6: Durch die Luft

- 2 Während eines Seifenkistenrennens legt Emma (60 kg) mit ihrem Wagen (12 kg) bergab einen Höhenunterschied von 44 m zurück.

- Ermittle die Geschwindigkeit des Wagens am Ende der 800 m langen Bahn, wenn man annimmt, dass die gesamte potenzielle Energie in kinetische Energie umgewandelt wird.
- Begründe, warum Emma in Wirklichkeit kaum die in a) berechnete Geschwindigkeit erreicht haben dürfte.

- 3 Ein Apfel und eine Daunenfeder unterschiedlicher Massen werden zeitgleich fallen gelassen.

- Erkläre, warum der Apfel früher den Boden berührt.
- Der Versuch wird in einer großen Vakuumkammer wiederholt. Apfel und Feder berühren nach dem Fall zeitgleich den Boden. Erkläre.
- Im Fall b) wandeln beide Körper ihre potenzielle Energie in kinetische Energie um. Zeige mithilfe der Größengleichungen, dass der freie Fall im Vakuum unabhängig von den Massen der Körper ist.

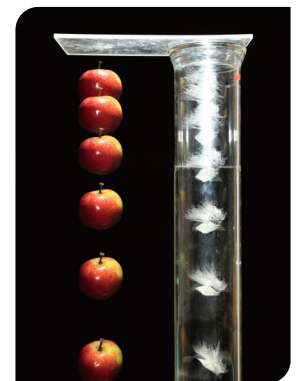


Abb. 7: Apfel und Feder im Vakuum

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

- 5 Ein Gummiball erreicht, wenn man ihn frei fallen lässt, anschließend wieder 80 % der ursprünglichen Höhe, bevor er erneut fällt.

- Nimm Stellung zu der Behauptung, dass der Ball bei jedem Fall 20 % seiner Geschwindigkeit verliert.
- Berechne nach 5-maligem Fallen den Anteil der „verlorenen“ Energie.

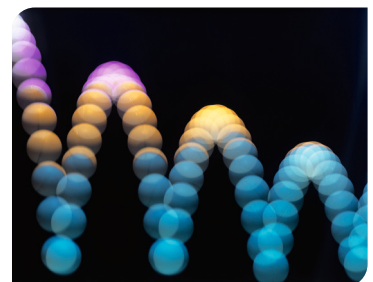


Abb. 8: Gummiball

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

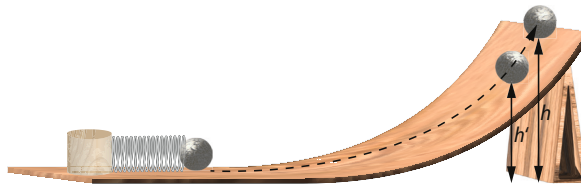


Abb. 9: Kugel auf der Bahn nach oben

- Beschreibe die Energieumwandlungen, die bei diesem Versuch auftreten.
- Erstelle die Energiebilanz der Kugel am unteren Ende der Rampe sowie an ihrem höchsten Punkt.
- Berechne die Geschwindigkeit der Kugel, nachdem sie die Feder verlassen hat.
- Berechne die maximale Höhe h , die die Kugel erreicht.
- Berechne die kinetische und die potenzielle Energie der Kugel für $h' = 80 \text{ cm}$.

Energiebilanz eines Trampolinsprungs

Beim Trampolinsprung hat die Springerin am tiefsten Punkt weder kinetische noch potenzielle Energie (wenn wir das Bezugsniveau in diesen Punkt legen). Die Gesamtenergie der Springerin im tiefsten Punkt entspricht der Spannenergie des Trampolins. Am höchsten Punkt dagegen wurde die Spannenergie vollständig in potenzielle Energie umgewandelt (wobei wir hier die Reibung vernachlässigen). Auf halber Höhe hat die Springerin sowohl kinetische als auch potenzielle Energie. Aufgrund der Energieerhaltung muss die Summe dieser beiden Energien so groß sein wie die Spannenergie am Anfang. Die Energiebilanz zu diesem Zeitpunkt sieht also wie folgt aus:

$$E_{\text{kin, halbe Höhe}} + E_{\text{pot, halbe Höhe}} = E_{\text{Spann, Anfang}}$$

- Begründe, dass es günstig ist, die Position der Trampolinspringerin am tiefsten Punkt des Sprungs als Nullpunkt der potenziellen Energie festzulegen.
- Ein Trampolinspringer hat eine Masse von 50 kg, das Trampolin eine Spannenergie von 1,4 kJ. Berechne die Sprunghöhe.
- Abb. 11 zeigt die Beträge der einzelnen Energiearten in Abhängigkeit von der Höhe des Springers. Erläutere die Energieumwandlungen und erkläre, dass die Gesamtenergie während des Sprungs konstant ist.

