

Dr. Manfred Dürr, Christian Schlatow

Dorn Bader

Physik für das Berufliche Gymnasium

Eingangsklasse

1. Auflage

Begründet von:

Prof. Dr. Franz Bader
Prof. Friedrich Dorn

In Teilen ist dieses Werk eine Bearbeitung von:

978-3-507-86987-5
978-3-14-152330-0

Herausgegeben und bearbeitet von:

Dr. Maximilian Barth
Dr. Marco Beckert
Dirk Brockmann-Behnsen
Prof. Dr. Gunnar Friege
Dr. Christian Gleixner
Frauke Haake
Dr. Michael Hof
Dr. Ulrich Kilian (Hrsg.)
Dr. Elisabeth Kraus
Prof. Dr. Rainer Müller (Hrsg.)
Dr. Henning Rode
Dr. Bernd-Uwe Runge
Martin Salm
Benjamin Schmidt
Kristine Tschirschky

Die in diesem Produkt gemachten Angaben zu Unternehmen (Namen, Internet- und E-Mail-Adressen, Handelsregistereintragungen, Bankverbindungen, Steuer-, Telefon- und Faxnummern und alle weiteren Angaben) sind i. d. R. fiktiv, d. h., sie stehen in keinem Zusammenhang mit einem real existierenden Unternehmen in der dargestellten oder einer ähnlichen Form. Dies gilt auch für alle Kunden, Lieferanten und sonstigen Geschäftspartner der Unternehmen wie z. B. Kreditinstitute, Versicherungsunternehmen und andere Dienstleistungsunternehmen. Ausschließlich zum Zwecke der Authentizität werden die Namen real existierender Unternehmen und z. B. im Fall von Kreditinstituten auch deren IBANs und BICs verwendet.

Materialien für Lehrerinnen und Lehrer

Lösungen: 978-3-14-225486-9

Lösungen Download: 978-3-14-225484-5



BiBox Einzellizenz für Lehrer/-innen (Dauerlizenz): 978-3-14-225494-4

BiBox Kollegiumslizenz für Lehrer/-innen (Dauerlizenz): 978-3-14-225496-8

BiBox Kollegiumslizenz für Lehrer/-innen (1 Schuljahr): 978-3-14-107833-6

Materialien für Schülerinnen und Schüler



BiBox Einzellizenz für Schüler/-innen (1 Schuljahr): 978-3-14-225488-3

westermann GRUPPE

© 2021 Bildungsverlag EINS GmbH, Ettore-Bugatti-Straße 6–14, 51149 Köln, www.westermann.de

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen bzw. vertraglich zugestanden Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages. Nähere Informationen zur vertraglich gestatteten Anzahl von Kopien finden Sie auf www.schulbuchkopie.de.

Für Verweise (Links) auf Internet-Adressen gilt folgender Haftungshinweis: Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle wird die Haftung für die Inhalte der externen Seiten ausgeschlossen. Für den Inhalt dieser externen Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich. Sollten Sie daher auf kostenpflichtige, illegale oder anstößige Inhalte treffen, so bedauern wir dies ausdrücklich und bitten Sie, uns umgehend per E-Mail davon in Kenntnis zu setzen, damit beim Nachdruck der Verweis gelöscht wird.

Druck und Bindung: Westermann Druck GmbH, Georg-Westermann-Allee 66, 38104 Braunschweig

ISBN 978-3-14-225482-1



1	Kinematik und Dynamik	10
1.1	Beschreiben von Bewegungen	12
1.2	Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit	27
1.3	Geschwindigkeit und Ort als vektorielle Größen	36
1.4	Impuls und Trägheit	46
1.5	Impulsänderung und Impulserhaltung	55
1.6	Inelastische und elastische Stoßvorgänge	61
1.7	Kraft	66
1.8	Grundgesetz der Mechanik	72
1.9	Bewegungen mit konstanter Beschleunigung	82
1.10	Beschleunigte Bewegungen in Diagrammen darstellen	86
1.11	Freier Fall	96
1.12	Fall mit Luftwiderstand	101
1.13	Waagerechter Wurf	105
1.14	Kräfteaddition und Kräftezerlegung	110
	<i>Zusammenfassung</i>	125
	<i>Aufgaben mit Lösungen</i>	128

Inhaltsverzeichnis



2

Energie

2	Energie	134
2.1	Energie – eine physikalische Erhaltungsgröße	136
2.2	Potentielle Energie	143
2.3	Kinetische Energie	149
2.4	Spannenergie	154
2.5	Anwendungen des Energieerhaltungssatzes	157
2.6	Energieumwandlung durch Reibung	168
2.7	Leistung	172
2.8	Wirkungsgrad	178
2.9	Energiemanagement – gestern, heute, morgen	185
	<i>Zusammenfassung</i>	200
	<i>Aufgaben mit Lösungen</i>	202

3

Moderne Physik

3	Moderne Physik	204
3.1	Bezugssysteme in der klassischen Mechanik	206
3.2	Relativistische Kinematik	209
3.3	Relativistische Dynamik	221
	<i>Zusammenfassung</i>	228
	<i>Aufgaben mit Lösungen</i>	229



4 Methoden der Physik – Physikalischer Werkzeugkasten	230
4.1 Mathematische Hilfsmittel	232
4.2 Physikalische Hilfsmittel	244
4.3 Elektronisches und digitales Werkzeug	252
4.5 Tabellen	254
Lösungen zu den Aufgaben	256
Stichwortverzeichnis	267
Bildquellen	270

Liebe Lehrerin, lieber Lehrer,

Das vorliegende Lehrbuch ist für die Eingangsklasse der zum allgemeinbildenden Abitur führenden Beruflichen Gymnasien in Baden-Württemberg vorgesehen. Es ist exakt auf den neuen Physik-Bildungsplan abgestimmt, der für alle Profile gilt. Es kann aber genauso an anderen Schularten und in anderen Bundesländern eingesetzt werden, in denen in der Oberstufe die grundlegenden Stoffgebiete der Kinematik, Dynamik, Energie oder Relativitätstheorie zu behandeln sind.

Die Gliederung des Buches greift die Bildungsplaneinheiten (BPE) des Lehrplans exakt auf.

Aus didaktischen Gründen wird an jedem Kapitelanfang ein sehr niederschwelliger Themeneinstieg (Einstiegsbeispiel) gewählt; so werden alle Schülerinnen und Schüler – ob mit oder ohne physikalisches Vorwissen – abgeholt. Nach jedem Themeneinstieg folgt ein Einstiegsversuch, der leicht und meist mit einfachen Materialien von den Schülerinnen und Schülern selbst durchgeführt werden kann.

Die Situationen und Beispiele sind zudem meist so gewählt, dass die Schülerinnen und Schüler einen Bezug zu ihrem Alltag herstellen können.

Als digitale Lernumgebung werden insbesondere die Videoanalyse sowie Messungen mit Smartphone-Sensoren systematisch eingesetzt und didaktisch sinnvoll bei der Gestaltung von Schülerversuchen in die Lernprozesse eingebunden.

Die Hinführung zu den Themen ist sehr anwendungsorientiert. Dadurch und durch die vielen Lernsituationen aus dem Alltag und Aufgaben wird der Gedanke des Kompetenzaufbaus aufgegriffen.

Die Schülerinnen und Schüler entwickeln im aktiven Umgang mit den physikalischen Inhalten des Lehrbuchs die Kompetenzen, die für das Fach Physik von zentraler Bedeutung sind. Dabei gewinnen sie physikalische Erkenntnisse, sie üben Kommunizieren in vielfältigen Aufgabenstellungen und bewerten ihre Ergebnisse – sie erhalten damit Fähigkeiten und Fertigkeiten, die charakteristisch für die Naturwissenschaft Physik sind. Die kognitiven Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler werden durch die im Lehrbuch verwendeten spezifischen Denk- und Arbeitsweisen besonders gefördert.