Alltag



Abb. 10: Trampolinspringerin am tiefsten und am höchsten Punkt des Sprungs und auf halber Höhe

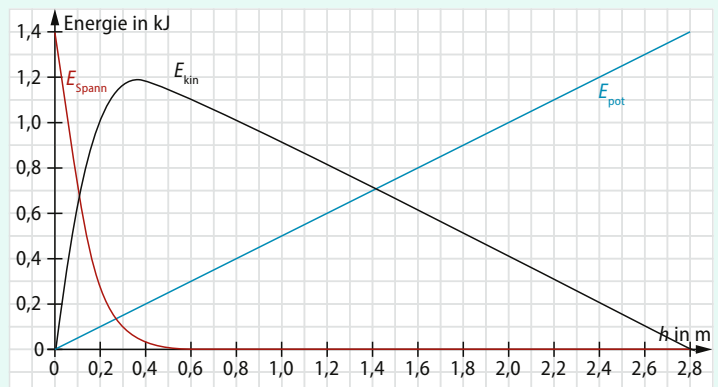


Abb. 11: Energieumwandlungen am Trampolin

Reaktionszeit und Reaktionsweg



Abb. 1: Ablenkung beim Autofahren

Bevor ein Auto effektiv bremst, nachdem dessen Fahrer eine Gefahrensituation erkannt hat, vergehen in der Regel 1,0 s. Während dieser sogenannten Reaktionszeit fährt das Auto ungebremst mit gleichbleibender Geschwindigkeit weiter und legt dabei eine Strecke zurück, die man als Reaktionsweg bezeichnet.

- Berechne den Reaktionsweg bei einer Geschwindigkeit von $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
- Die oben genannten 1,0 s Reaktionszeit setzen sich aus verschiedenen Phasen zusammen. Recherchiere und berichte.
- Nenne Faktoren, welche sich negativ auf die Reaktionszeit auswirken. Recherchiere gegebenenfalls.

Eine der häufigsten Unfallursachen beim Autofahren ist Ablenkung, denn zum Reaktionsweg kommt noch der Weg hinzu, den das Auto zurücklegt, während der Fahrer abgelenkt ist.

- Recherchiere die häufigsten Ablenkungsgründe beim Autofahren und bewerte sie.
- Angenommen, der Fahrer eines Fahrzeugs, das mit $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ unterwegs ist, ist für 2,0 s abgelenkt. Berechne die zurückgelegte Wegstrecke.
- Recherchiere weitere mögliche Unfallursachen im Straßenverkehr und überlege dir Gegenmaßnahmen.

Bremsweg und Anhalteweg

Bis ein Fahrzeug vollständig zum Stillstand kommt, legt es den sogenannten Anhalteweg (Abb. 2) zurück. Dieser setzt sich aus dem Reaktionsweg und dem Bremsweg zusammen. Dessen Länge ist abhängig von der Qualität der Bremsen, von der Haftung der Reifen auf der Straße und natürlich (wie der Reaktionsweg) von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs.

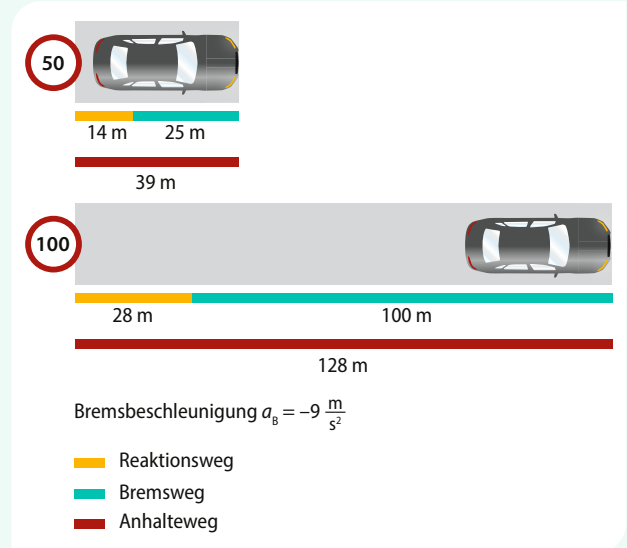


Abb. 2: Anhalteweg eines Fahrzeugs bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten

Für die Länge des Bremswegs gilt die Faustformel:

$$s_{\text{Bremsweg}} = \frac{\left(\text{Geschwindigkeit in } \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2}{100} \text{ m}$$

Bei einer Geschwindigkeit von $v = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ beträgt der Bremsweg somit:

$$s_{\text{Bremsweg}} = \frac{50^2}{100} \text{ m} = \frac{2500}{100} \text{ m} = 25 \text{ m}$$

- Benenne Einflussfaktoren, die sich negativ auf die Haftung der Reifen auf der Straße auswirken. Wie sollte man sich in diesen Fällen verhalten?
- Abb. 2 zeigt, dass sich der Bremsweg bei doppelter Geschwindigkeit ungefähr vervierfacht. Begründe dies anhand der obigen Formel.
- Berechne mithilfe der Formel die Länge des Brems- und Anhaltewegs eines Autos bei einer Geschwindigkeit von $25 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, $180 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Sicherheitsabstand und Verkehrszonen



Abb. 3: Fehlender Sicherheitsabstand

Eine häufige Unfallursache im Straßenverkehr ist zu dichtes Auffahren. Ist der Abstand zum nächsten Fahrzeug zu gering, reicht selbst eine Vollbremsung nicht aus, um eine Kollision zu verhindern. Die Faustregel für den Mindestabstand lautet „halber Tacho“. Dies bedeutet, dass als Abstand die Maßzahl der aktuellen Geschwindigkeit (in $\frac{\text{km}}{\text{h}}$) halbiert wird. Der errechnete Wert gibt dann in Metern an, wie viel Abstand eingehalten werden sollte.

- Begründe, warum der Abstand der Fahrzeuge in Abb. 3 nicht ausreicht.
- Gemäß der Faustformel genügt bei einer Geschwindigkeit von $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ein Abstand von 50 m zum vorausfahrenden Fahrzeug, was erheblich weniger ist als der Anhalteweg. Begründe.
- Die Leitpfosten entlang von Straßen können beim Abschätzen von Abständen helfen. Recherchiere, in welchen Abständen sie jeweils auf Autobahnen bzw. Landstraßen positioniert werden.
- Begründe, warum unterschiedliche Geschwindigkeitsbegrenzungen in unterschiedlichen Verkehrsbereichen sinnvoll sind.
- Welche Auswirkungen haben Geschwindigkeitsbegrenzungen im Hinblick auf das „Fassungsvermögen“ einer Straße?

Sicherheitssysteme



Abb. 4: Crashtest eines Pkws

Selbst wenn sich der Fahrer eines Kraftfahrzeugs vollkommen richtig verhält, lassen sich Verkehrsunfälle manchmal nicht verhindern. Aus diesem Grund sind in den Fahrzeugen verschiedene Sicherheitssysteme eingebaut, die die Folgen eines Unfalls möglichst gering halten sollen. So verfügen Pkws über Knautschzonen, die die Energie bei einem Zusammenstoß gezielt entwerten, während der Fahrer im Inneren des Wagens geschützt ist. Gleiches gilt für Airbags. Sie blasen sich in Bruchteilen von Sekunden auf und nehmen Energie beim Aufprall des Kopfes bzw. des Oberkörpers auf. Auch der Sicherheitsgurt ist ein solches System. Er verhindert, dass Fahrzeuginsassen herumgeschleudert werden und sich dabei verletzen. Dies verhindern auch die Kopfstützen im Wagen. Sie sind weniger zum Anlehnen gedacht, sondern sollen Verletzungen am Kopf bzw. an der Halswirbelsäule verhindern.

- Benenne die Energieumwandlungen, die beim Zusammenstoß zweier Fahrzeuge bei einem Auffahrunfall stattfinden.
- Vergleiche die Sicherheitssysteme von zwei- und vierrädrigen Fahrzeugen. Welche Grenzen besitzt das Sicherheitssystem „Knautschzone“ beim Pkw?
- Recherchiere weitere Sicherheitssysteme in Fahrzeugen und beachte dabei auch jene, die nicht nur die Fahrzeuginsassen schützen.

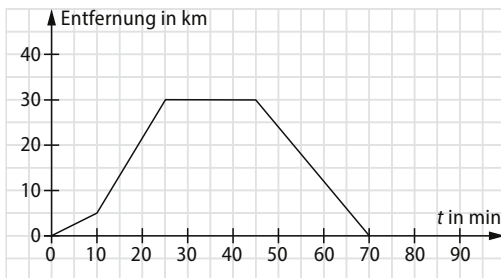
Aufgaben zur Einzelarbeit

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 Das folgende Zeit-Orts-Diagramm beschreibt vereinfacht eine Motorradfahrt.



- a) Erstelle ein Zeit-Weg-Diagramm, teile die Fahrt in verschiedene Phasen auf und beschreibe jeweils den Bewegungszustand.
- b) Berechne die durchschnittliche Geschwindigkeit, mit der sich der Motorradfahrer unmittelbar vor der Pause bewegt.
- c) Zeichne das zugehörige Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm.
- d) Erkläre, warum es sich beim obigen Diagramm um eine idealisierte Darstellung der Bewegung handelt.
- 2 Leon springt im Freibad vom 10-m-Turm ins Wasser.



- a) Wie lange dauert der freie Fall von Leon?
- b) Mit welcher Geschwindigkeit taucht Leon in das Wasser ein?

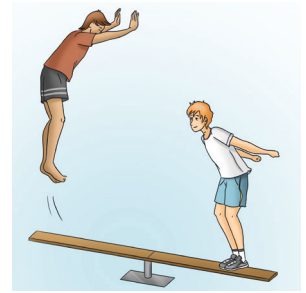
- 3 Ein Pkw fährt mit einer Geschwindigkeit von $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Der Fahrer bemerkt in 65 m Entfernung ein Hindernis und bremst nach einer Reaktionszeit von 0,80 s mit konstanter Bremsbeschleunigung von $-0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- a) Berechne, ob das Fahrzeug rechtzeitig zum Stillstand kommt.
- b) Zeichne das zugehörige t - v -Diagramm.
- 4 Ein Fahrer (80 kg) wird im Auto bei einem Unfall auf einer Strecke von 40 cm von $72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ bis zum Stillstand abgebremst. Dabei vergehen 89 ms.
- a) Berechne die Bremskraft, die auf den Autofahrer wirkt.
- b) Erläutere, ob man sich ohne Sicherheitsgurt schützen könnte, wenn man beim Abstützen am Lenkrad höchstens eine Kraft von 500 N „aufbringen“ kann.
- 5 Der Eurofighter hat ein Triebwerk mit einer maximalen Schubkraft von 180 kN. Voll beladen beträgt die Masse des Eurofighters beim Start etwa 23,5 t.