Die Schülerinnen und Schüler erfahren unter Verwendung von Experimenten die Bedeutung der abstrahierenden, idealisierenden Beschreibung von Prozessen zur Bildung von Hypothesen und zur Anwendung von Modellen und Theorien.

Dieses Lehrbuch nimmt auf gesellschaftlich relevante Herausforderungen – wie z. B. bei der Energieversorgung oder dem Klimawandel – Bezug und betont dadurch die Notwendigkeit für Weiterentwicklung und dynamischen Wandel in der Gesellschaft.

Die Fachlehrerinnen und Fachlehrer werden bei der Umsetzung der VIP-Aspekte (Vertiefung, Individualisiertes Lernen und Projektunterricht) des Lehrplans unterstützt durch

- die Vielzahl an Aufgaben, die die Möglichkeit zur Vertiefung, Wiederholung und inneren Differenzierung bieten,
- die ausführlich dargestellten Beispielaufgaben samt Lösungen, die das individuelle Erarbeiten der Themen durch die Schülerinnen und Schüler ermöglichen.
- viele Vertiefungen, in denen einzelne fachlichen Aspekte besonders betrachtet werden.

Digitales Zusatzmaterial zu diesem Band wird in der BiBox platziert. Ebenso werden dort auch weiterführende Informationen und Inhalte zu den angesprochenen Themen zur Verfügung gestellt.

Die Verfasser wünschen den Lehrkräften viel Erfolg bei der Arbeit mit diesem Lehrbuch und würden uns freuen, wenn Sie uns Ihre Rückmeldungen sowie Anregungen und Wünsche zum Buch schreiben (E-Mail: service@westermann.de, Betreff: 225482), die wir dann z. B. in der BiBox ergänzen können.

Dr. Manfred Dürr und Christian Schlatow

Vorwort

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

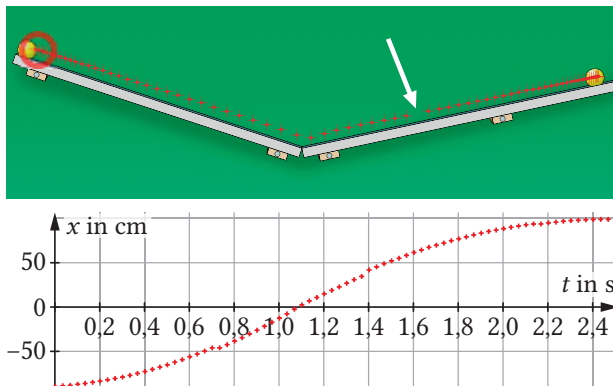
wofür verwenden Sie Ihr Smartphone? Inzwischen kann man damit auch physikalische Experimente durchführen – ein Smartphone mit seinen vielen eingebauten Sensoren ist auch ein vielseitig einsetzbares physikalisches Messwerkzeug. Mit diesem Schulbuch dürfen Sie es ganz offiziell in vielen Beispielen im Unterricht verwenden.

Die Kapitel dieses Buches beginnen alle mit einem Einstiegsbeispiel mit Alltagsbezug, das nicht viel Vorwissen abverlangt. Dann folgt ein Einstiegsversuch, der zum Selbermachen einlädt.

Insgesamt sind die Kapitel leicht verständlich, enthalten sowohl leichte als auch anspruchsvollere Fragen, aber auch herausfordernde Inhalte, die Sie erfolgreiche bewältigen können.

Dieses Schulbuch unterstützt Ihre Lehrerin bzw. Ihren Lehrer darin, einen modernen, abwechslungsreichen und guten Physikunterricht zu gestalten.

In jedem Kapitel gibt es *Einstiegsbeispiele*. Wenn Sie die anschauen, dann sehen Sie, wie einfach diese sind. Das Beispiel auf Seite 12 ist z.B. eher ein Tipp zur Freizeitgestaltung. Die *Einstiegsversuche* sind meistens ebenfalls einfach. Teilweise können Sie hier spielerisch mit Ihrem Smartphone kleine physikalische Experimente durchführen. Beim Versuch auf Seite 13 erstellen Sie z.B. Bildfolgen mit einer App, mit denen Sie dann weiterarbeiten können.



Im Physikunterricht lernen Sie anschließend, wie aus Bildfolgen und Videos Diagramme entstehen, welche typisch für die gezeigten Bewegungen sind. Diese wiederum werden ausgewertet und liefern – in diesem Beispiel – wissenschaftliche Erkenntnisse zur Geschwindigkeit und zur Beschleunigung.

Machen Sie eventuell demnächst den Führerschein? Wir versprechen Ihnen: Die Formeln für den Bremsweg (siehe Seite 93), die Sie bis zur Fahrschulprüfung auswendig kennen müssen, werden Sie nach dem Unterricht genauso gut oder besser als jede Fahrlehrerin oder jeder Fahrlehrer verstehen!

In der Physik werden Vorgänge mess- und quantifizierbar gemacht, auch solche, die man nicht sehen kann. Die Zusammenhänge werden als Gesetzmäßigkeiten dargestellt, aus denen Vorhersagen abgeleitet werden können. Diese wissenschaftliche Herangehensweise zu lernen und anzuwenden ist für Sie wichtig, um ein begründetes Bild der komplexen und hochtechnisierten Welt zu entwickeln, um z.B. „Fake News“ als solche zu entlarven oder die notwendigen gesellschaftlichen und technischen Änderungen, die aufgrund der Klimakrise notwendig werden, selbst mitzugestalten zu können!


Vorwort

Der neue Bildungsplan Physik in der Eingangsklasse des Beruflichen Gymnasiums umfasst hauptsächlich Themen aus der *Mechanik (Kinematik und Dynamik, Energie und Leistung)*, teilweise aber auch die *moderne Physik*, wo Sie beispielsweise die EINSTEIN-Formel $E = m \cdot c^2$ kennenlernen werden.

Beispiele, Aufgaben und Experimente, bei denen Sie Ihr Smartphone oder Ihr Tablet z. B. zur Messwerterfassung verwenden können, sind im Buch und in der BiBox zu finden.

Wir setzen diese modernen Medien selbst häufig in unserem Unterricht ein und sind davon überzeugt, dass auch Sie davon profitieren. Wir wünschen ein gutes Gelingen und würden uns freuen, wenn auch Sie uns Ihre Rückmeldungen und Wünsche zum Buch schreiben (E-Mail: service@westermann.de, Betreff: 225482)!

Dr. Manfred Dürr und Christian Schlatow



Kinematik und Dynamik

Wir alle bewegen uns im Alltag ständig. Zum Beispiel bewegen wir uns morgens zu Fuß, mit dem Fahrrad, mit dem Bus, mit der Straßenbahn, mit dem Zug, mit dem Motorrad oder mit dem Auto zur Schule oder zur Arbeit. Auch in der Natur ist das Meiste ständig in Bewegung: Wolken ziehen stetig am Himmel vorbei, Pflanzen wachsen langsam, Tiere suchen Nahrung oder fliehen vor Feinden, Bäche fließen kontinuierlich und Meere bewegen sich im Rhythmus von Ebbe und Flut.

Die Kinematik beschäftigt sich mit der Beschreibung von Bewegungen. Meistens denken wir über unsere Bewegungen nicht nach. Wir gehen einfach – auf gewohnten Wegen, in einer bekannten Zeit. Manchmal müssen wir es aber genauer wissen, etwa Abfahrtszeiten von Bus und Bahn oder bei Zeitnahmen im Sport. In modernen Mobilitätskonzepten spielt ein ausgeklügeltes Zusammenspiel von öffentlichem Nahverkehr und möglichst emissionsfreiem Individualverkehr eine wichtige Rolle.