- a) Berechne die beim Start maximal mögliche Beschleunigung.
- b) Bei einer Geschwindigkeit von $234 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ hebt der Eurofighter ab. Bestimme rechnerisch, welche Strecke er bis zum Abheben zurückgelegt hat.
- c) Ermittle die kinetische Energie des Flugzeugs beim Abheben mit zwei unterschiedlichen Ansätzen.

- 6 Niklas meint: „Wir können die gleichmäßige Beschleunigung einer Rakete ganz einfach berechnen, indem wir die gesamte Schubkraft aller Triebwerke durch die Masse der Rakete dividieren.“ Nimm Stellung zu Niklas' Aussage.
- 7 Mithilfe eines Schleuderbretts kann eine Person in die Höhe katapultiert werden. Ein Schüler (70 kg) springt dazu aus 2,5 m Höhe auf das Brett.

- a) Berechne, wie hoch sein Partner (60 kg) geschleudert wird.
- b) Für den Bau einer Menschenpyramide muss der Partner 2,0 m hoch geschleudert werden. Mache Vorschläge, wie man das erreichen kann.



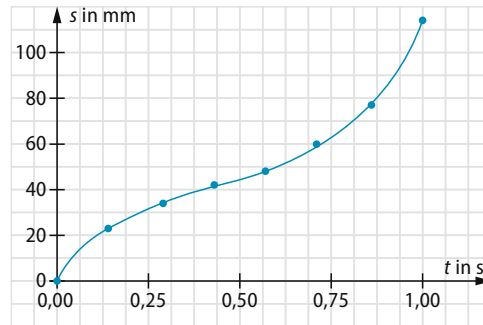
Aufgaben für Lernpartner

- 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 höher die Geschwindigkeit eines Körpers ist, desto flacher ist der Graph im t - s -Diagramm.
- B** Die durchschnittliche Geschwindigkeit gibt die Geschwindigkeit eines Körpers zu einem festen Zeitpunkt an.
- C** Ein Fallschirmspringer befindet sich vor dem Öffnen des Fallschirms im freien Fall.
- D** Für den freien Fall kann die Grundgleichung der Mechanik wie folgt formuliert werden: $F = m \cdot g$.
- E** Beim freien Fall eines Körpers ist die Geschwindigkeit unabhängig von der Masse.
- F** Verdoppelt sich die kinetische Energie eines Körpers mit fester Masse, vervierfacht sich dessen Geschwindigkeit.
- G** Bei Vorgängen mit Reibung gilt der Energieerhaltungssatz nicht.

Aufgabe	Ich kann ...	Hilfe
1, A, B	Bewegungsabläufe mithilfe von Zeit-Weg-Diagrammen beschreiben und die Durchschnittsgeschwindigkeit von der Momentangeschwindigkeit abgrenzen.	S. 16, 20
3	Berechnungen zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung durchführen.	S. 22
2, C	den freien Fall identifizieren und Berechnungen dazu durchführen.	S. 26
4, 6, D	mithilfe der Grundgleichung der Mechanik Beträge wirkender Kräfte und herrschender Beschleunigungen bestimmen.	S. 28
5, 7, E, F, G	das Prinzip der Energieerhaltung nutzen, um die kinetische Energie quantitativ zu erfassen und Vorhersagen zu alltäglichen Situationen zu treffen.	S. 32, 34

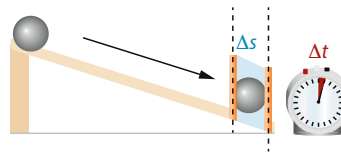
Zeit-Weg-Diagramm

- Zeit-Weg-Diagramme (**t-s-Diagramme**) stellen die von einem Körper zurückgelegte Strecke s in Abhängigkeit von der verstrichenen Zeit t dar.
- Ein Graph im t - s -Diagramm beginnt stets im Ursprung und steigt bei Bewegung mit zunehmender Zeit an.
- Je größer die Strecke ist, die ein Körper in gleichen Zeitintervallen zurücklegt, d. h. je größer der Betrag seiner Geschwindigkeit ist, desto steiler ist der Verlauf des Graphen im t - s -Diagramm.



Momentan- und Durchschnittsgeschwindigkeit

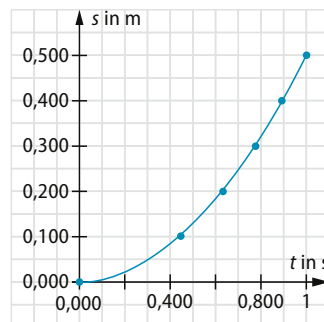
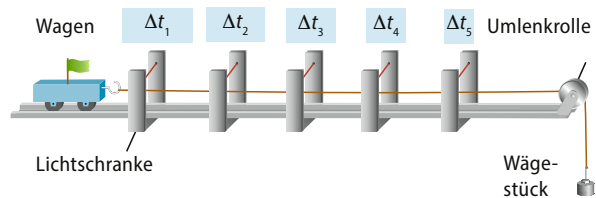
- Die Geschwindigkeit $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ ist die **durchschnittliche Geschwindigkeit** eines bewegten Körpers entlang der Strecke Δs im Zeitintervall Δt .
- Die **Momentangeschwindigkeit** v_M eines Körpers ist die Geschwindigkeit des Körpers zu einem Zeitpunkt t und kann mit $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ angenähert werden, wenn Δs oder Δt in der Umgebung des Messzeitpunkts t sehr klein ist.



Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

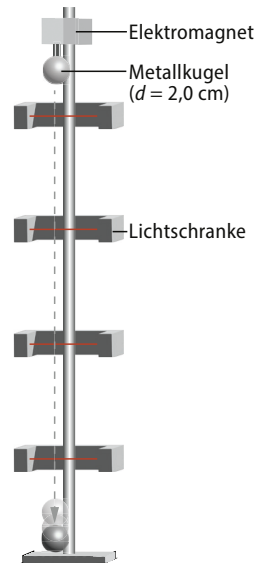
- Ändert sich durch äußere Kräfte der Betrag oder die Richtung der Geschwindigkeit eines Körpers, spricht man von einer **Beschleunigung**.
- Wirkt auf einen Körper eine in Betrag und Richtung **konstante Kraft**, dann wird der Körper **gleichmäßig beschleunigt**, d. h. der Körper erfährt in gleichen Zeitintervallen gleiche Geschwindigkeitsänderungen. Die Momentangeschwindigkeit ist dabei direkt proportional zur Zeit: $v_M \sim t$.
- Für die gleichmäßige Beschleunigung a gilt:

$$a = \frac{v_{\text{Ende}} - v_{\text{Anfang}}}{\Delta t} \text{ mit } [a] = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$
- Es gelten folgende Gesetze:
Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz: $v = a \cdot t$ bzw.
 $v = v_0 + a \cdot t$ (mit Anfangsgeschwindigkeit v_0)
Zeit-Weg-Gesetz: $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$ bzw. $s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$ (mit Anfangsgeschwindigkeit v_0)



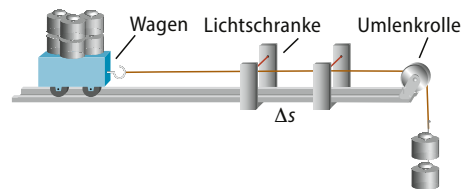
Freier Fall

- Der **freie Fall** ist eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung unter der Wirkung der konstanten Gewichtskraft.
- Diese für alle Körper gleiche Fallbeschleunigung beträgt im Vakuum $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ und entspricht dem Ortsfaktor g .
- Für den freien Fall gelten: $v = g \cdot t$ und $s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$.
- Unterschiedliche Fallbeschleunigungen im Alltag resultieren aus verschiedenen großen Luftwiderständen, die die Körper aufgrund ihrer Oberflächen hervorrufen.



Grundgleichung der Mechanik

- Die Beschleunigung eines Körpers ist direkt proportional zur einwirkenden Kraft.
- **Grundgleichung der Mechanik** (für $m = \text{konst.}$):
 $F = m \cdot a$ mit $[F] = \frac{1 \text{ kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$
 Um einen Körper der Masse m mit einer Beschleunigung vom Betrag a zu beschleunigen, ist eine Kraft mit dem Betrag $F = m \cdot a$ erforderlich.



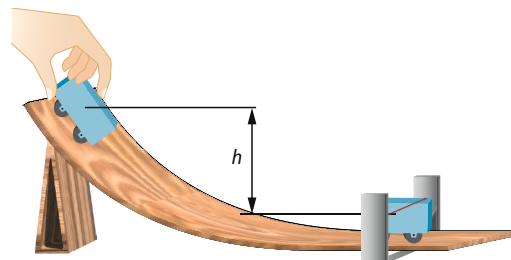
Kinetische Energie und Energieerhaltung

- Die **kinetische Energie** eines Körpers ist direkt proportional zu seiner Masse und zum Quadrat seiner Geschwindigkeit: $E_{\text{kin}} \sim m$ und $E_{\text{kin}} \sim v^2$.
- $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ mit $[E_{\text{kin}}] = 1 \text{ J (Joule)}$
- Bei der vollständigen (reibungsfreien) Umwandlung potenzieller Energie in kinetische Energie folgt aus dem Energieerhaltungssatz:

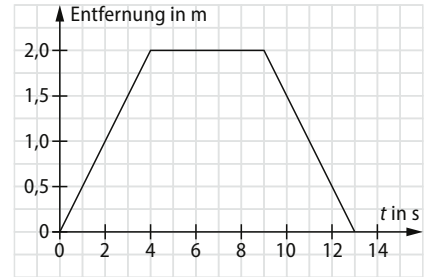
$$E_{\text{pot}} = E_{\text{kin}}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

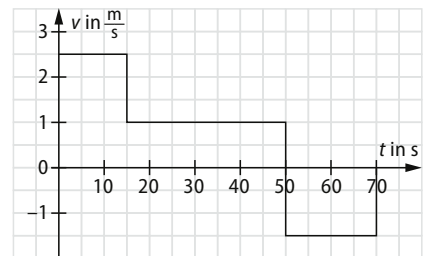
Die Geschwindigkeit ist unabhängig von der Masse des Körpers.



- 1 a) Zeichne das zum Zeit-Orts-Diagramm zugehörige Zeit-Weg-Diagramm und beschreibe die Bewegung.
b) Zeichne das zugehörige Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm.



- 2 Ein Körper bewegt sich auf gerader Strecke gemäß dem abgebildeten t - v -Diagramm vor und zurück.
a) Berechne den insgesamt nach 70 s zurückgelegten Weg sowie die Entfernung zwischen Start- und Zielpunkt.
b) Zeichne das zugehörige Zeit-Weg-Diagramm.