Physikalische Größen sind hilfreich, um alle Arten von Bewegungen präzise beschreiben und vorher-sagen zu können. Häufig werden bereits jetzt zur Mobilitätslenkung Echtzeit-Daten von öffentlichen Verkehrsmitteln wie beispielsweise die Position, die Geschwindigkeit und die Beschleunigung erhoben. Diese werden für kinematische Berechnungen verwendet, damit jede Person möglichst schnell am Ziel ankommt.

Eine Änderung einer Bewegung passiert manchmal schnell, z. B. bei einem Unfall, manchmal geht sie aber auch langsam vonstatten, z. B. wenn man ein Fahrzeug ausrollen lässt. In der Dynamik werden die physikalischen Ursachen der Bewegungsänderung untersucht. Der Impuls wird als physikalische Bewegungsgröße eingeführt. Bewegungsänderungen können dann als Impulsänderungen beschrieben werden.



1

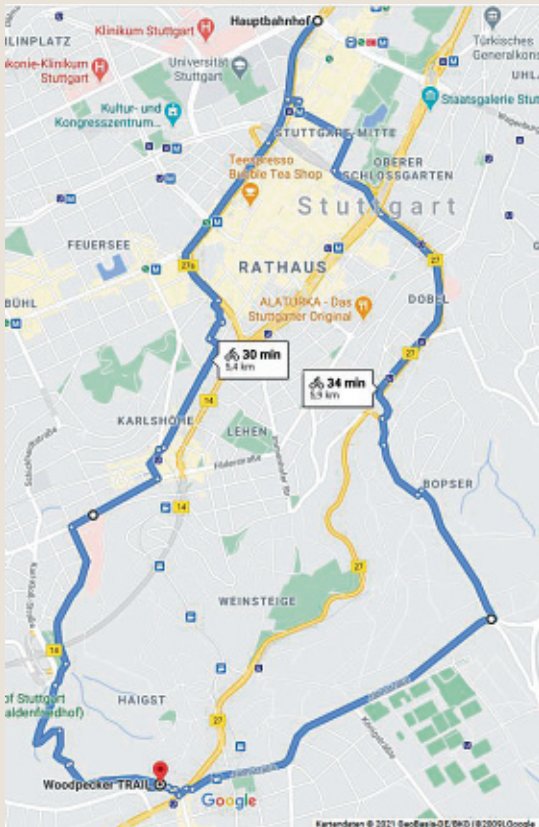
Mithilfe von Wissen über die verschiedenen Bewegungsformen und über die Ursache der Bewegungsänderung lassen sich folgende Fragen untersuchen:

- Wie schnell kann ein Mensch laufen?
- Welche maximale Beschleunigung hält ein Mensch aus?
- Wie kann ich Geschwindigkeiten und Beschleunigungen bei Bewegungen messen und berechnen?
- Wie kann ich mit einem Smartphone oder einem Tablet Bewegungen untersuchen und Informationen über die Bewegungsformen erhalten?
- Wie lange braucht es, bis ein Fallschirmspringer wieder am Boden aufkommt? Welche Rolle spielt der Luftwiderstand beim Fall?

1.1 Beschreiben von Bewegungen

EB Einstiegsbeispiel

Sie machen einen Tagesausflug zur öffentlichen Downhill-Strecke „Woodpecker Trail“ in Stuttgart-Degerloch und anschließend zum Max-Eyth-See zum Bootfahren.



B1 Tagesausflug um Stuttgart



B2 Fahrt mit dem Mountainbike



B3 Entlang des Neckars

- a) Vom Hauptbahnhof Stuttgart fahren Sie mit Ihrem Mountainbike zum Startpunkt in Degerloch. Welche der beiden von Google-Maps vorgeschlagenen Routen würden Sie für die Anfahrt wählen?
- b) Alternativ könnten Sie auch mit öffentlichen Verkehrsmittel vom Bahnhof direkt nach Degerloch fahren. Recherchieren Sie unter www.vvs.de, ob Sie damit eine Zeiteinsparung hätten. Bewerten Sie die Wahl. Welche Aspekte können für Sie gegen eine Zeitersparnis sprechen?
- c) Wie lange braucht man vom Woodpecker Trail in Degerloch zum Max-Eyth-See mit dem Fahrrad und mit öffentlichen Verkehrsmitteln? (z. B. Radroutenplaner unter www.vvs.de)

V Einstiegsversuch

Durch Mehrfachbelichtung sind in den folgenden Bildern Bewegungen in einem Bild dargestellt. Beschreiben Sie diese Bewegungen in jedem Bild. Was bewegt sich und wie? Wodurch entsteht die Bewegung?



B4 Basketballwurf



B5 Weitsprung



B6 Luftkissenpuck



B7 Tennispiel



B8 Skateboardsprung



B9 Handball



B10 Wellenreiten



B11 Ballsprung



B12 Radschlag



B13 Fidget Spinner



B14 Gewichtheben

Erzeugen Sie selbst kurze Videos (auch in Zeitlupe) und Bilder mit Mehrfachbelichtung von Bewegungen mit Ihrem Smartphone oder einem Tablet.

Materialien: beispielsweise Bälle, Luftkissenpuck, Apps wie Motion Shot (iOS, Android)



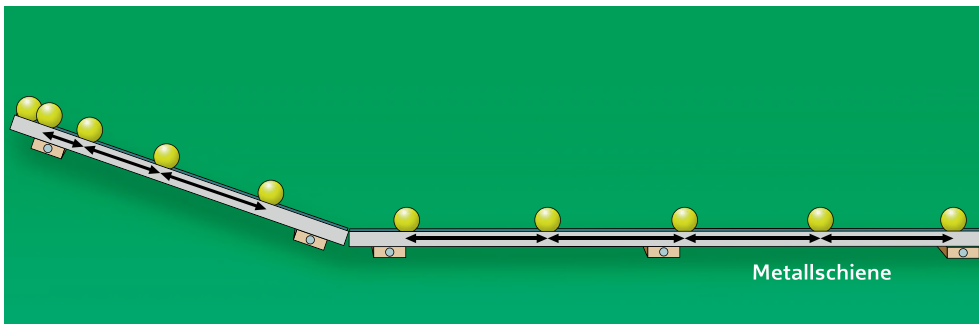
B15 Basketballspiel



B16 Mit einer App kann man auch schnelle Bewegungen sichtbar machen

Bewegungen darstellen. Um die Bewegung eines Objektes zu beschreiben, muss man für unterschiedliche Zeitpunkte t die zugehörigen Orte s messen. Videos eignen sich sehr gut, um bewegte Objekte aufzunehmen und die Bewegung anschließend zu analysieren. Mit einem Smartphone oder einem Tablet geht das einfach – im Alltag wird das beispielsweise häufig beim Sport gemacht.

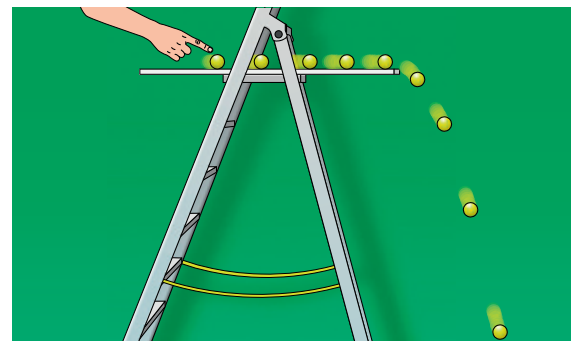
Wir verwenden zur Darstellung einer Bewegung eine App, mit der ein bewegtes Objekt durch Mehrfachbelichtung auf einem Bild dargestellt werden kann. Der zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Belichtungen ist jeweils gleich groß und kann in der App eingestellt werden. Zur Beschreibung der Bewegung können wir beispielsweise die Abstände zwischen den dargestellten Kugeln in Bild **B17** interpretieren.



B17 Eine Billardkugel wird zu Beginn links oben auf die Metallschiene gelegt und losgelassen. Die anschließende Rollbewegung wird durch die App „Motion Shot“ aufgenommen.

Die Abstände zwischen den Kugeln vergrößern sich im ersten Teil der Bewegung, solange die Kugel die Metallschiene herunterrollt. Im zweiten Teil auf der waagerechten Ebene sind die Abstände zwischen den Kugeln immer gleich groß. In den Kapiteln 1.2 und 1.9 werden diese Bewegungen als eine beschleunigte Bewegung in Teil eins und eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit in Teil zwei identifiziert und genauer untersucht.

Die Bewegung, die in Bild **B18** dargestellt ist, werden wir in Kapitel 1.13 als „waagerechten Wurf“ bezeichnen und analysieren.



B18 Ein Tennisball rollt entlang einer Schiene und fällt auf den Boden.

Bewegt sich ein Objekt mit einer unveränderten (konstanten) Geschwindigkeit in Richtung und Betrag, spricht man auch von einer **Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit**. Näherungsweise lässt sich diese Bewegung beispielsweise bei Langstreckenläufern beobachten, wenn sie sich auf geraden Teilstücken ihres Laufs befinden. Geradlinige Bewegungen lassen sich einfach in einem ***t-s*-Diagramm** oder einem ***t-v*-Diagramm** darstellen.

Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit mathematisch beschreiben. Diagramme stellen eine sehr praktische Möglichkeit dar, um die erfassten Daten kompakt und übersichtlich darzustellen und Bewegungen zu charakterisieren. Bild **B3b** zeigt das **Zeit-Ort-Diagramm** (*t-s*-Diagramm) zu den Daten von **B3a**. Man erkennt unschwer, dass die Messpunkte auf einer Geraden liegen, die zudem durch den Ursprung verläuft. Daraus ergeben sich mehrere Folgerungen:

- Da der Graph im *t-s*-Diagramm ein Geradenstück darstellt, ist der Quotient $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ für alle Zeitspannen und Streckenlängen konstant. Das bedeutet: Die Geschwindigkeit v war während des Laufs konstant.
- Da das Geradenstück hier zudem Teil einer *Ursprungsgeraden* ist, lässt sich der Zusammenhang zwischen den Zeitpunkten und den jeweiligen Streckenpunkten auf einfache Weise als **mathematische Funktion** der Zeit beschreiben:

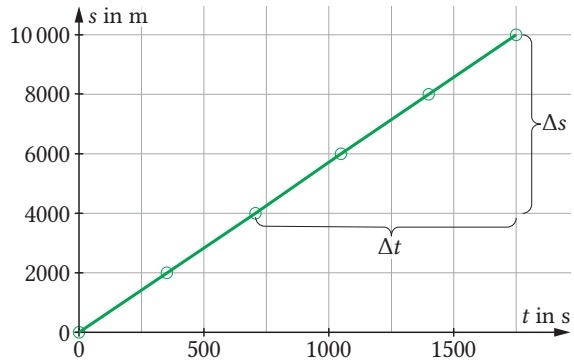
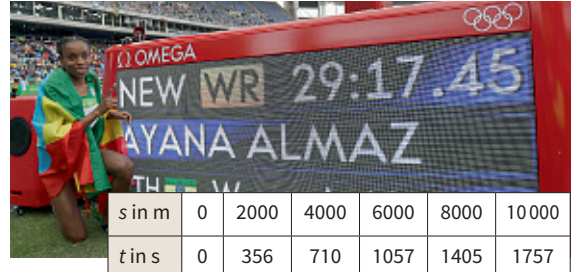
$$s(t) = v \cdot t \text{ mit } v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

! Merksatz

Eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit wird durch die Funktion $s(t) = v \cdot t$ beschrieben, wenn die Bewegung zum Zeitpunkt $t = 0 \text{ s}$ bei $s = 0 \text{ m}$ beginnt.

Im Zeit-Ort-Diagramm (*t-s*-Diagramm) ist der Graph eine Ursprungsgerade mit der Geschwindigkeit v als Steigung.

Damit können Sie z.B. für die Situation von Bild **B3** zu allen Zeitpunkten zwischen 0 s und 1757 s berechnen, an welchem Streckenpunkt sich die Läuferin befunden hat. Umgekehrt lassen sich auch zu allen Streckenpunkten zwischen 0 m und 10000 m die Zeitpunkte berechnen, an denen die Läuferin den jeweiligen Ort passiert hat.



B3 a) Die Äthiopierin Ayana Almaz stellte bei den olympischen Spielen 2016 über 10000 m einen Weltrekord auf. Die Tabelle gibt Zwischenzeiten dieses Laufs auf Sekunden genau an.
b) *t-s*-Diagramm

*** Beispielaufgabe**

- a) Berechnen Sie den Ort, den die Läuferin von Bild **B3** nach 10,0 Minuten passierte.
- b) Berechnen Sie den Zeitpunkt, an dem sie die 5000-m-Marke erreicht hat.
- c) Ermitteln Sie rechnerisch die Zeitspanne, die sie zum Durchlaufen einer Runde (400 m) benötigte.

Gegeben: $t_1 = 0 \text{ s}$, $t_{\text{ges}} = 1757 \text{ s}$; $s_1 = 0 \text{ m}$, $s_{\text{ges}} = 10000 \text{ m}$.
sowie für a) $t_2 = 10,0 \text{ min} = 600 \text{ s}$;
für b) $s_2 = 5000 \text{ m}$; für c) $\Delta s = 400 \text{ m}$

Gesucht: a) $s(10,0 \text{ min}) = s(600 \text{ s})$; b) $t_{5000\text{m}}$; c) Δt

Lösung:

Für alle Aufgaben berechnen wir zuerst v .

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_{\text{ges}} - s_1}{t_{\text{ges}} - t_1} = \frac{10000 \text{ m} - 0 \text{ m}}{1757 \text{ s} - 0 \text{ s}} = 5,69 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

a) $s(600 \text{ s}) = v \cdot t = 5,69 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 600 \text{ s} = 3414 \text{ m}$

Antwort: Die Läuferin passierte den Ort 3414 m.

b) $s(t) = v \cdot t$
 $\Rightarrow t_{5000\text{m}} = \frac{s(t)}{v} = \frac{5000 \text{ m}}{5,69 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 879 \text{ s}$

Antwort: Die Läuferin erreichte die 5000-Meter-Marke zum Zeitpunkt 879 s = 14 min 39 s.

c) $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{400 \text{ m}}{5,69 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 70,3 \text{ s}$

Antwort: Sie benötigte für eine Runde 70,3 s.