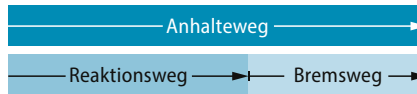
- 3 Ein Ruderboot fährt mit $4,5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ vom Ufer eines Sees los. Zeitgleich startet vom 2000 m entfernten gegenüberliegenden Ufer ein Boot mit $2,7 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Beide Boote halten direkt aufeinander zu. Zu welchem Zeitpunkt und an welchem Ort haben sie einen Abstand von 50 m?

- 4 a) Ermittle die Beschleunigung eines Schnellzugs, der nach einer Anlaufzeit von 40 s eine Geschwindigkeit von $126 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ erreicht. Gehe von einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung aus.
b) Der Schnellzug beschleunigt insgesamt 85 s lang gleichmäßig, bis er seine Höchstgeschwindigkeit erreicht. Berechne die Höchstgeschwindigkeit des Zugs.
c) Der Zug bremst mit einer maximalen Beschleunigung von $a = -0,70 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Berechne die Bremsdauer des Zugs für eine Vollbremsung bei einer Geschwindigkeit von $300 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ bis zum Stillstand des Zugs.
d) In Wirklichkeit nimmt bei Fahrzeugen die Beschleunigung ab, je höher die bereits erreichte Geschwindigkeit des Fahrzeugs ist. Recherchiere.



- 5 Für einen städtischen Freizeitpark soll ein neuer Fallturm konstruiert werden. Die Parkbetreiber fordern eine Turmhöhe, die einen freien Fall von 4,5 s ermöglicht.
a) Darf der Fallturm gebaut werden, wenn die von der Stadt genehmigte Maximalhöhe bei 100 m liegt?
b) Die tatsächliche Turmhöhe weicht von der in a) berechneten Höhe ab. Begründe.

- 6 Ein Verkehrsclub gibt bei trockener Fahrbahn, gutem Reifenprofil und guten Bremsen für Pkw eine Bremsbeschleunigung von $a = -9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ an.



- a) Berechne zuerst die Zeit, die ein Pkw in der 30er-Zone benötigt, um von $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf $0,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ abzubremsen, und danach den Bremsweg des Pkws.
- b) Ermittle den Anhalteweg (Reaktionsweg + Bremsweg) eines Pkws in der 30er-Zone bei einer Reaktionszeit des Fahrers von 1,0 s.
- 7 Am Start bzw. Ziel einer 100-m-Bahn stehen sich ein Pkw ($m = 1500 \text{ kg}$) und ein Sprinter ($m = 75 \text{ kg}$) gegenüber. Pkw und Sprinter starten auf ein Signal hin gleichzeitig und bewegen sich (auf benachbarten Bahnen) aufeinander zu. Vereinfachend wird angenommen, dass der Sprinter sofort mit einer konstanten Geschwindigkeit von $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ läuft und der Pkw mit der konstanten Beschleunigung von $2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ losfährt.

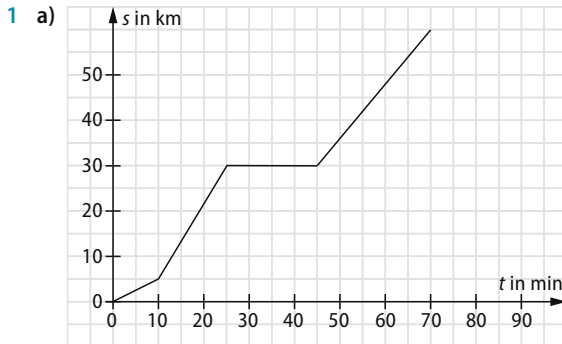


- a) Zeichne den Bewegungsvorgang qualitativ in einem Zeit-Weg-Diagramm und einem Zeit-Orts-Diagramm, wobei der Startzeitpunkt von Pkw und Sprinter jeweils $t = 0,0 \text{ s}$ beträgt.
- b) Bestimme grafisch den Zeitpunkt, an dem sich Sprinter und Pkw begegnen.
- c) An welcher Stelle der 100-m-Bahn begegnen sich die beiden?
- d) Vergleiche die kinetischen Energien von Sprinter und Pkw am Ort der Begegnung. Was stellst du fest?
- 8 Ein SUV ($m = 2500 \text{ kg}$) wird in 4,0 s von $50,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf $90,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ beschleunigt.
- a) Berechne die Beschleunigung und die daraus resultierende Kraft auf den SUV.
- b) Berechne den zurückgelegten Weg und die Beschleunigungsarbeit.
- c) Vergleiche die Beschleunigungsarbeit aus b) mit der Differenz der kinetischen Energien $E_{\text{kin}, 2} - E_{\text{kin}, 1}$. Begründe deine Feststellung.
- d) Berechne die Geschwindigkeit des SUV, wenn er mit der gleichen Beschleunigungsarbeit aus dem Stand beschleunigt hätte.