Aufgaben

Grundgesetz der Mechanik

- 1** Nehmen Sie zur jeweiligen Aussage begründet Stellung:
- Je schwerer ein Fahrzeug beladen ist, umso kleiner ist die maximale Beschleunigung.
 - Bremsen zwei Fahrzeuge mit gleicher Beschleunigung ab, so wirken jeweils gleich große Bremskräfte.
 - Sie springen von einem Stuhl und landen mit durchgestreckten Beinen bzw. federn bei der Landung ab. Dann wirkt beim abgefederten Sprung weniger Kraft auf Ihren Körper.
- 2** Ein Körper der Masse 50 kg wird mit der konstanten Kraft 200 N beschleunigt. Berechnen Sie seine Geschwindigkeit, die er nach 1 s erreicht hat.
- 3** Berechnen Sie den Betrag der wirkenden Kraft:
- Ein ICE mit 440 t beschleunigt mit $0,50 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
 - Ein Flughafenlöschfahrzeug mit 40 t beschleunigt mit $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
 - Ein 12,5-t-Lkw benötigt 40 s von 0 auf $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
 - Ein Sportwagen mit 1600 kg beschleunigt in 2,9 s von 0 auf $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
 - Eine Giftschlange stößt ihren Kopf (Masse: 30 g) in 80 ms um 20 cm vor, um ihre Beute zu überraschen.
 - Ein Zwergchamäleon schleudert beim Insektenfang in 30 ms die Zungenspitze ($m = 0,5 \text{ g}$) 9 cm weit.

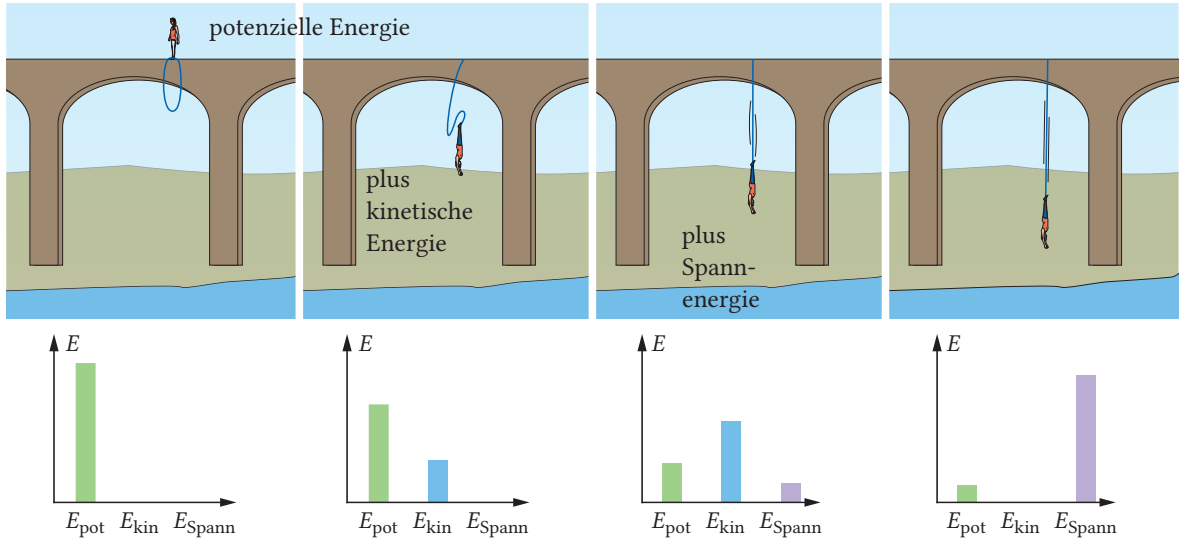


B14 Zu Aufgabe 3

- 4** Berechnen Sie jeweils, welche Masse beschleunigt wurde.
- Mit 200 N ergab sich die Beschleunigung $4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
 - Die Seilwinde beschleunigte das Segelflugzeug mit $11 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ bei einer Kraft von 55 kN.
 - Beim Bogenschießen wird ein Pfeil in 20 Millisekunden auf $250 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ beschleunigt. Dabei wirkt eine mittlere Kraft von 80 N.
 - In Südafrika wurde 2009 eine Springschabe entdeckt (*Saltoblattella monstibularis*), die beim Sprung durch eine Kraft von 4 mN mit $225 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ beschleunigt wird.

- 5** Berechnen Sie jeweils die Beschleunigung des Körpers:
- Bei einer Ariane-5-Rakete beträgt anfangs die Masse 780 t und die Schubkraft der Triebwerke 11 080 kN.
 - Zwei Athletinnen schieben ihren Zweierbob ($m = 170 \text{ kg}$) mit jeweils 185 N an.
 - Auf einen Schnellkäfer wirkt beim Absprung eine Kraft von 0,015 N, seine Masse ist $m = 0,004 \text{ g}$.
 - Auf einen Tennisball der Masse 57,0 g übt der Schläger eine Kraft von 114 N aus.
- 6** Berechnen Sie jeweils die erreichte Endgeschwindigkeit:
- Die Kontaktzeit zwischen Tennisschläger und Ball beim Aufschlag beträgt $\Delta t = 7,0 \text{ ms}$, die Kraft hat den Betrag $F = 342 \text{ N}$, der Ball die Masse $m = 57 \text{ g}$.
 - Ein Verkehrsflugzeug mit der Masse $m = 275 \text{ t}$ wird durch die Schubkraft der Triebwerke von 1250 kN während 20 Sekunden aus dem Stand beschleunigt.
 - Ein Radfahrer ($m = 80 \text{ kg}$) rollt zunächst mit $21,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ auf ebener Strecke, die Luftreibung übt 20 Sekunden lang eine Kraft von 24 N aus.
- 7** Isabel ist 50 kg leicht, ihr älterer Bruder Matthias dagegen wiegt 80 kg. Beide stehen auf einem Skateboard und haben jeweils das Ende eines 5,0 m langen Seils in der Hand. Matthias zieht nun mit einer Kraft von 160 N an dem Seil. Isabel zieht nicht und hält das Seil nur fest.
- Beschreiben Sie die Bewegung der Jugendlichen während der Zeitdauer des Ziehens.
 - Geben Sie die Kraft an, die während des Ziehens auf Isabel wirkt.
 - Berechnen Sie die Beschleunigungen beider Jugendlichen während des Ziehens am Seil.

Zusammenfassung



1. Energieumwandlung

Energie tritt in verschiedenen Formen auf, die sich ineinander umwandeln lassen. Bei mechanischen Energieformen unterscheidet man zwischen **potentieller Energie** (Lageenergie), die ein Körper aufgrund seiner Lage besitzt, **kinetischer Energie** (Bewegungsenergie), die ein Körper aufgrund seiner Geschwindigkeit hat, und **Spannenergie**, die ein Körper aufgrund seiner Verformung haben kann.

2. Mechanische Energieformen

Ein Körper der Masse m besitzt bei einem Ortsfaktor g in der Höhe h über dem gewählten Nullniveau die potentielle Energie

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h.$$

Wenn sich ein Körper der Masse m mit der Geschwindigkeit v bewegt, dann besitzt er die Bewegungsenergie (kinetische Energie)

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

Wenn eine Feder mit der Federkonstanten D um die Strecke s aus der Ruhelage ausgelenkt wird, dann beträgt ihre Spannenergie

$$E_{\text{Spann}} = \frac{1}{2} D \cdot s^2.$$

3. Energieumwandlung durch Krafteinwirkung

Wirkt eine konstante Kraft F_s in Richtung einer Bewegung um die Strecke Δs , so wandelt die Kraft während der Bewegung folgende Energiemenge um:

$$\Delta E = F_s \cdot \Delta s.$$

4. Energieerhaltungssatz

Die Gesamtenergie eines **abgeschlossenen Systems** bleibt immer erhalten. Ein System ist abgeschlossen, wenn keine Energie das System verlassen oder von außen in das System hineinkommen kann. Der **Energieerhaltungssatz** gilt auch bei der Umwandlung der verschiedenen Energieformen ineinander und bei der Übertragung von Energie von einem auf einen anderen Körper. In mechanischen Systemen ohne Reibung gilt, dass die Gesamtenergie die Summe aus potentieller, kinetischer und Spannenergie ist:

$$E_{\text{gesamt}} = E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} + E_{\text{Spann}}.$$

5. Energieentwertung

Im Idealfall des abgeschlossenen Systems ohne **Reibung** bleibt die Energie immer erhalten. In der Realität läuft jedoch kein Vorgang ohne Reibung ab. Durch Reibung wird ein Teil der Energie des Systems in thermische Energie umgewandelt, die anschließend nicht mehr vollständig in mechanische Energieformen umgewandelt werden kann und in die Umgebung abgegeben wird. Man spricht von **Energieentwertung**.

6. Leistung und Wirkungsgrad

Die Rate, mit der die Umwandlung von einer Energieform 1 in eine Energieform 2 stattfindet, nennt man **Energiestromstärke** oder **Leistung**:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = F \cdot v.$$



Aufgaben mit Lösungen

1 Erklären Sie die Begriffe potentielle Energie und kinetische Energie. Beurteilen Sie die Aussage: „Ein Körper hat eine potentielle Energie von 50 J.“

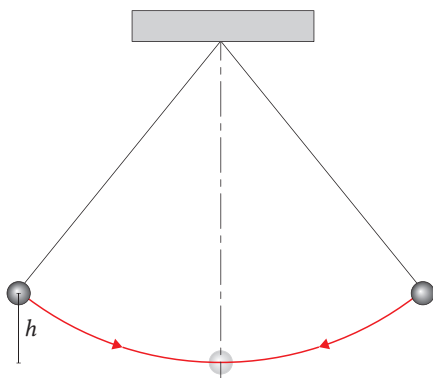
2 Ein Auto rollt mit einer Anfangsgeschwindigkeit von $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ eine Straße mit 5° Steigung hinauf. Reibung soll vernachlässigt werden.

- a) Welche Höhe erreicht das Auto?
- b) Welche Strecke legt das Auto zurück?

3 Thomas springt ohne Anlauf, Martina mit einem Anlauf von $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ vom 10-m-Brett im Schwimmbad ins Wasser. Bestimmen Sie die Geschwindigkeiten, mit denen Thomas und Martina die Wasseroberfläche erreichen.

4 Ein Akrobat ($m_1 = 80 \text{ kg}$) springt mit Gewichtsstücken (Gesamtmasse $m_2 = 50 \text{ kg}$) in der Hand von einem Podest auf ein $\Delta h_1 = 3,0 \text{ m}$ tiefer liegendes federndes Schleuderbrett. Das Brett biegt sich um $\Delta h_2 = 1,0 \text{ m}$ nach unten und im tiefsten Punkt lässt der Artist die Gewichte fallen. Berechnen Sie die maximale Höhe über der Startposition, die der Artist danach erreicht (Masse des Bretts und Reibung seien vernachlässigbar).

5 Eine an einem Faden aufgehängte Kugel wird bis zur Höhe h ausgelenkt. Anschließend wird sie losgelassen. Beschreiben Sie die Energieumwandlungen, die dabei auftreten. Gehen Sie dabei auch auf das Thema Energieerwertung ein.



B1 Zu Aufgabe 5

6 Ein Pendel der Länge $l = 150 \text{ cm}$ wird aus einer Position losgelassen, in der der Pendelkörper ($m = 300 \text{ g}$) gegenüber der Ruhelage um $s_1 = 25 \text{ cm}$ angehoben ist. Im tiefsten Punkt schneidet eine Rasierklinge den Faden durch.

a) Mit welcher Horizontalgeschwindigkeit und welcher Gesamtgeschwindigkeit trifft der Pendelkörper auf den Boden, der sich $s_2 = 1,0 \text{ m}$ unter der Ruhelage befindet?

b) Wie weit fliegt der Pendelkörper horizontal, bis er auftrifft?

7 Ein Pkw ($m = 1000 \text{ kg}$) fährt innerorts mit der Geschwindigkeit $v = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

a) Berechnen Sie die Bewegungsenergie des Fahrzeugs.

b) Wie hoch könnte man das Fahrzeug mit dieser Energie heben?

c) Beschreiben Sie die Energieumwandlungen, die beim Aufprall auf eine feste Betonmauer stattfinden.

8 Ein Paddelboot setzt sich in Bewegung, wenn durch das Paddel das Wasser nach hinten beschleunigt wird. Dabei nimmt sowohl die Geschwindigkeit



B2 Zu Aufgabe 6

des Bootes als auch die Geschwindigkeit des Wassers zu. Ist dadurch der Impulserhaltungssatz verletzt? Wie verhält es sich mit dem Energieerhaltungssatz?

9 Zwei Moschusochsen der Masse $m = 400 \text{ kg}$ laufen beim Kampf mit einer Geschwindigkeit von jeweils $v = 50 \text{ km/h}$ aufeinander zu. Berechnen Sie die Einzelimpulse, den Gesamtimpuls und die Bewegungsenergie vor dem vollständig inelastischen Stoß. Erklären Sie, was mit der Energie beim Stoß passiert.



B3 Zu Aufgabe 9

10 Eine Armbrust schießt einen Pfeil (Masse $m = 100 \text{ g}$) 100 m in die Höhe. Berechnen Sie die potentielle Energie des Pfeils in dieser Höhe.

3.2 Relativistische Kinematik

EB Einstiegsbeispiel



B1 GPS-Satellit

Atomuhren sind durch ihre Konstruktion besonders genau. Daher werden sie auch auf GPS-Satelliten verwendet, die u.a. diese Uhrzeit auf die Erde senden, z. B. an GPS-Empfänger. Allerdings werden die Atomuhren der Satelliten so eingestellt, dass sie etwas schneller laufen als vergleichbare Uhren auf der Erdoberfläche. Gehen diese dann nicht falsch? Warum macht man das?

V Einstiegsversuch



B2 Myonendetektor

Bild **B2** zeigt ein Experiment, in dem die Anzahl natürlicher Myonen gemessen wird. Myonen entstehen durch den Sonnenwind in der Stratosphäre 20 km über der Erdoberfläche. Sie zerfallen nach einer sehr kurzen Zeit ($2,2 \mu\text{s}$). Ihre Lebensdauer ist damit eigentlich zu kurz, um den Weg bis zur Erde zu schaffen, auch nicht mit Lichtgeschwindigkeit. Man sollte also erwarten, dass sie kaum auf der Erdoberfläche nachweisbar sind. Im Experiment misst man allerdings eine nicht zu vernachlässigende Anzahl Myonen, die eigentlich nicht mehr existieren sollten.

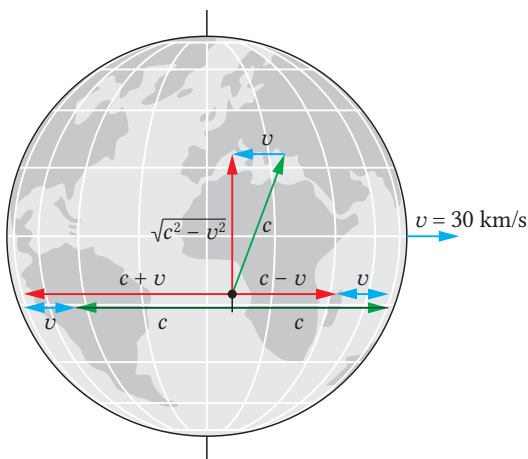
Gibt es einen absoluten Raum? NEWTONS Hypothese eines absoluten Raums kann nach dem galileischen Relativitätsprinzip nicht mit mechanischen Versuchen überprüft werden. Das Modell eines in diesem Raum ruhenden Äthers als Ausbreitungsmedium von Licht eröffnet aber eine nicht-mechanische Möglichkeit zur

experimentellen Überprüfung, ob dieser Äther bzw. der absolute Raum nachweisbar sind. Im berühmten *Michelson-Morley-Versuch* wurde auf nicht-mechanische Weise untersucht, ob sich Licht in einem bewegten Bezugssystem anders ausbreitet als in einem dazu ruhenden.