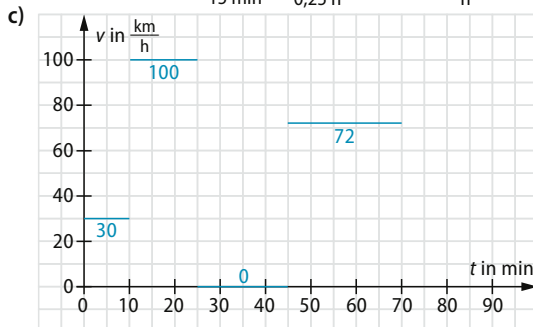
1.9 Teste dich – Seite 40 / 41

Aufgaben zur Einzelarbeit



In den ersten 10 Minuten der Fahrt legt der Motorradfahrer mit konstanter Geschwindigkeit einen Weg von 5 km zurück. Danach fährt er schneller und legt dabei in 15 Minuten 25 km zurück. Anschließend pausiert er für 20 Minuten, bevor er den Rückweg (im Zeit-Orts-Diagramm durch die negative Steigung erkennbar) antritt. Dabei legt er 30 km in 25 Minuten zurück.

b) geg.: $\Delta t = 15 \text{ min}; \Delta s = 25 \text{ km}$
 ges.: v
 Ansatz: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$
 Rechnung: $v = \frac{25 \text{ km}}{15 \text{ min}} = \frac{25 \text{ km}}{0,25 \text{ h}} = 1,0 \cdot 10^2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$



d) In der Realität ist es nicht möglich, dass sich der Betrag der Geschwindigkeit abrupt, also zu einem bestimmten Zeitpunkt, ändert. Entsprechend müssten die „Ecken“ des Graphs eigentlich abgerundet sein. So würde deutlich werden, dass sich die Geschwindigkeit während einer Zeitspanne ändert.

2 a) geg.: $s = 10 \text{ m}; g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 ges.: t
 Ansatz: $s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad | \cdot \frac{2}{g} \quad | \sqrt{\quad}$
 Rechnung: $t = \sqrt{\frac{2s}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10 \text{ m}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 1,4 \text{ s}$

b) geg.: $t = 1,4 \text{ s}; g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 ges.: v
 Ansatz: $v = g \cdot t$
 Rechnung: $v = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,4 \text{ s} = 14 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

4 a) geg.: $m = 80 \text{ kg}; s = 40 \text{ cm}; v = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}; t = 89 \text{ ms}$
 ges.: F
 Ansatz: $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad | \cdot \frac{2}{t^2}$
 $F = m \cdot a$
 Rechnung: $a = \frac{2s}{t^2} = \frac{2 \cdot 0,40 \text{ m}}{(0,089 \text{ s})^2} = 1,0 \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 $F = 80 \text{ kg} \cdot 1,0 \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 8,0 \text{ kN}$

b) Nein, das wäre nicht möglich: Da beim Abstützen während des Abbremsens ein Kraftbetrag von 8,0 kN anstelle von 500 N notwendig wäre, muss der Großteil der Kraft durch einen Sicherheitsgurt „abgefangen“ werden.

3 a) geg.: $v = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}}; t_1 = 0,80 \text{ s}; a = -6,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
 ges.: $s_{\text{Anhalteweg}}$
 Ansatz: $s_{\text{Anhalteweg}} = s_{\text{Reaktionsweg}} + s_{\text{Bremsweg}}$
 $v = \frac{s_{\text{Reaktionsweg}}}{t_1} \quad | \cdot t_1$
 $v = |a| \cdot t_2 \quad | : |a|$
 $s_{\text{Bremsweg}} = \frac{1}{2} \cdot |a| \cdot t_2^2$
 Rechnung: $s_{\text{Reaktionsweg}} = v \cdot t_1 = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 0,80 \text{ s}$
 $s_{\text{Reaktionsweg}} = 22 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,80 \text{ s} = 18 \text{ m}$
 $t_2 = \frac{v}{|a|} = \frac{22 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{6,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 3,7 \text{ s}$
 $s_{\text{Bremsweg}} = \frac{1}{2} \cdot 6,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (3,7 \text{ s})^2 = 41 \text{ m}$
 $s_{\text{Anhalteweg}} = 18 \text{ m} + 41 \text{ m} = 59 \text{ m}$
 Antwort: Das Fahrzeug kommt rechtzeitig zum Stillstand.



- 5 a) geg.: $F = 180 \text{ kN}; m = 23,5 \text{ t}$
 ges.: a
 Ansatz: $F = m \cdot a \quad | : m$
 Rechnung: $a = \frac{F}{m} = \frac{180 \cdot 10^3 \text{ N}}{23,5 \cdot 10^3 \text{ kg}} = 7,66 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- b) geg.: $a = 7,66 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}; v = 234 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 ges.: s
 Ansatz: $v = a \cdot t \quad | : a$
 $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$
 Rechnung: $t = \frac{v}{a} = \frac{65,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{7,66 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 8,49 \text{ s}$
 $s = \frac{1}{2} \cdot 7,66 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (8,49 \text{ s})^2 = 276 \text{ m}$
- c) geg.: $v = 234 \frac{\text{km}}{\text{h}}; F = 180 \text{ kN}; m = 23,5 \text{ t}; s = 276 \text{ m}$
 ges.: E_{kin}
 Ansatz: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
 $E_{\text{kin}} = F \cdot s$
 Rechnung: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot 23,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \left(65,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 49,6 \text{ MJ}$
 $E_{\text{kin}} = 180 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 276 \text{ m} = 49,7 \text{ MJ}$
- 6 Die Aussage ist korrekt und wird durch die Grundgleichung der Mechanik, $F = m \cdot a$, unterstützt.
- 7 a) geg.: $h_1 = 2,5 \text{ m}; m_1 = 70 \text{ kg}; m_2 = 60 \text{ kg}$
 ges.: h_2
 Ansatz: $E_{\text{pot}, 1} = E_{\text{pot}, 2}$
 $m_1 \cdot g \cdot h_1 = m_2 \cdot g \cdot h_2 \quad | : g \quad | : m_2$
 Rechnung: $h_2 = \frac{m_1 \cdot h_1}{m_2} = \frac{70 \text{ kg} \cdot 2,5 \text{ m}}{60 \text{ kg}} = 2,9 \text{ m}$
- b) Unter der Voraussetzung, dass Schüler 2 („Partner“) und damit seine Masse festgelegt ist: Man könnte einen Schüler 1 mit geringerer Masse wählen oder/und den Schüler 1 aus einer geringeren Höhe springen lassen. Damit würde sich die Schleuderhöhe des Partners verringern.

Aufgaben für Lernpartner

- A Das ist falsch. Je höher die Geschwindigkeit eines Körpers ist, desto steiler ist der Graph. Dies liegt daran, dass der Wert des Quotienten aus s und t bei höherer Geschwindigkeit ebenfalls größer ist und gleichzeitig die Steigung des Graphen beschreibt.
- B Das ist falsch. Die durchschnittliche Geschwindigkeit beschreibt die Geschwindigkeit eines bewegten Körpers entlang der Strecke im Zeitintervall bzw. in einer Zeitspanne.
- C Das ist falsch. Aufgrund der Luft wirkt zusätzlich zur Gewichtskraft eine Kraft, die dazu führt, dass die Bewegung auch ohne Fallschirm keine gleichmäßig beschleunigte Bewegung ist. Die Fallbeschleunigung in Luft ist nur zu Beginn gleich der Erdbeschleunigung, nachher nimmt sie ab, bis sie nach etwa sieben Sekunden null wird. Je nach Dichte der umgebenden Luft erreicht ein Fallschirmspringer auch ohne geöffneten Schirm nur eine Maximalgeschwindigkeit von ca. $200 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, weil der Luftwiderstand quadratisch mit der Geschwindigkeit zunimmt.
- D Das ist richtig, da die Beschleunigung beim freien Fall dem Ortsfaktor entspricht.
- E Das ist richtig. Bei der mathematischen Betrachtung des Energieerhaltungssatzes für den freien Fall kürzt sich die Masse aus den beteiligten Gleichungen raus.
- F Das ist falsch. Für diesen Fall gilt: $E_{\text{kin}, 2} = 2 \cdot E_{\text{kin}, 1}$ und mit $E_{\text{kin}, 1} = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2$ folgt:
 $E_{\text{kin}, 2} = 2 \cdot E_{\text{kin}, 1} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot \left(\sqrt{2 \cdot v_1}\right)^2$
 Daraus folgt: $v_2 = \sqrt{2 \cdot v_1}$.
 Vertauscht man in der ursprünglichen Aussage die Größen, so würden die Aussagen stimmen: Verdoppelt sich die Geschwindigkeit eines Körpers mit fester Masse, so vervierfacht sich dessen kinetische Energie.
- G Das ist falsch. Der Energieerhaltungssatz gilt immer. Im Falle von vorhandener Reibung wird ein Teil der Energie in innere Energie umgewandelt, was jedoch nicht gegen den Energieerhaltungssatz spricht.

AdobeStock / Klaus Eppele – S. 40; - / Fotoschlick – S. 39; - / gerd harder/EyeEm – S. 22; - / johnmerlin – S. 10, 26; - / kernel – S. 30; - / Konstantin – S. 45; - / Robert Przybysz – S. 31; - / Gina Sanders – S. 38; - / VanderWolf Images – S. 40; Dreamstime.com / photographerlondon – S. 21; Getty Images Plus / iStock Editorial, manfredxy – S. 24; - / iStockphoto, artisteer – S. 9; - / iStockphoto, Bondariev – S. 24; - / iStockphoto, FS-Stock – S. 31; - / iStockphoto, g-stockstudio – S. 36; - / iStockphoto, Mauricio Graiki – S. 36; - / iStockphoto, ichalkov – S. 22; - / iStockphoto, joeravi – S. 30; - / iStockphoto, Kandfoto – S. 31; - / iStockphoto, KatarzynaBialasiewicz – S. 11, 45; - / iStockphoto, Sven Loeffler – S. 25; - / iStockphoto, Meinzahn – S. 44; - / iStockphoto, Okea – S. 11, 28; - / iStockphoto, omgimages – S. 36; - / iStockphoto, Mailson Pignata – S. 35; - / iStockphoto, RuslanKaln – S. 24; - / iStockphoto, Sebastian Steude – S. 18; - / iStockphoto, TToa55 – S. 9; - / iStockphoto, tylim – S. 20; - / Purestock – S. 8; imago images / fStop Images – S. 39; Mauritius Images / imageBROKER – S. 32; Science Photo Library / Gustoimages – S. 10, 16; - / Adam Hart-Davis – S. 36; - / Ted Kinsman – S. 11, 34, 36; Shutterstock / Sky Antonio – Cover.



T67030