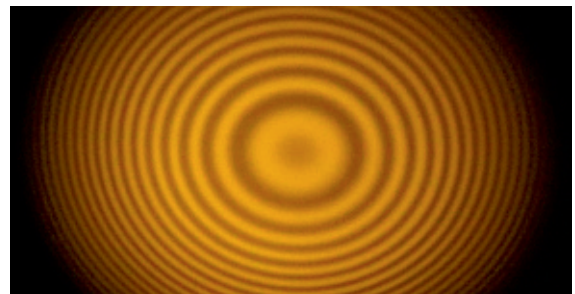
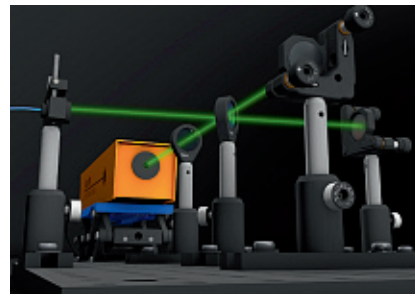
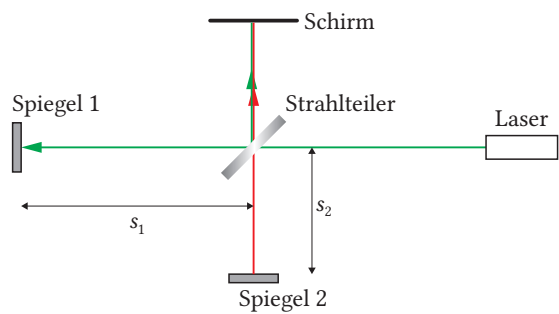
Vertiefung: Michelson-Morley-Experiment

Die Grundidee des zuerst 1881 in Potsdam von A. MICHELSON durchgeführten Experiments ist wie folgt: Wenn es einen Äther gibt, der im absoluten Raum ruht und in dem sich Licht ausbreitet, dann müsste sich auch die Erde in diesem Äther bewegen. Mit der Erde bewegt sich dann auch eine Lichtquelle. Das Licht wäre nun schneller, wenn es in Bewegungsrichtung der Lichtquelle strahlt, im Vergleich zu einer Ausbreitung senkrecht und (noch langsamer) entgegen zur Bewegungsrichtung der Lichtquelle im Äther. Die Erde bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von mindestens $30 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. (Das ist die Geschwindigkeit der Erde auf der Kreisbahn um die Sonne. Hinzu käme noch die Geschwindigkeit des Sonnensystems um das Zentrum der Milchstraße ($220 \frac{\text{km}}{\text{s}}$) bzw. in Bezug zur sog. kosmischen Hintergrundstrahlung ($377 \frac{\text{km}}{\text{s}}$)). Dies ist zwar im Vergleich zu Lichtgeschwindigkeit ($c = 299792458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$) gering, die Änderungen der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts wären aber durch sog. Interferenz-Experimente (siehe J1/J2) nachweisbar. Hierzu lässt man – wie in Bild B3 dargestellt – Licht einmal in Bewegungsrichtung der Erde und einmal senkrecht dazu (also ohne Bewegungsanteil der Erde) laufen.

Der Versuch sieht im Einzelnen so aus: In einem Michelson-Interferometer (B4) wird Laserlicht in einem halbdurchlässigen Spiegel je zur Hälfte reflektiert und durchgelassen. Beide Teilstrahlen durchlaufen dann zueinander senkrechte Strecken, werden durch Spiegel überlagert und treffen sich



B3 Grundidee des Michelson-Morley-Experiments



B4 Michelson-Interferometer a) Strahlengang b) Versuchsaufbau c) Ergebnis

wieder auf dem Bildschirm. Dort entsteht ein Interferenzmuster.

Wenn die beiden Spektrometerarme in B4 die gleiche Länge $s_1 = s_2 = s$ haben, ergibt sich für die Laufzeiten des Lichts der jeweiligen Arme

$$t_{\text{senkrecht}} = \frac{2s}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2s}{c} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$t_{\text{parallel}} = \frac{s}{c - v} + \frac{s}{c + v} = \frac{2sc}{c^2 - v^2}$$

$$t_{\text{parallel}} = \frac{2s}{c} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2s}{c} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$t_{\text{parallel}} = t_{\text{senkrecht}} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Vertiefung: Feynman-Diagramme

Feynman-Diagramme sind vereinfachte grafische Darstellungen der Wechselwirkung von Elementarteilchen und werden in der Teilchen- und Festkörperphysik verwendet. Dabei ist die Besonderheit dieser Diagramme, dass sie in mathematische Ausdrücke zur Berechnung dieser Wechselwirkung übersetzt werden können und somit nicht „nur“ eine Veranschaulichung darstellen. Sie stellen den Prozess anhand eines zeitlichen Ablaufs dar. Dabei entsprechen die Pfeile in Zeitrichtung den Teilchen und Pfeile, die entgegen der Zeitrichtung zeigen, den Anti-Teilchen. Weiterhin gibt es für jeden Teilchentyp ein eigenes Symbol: elektromagnetische Strahlung (Wellen), Gluonen der starken Wechselwirkung (Spirale), Teilchen (Pfeile). Die Wechselwirkung wird durch einen Punkt (Vertex) symbolisiert; hier können Teilchen erzeugt, vernichtet oder gestreut werden. An jedem Punkt treffen immer drei Linien aufeinander. Anti-Teilchen werden in Feynman-Diagrammen so dargestellt, als würde sie sich rückwärts in der Zeit bewegen. Man kann somit leicht erkennen, dass genau so viele Teilchen „in den Prozess“ gehen wie herauskommen (weil zwei entgegengesetzte Pfeile sich aufheben).

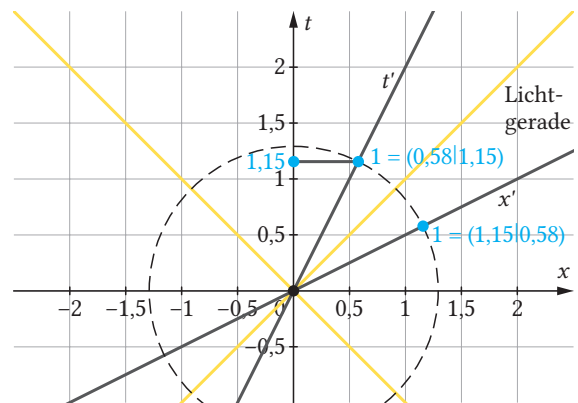
elektromagnetische Strahlung (Wellen), Gluonen der starken Wechselwirkung (Spirale), Teilchen (Pfeile). Die Wechselwirkung wird durch einen Punkt (Vertex) symbolisiert; hier können Teilchen erzeugt, vernichtet oder gestreut werden. An jedem Punkt treffen immer drei Linien aufeinander. Anti-Teilchen werden in Feynman-Diagrammen so dargestellt, als würde sie sich rückwärts in der Zeit bewegen. Man kann somit leicht erkennen, dass genau so viele Teilchen „in den Prozess“ gehen wie herauskommen (weil zwei entgegengesetzte Pfeile sich aufheben).

Sind Reisen in die Zukunft möglich? Mit der Zeitdilatation ist es somit im Bereich des Möglichen, in die Zukunft zu reisen. Nichts anderes macht das Myon auf seiner Reise auf die Erde ja: Eigentlich zerfällt es auf dem Weg nach unten, sodass evtl. erst ein (ausgedachtes) „Tochter-“ oder „Enkel-Myon“ (...) den Boden erreichen könnte (d. h. nach mehreren Lebenszeiten).

Der Trick – wie man sieht – ist, sich mit einer möglichst großen Geschwindigkeit zu bewegen; man reist umso weiter in die Zukunft – da die Zeit ja langsamer verläuft – je länger man sich dieser hohen Geschwindigkeit bewegt. Um einen massereichen Körper (z. B. einen Menschen) so stark zu beschleunigen, dass dieser Effekt messbar wird, sind allerdings enorme Energien und einige Jahre Beschleunigungszeit notwendig.

Minkowski-Diagramme (2) – Skalierung. Mithilfe der Zeitdilatation kann man die Skalierung der x' - t' -Achsen für das Koordinatensystem des bewegten Beobachters im Minkowski-Diagramm ermitteln. Hierzu muss der Streckfaktor berechnet werden: Dieser gibt die Dauer einer Sekunde im x - t -System an. Der Streckfaktor ist

nichts anderes als der Lorentzfaktor γ . Angenommen $v = 0,5 c$, dann ist $\gamma \approx 1,15$, der Schnittpunkt der Parallele zu $t = 1,15$ s mit t' entspricht dann der Zeitdauer 1 s für den bewegten Beobachter; eine Sekunde für S' entspricht auch im Minkowski-Diagramm der verlängerten Zeit 1,15 s! Der Skalenwert 1 auf der x' -Achse hat denselben Abstand vom Ursprung, da die Lichtgerade die Winkelhalbierende bilden soll.



B12 Skalierung des Minkowski-Diagramms

Vertiefung: Zwillingsparadoxon



B13 Kann man durch Weltraumreisen seine Alterung beeinflussen?



4.1 Mathematische Hilfsmittel

Da in der Physik meist quantitative Aussagen getroffen werden, ist es nicht verwunderlich, dass die Strukturwissenschaft der quantitativen Größen – also die Mathematik – eine sehr große Anzahl an Mitteln zur Bearbeitung physikalischer Probleme (Aufgaben, Fragen) zur Verfügung stellt.

Gleichungen. Gleichungen setzen (hier meist **skalare**) Größen (Variablen bzw. Terme) in eine Beziehung zueinander. Ein Skalar ist eine mathematische Größe, bei der allein die Angabe einer Zahl genügt. Physikalisch bedeutet dies: Eine skalare Größe ist richtungsunabhängig, beispielsweise die Energie E , Masse m , Spannung U .

Dabei sagt das Gleichheitszeichen „=“ aus, dass auf der rechten Seite das gleiche wie auf der linken Seite steht. Das ist physikalisch wichtig, da dies bedeutet, dass auf beiden Seiten die gleichen Größen, sprich Einheiten (Kap. 4.2), stehen. Meint man Entsprechungen wie

„2 US-Dollar sind so viel wert wie 1 Euro“, so schreibt man das mit dem Zeichen $\hat{=}$ wie z. B. $2 \$ \hat{=} 1 €$ usw.

$$2A = B$$

$2A$ (auf der linken Seite) soll das Gleiche wie das B auf der rechten Seite sein. Wenn B nun 6 ist, dann muss A den Wert 3 haben (da 2 mal 3 auch 6 ist). Dies erhält man auch durch eine sog. *Äquivalenzumformung*: Man führt die gleiche Operation auf beiden Seiten aus (damit das Gleichheitszeichen weiterhin gilt). Man symbolisiert dies mit einem senkrechten Strich auf der rechten Seite. Im Beispiel teilt man beide Seiten durch die Zahl zwei:

$$2A = B \quad | :2 \quad A = \frac{B}{2}$$

Der umgeformten Gleichung sieht man das oben (in Worten) Beschriebene an: A ist der halbe Werte von B .

Formeln und physikalische Gesetze werden oft in der Form einer Gleichung aufgestellt, ebenso Bilanzen von Erhaltungsgrößen oder Gleichheit anderer Größen. Der

Multiplikation und Division mit jeder Zahl oder Größe/Variable ungleich 0 ist erlaubt. – Dies gilt nicht für die Zahl 0! – <i>Achtung</i> : Bei Summen muss die Multiplikation bzw. Division mit jedem Summanden/Term durchgeführt werden!	Beispiel 1 $s = v \cdot t \quad : t$ $\frac{s}{t} = v$ Beispiel 2 $\frac{1}{2}mv^2 + mgh = \frac{1}{2}Ds^2 \quad : m$ $\frac{1}{2}v^2 + gh = \frac{1}{2}\frac{Ds^2}{m}$
Addition und Subtraktion mit jeder Zahl oder Größe/Variable ist erlaubt.	Beispiel $5 = 2 + 3 \quad +6$ $5 + 6 = 2 + 3 + 6$ $11 = 11$
Quadrieren ist keine Äquivalenzumformung, außer man schränkt sich auf positive oder negative Zahlen ein.	Beispiel: $t = 2 \quad \text{Quadrieren}$ $t^2 = 4 \quad \text{Wurzel}$ $t_{\pm} = \pm 2 \quad (\rightarrow \text{nur } +)$
Bilden der inversen Gleichung (d. h. auf beiden Seiten Zähler und Nenner vertauschen) ist erlaubt. Dies gilt nur, wenn pro Seite nur 1 Bruch steht!	Beispiel: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{s_2}{s_1} \quad \text{Invertieren}$ $\frac{F_2}{F_1} = \frac{s_1}{s_2}$
Einfügen von 1: Man kann an jeder Stelle einer Gleichung eine Multiplikation mit $1 = \frac{c}{c}$ einfügen.	Beispiel: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2 \cdot \frac{m}{m} \quad p = mv$ $E_{\text{kin}} = \frac{p^2}{2m}$
Einfügen von 0: Man kann an jeder Stelle einer Gleichung eine Addition von $0 = a - a$ einfügen.	Beispiel: $y = x^2 + 4$ $y = x^2 + 2x + 4 - 2x \quad 0 = 2x - 2x$ $y = (x + 2)^2 - 2x$
Substitution: Man kann einen Term durch einen anderen Term ersetzen.	Beispiel: $x^4 - 2 = 2$ $y^2 - 2 = 2$ $y = 4$ $x^2 = 4$ $x_{1,2} = \pm 2$ Hier wurde eine Substitution $y = x^2$ durchgeführt.

T1 Regeln und Beispiele zu Äquivalenzumformungen

Vertiefung: Geschwindigkeit als Änderungsrate

Die **Geschwindigkeit** v wurde in Kap. 1 als Quotient zweier Messgrößen beschrieben, nämlich der Streckenlänge Δs und der Zeitspanne Δt . Im Zusammenhang der Darstellung in t - s -Diagrammen bzw. $s(t)$ -Diagrammen kann sie unter einem etwas allgemeineren Blickwinkel betrachtet werden.

Hierzu beachte man, dass die bisher allgemein (mathematisch) beschriebenen Achsen nun folgende Bedeutung haben:

x -Achse $\rightarrow t$ -Achse: Hier wird die Zeit (der Messung) aufgetragen.

y -Achse $\rightarrow s$ -Achse: Hier wird der Ort (der Messung) bzw. der Weg aufgetragen.

Allgemein kann man als durchschnittliche (zeitliche) Änderungsrate einer beliebigen Messgröße y den Quotienten aus der Änderung $\Delta y = y_2 - y_1$ dieser Messgröße und der dafür benötigten Zeitspanne $\Delta t = t_2 - t_1$ bezeichnen:

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1}.$$

Mithilfe der Änderungsrate m kann man charakterisieren, wie schnell oder langsam Veränderungen der entsprechenden Größe y stattfinden. Große *Beträge*

der Änderungsrate m bedeuten dabei eine schnelle Veränderung der Größe y , kleine Beträge stehen für langsame Veränderungen. Auch zeigt m , ob es sich um eine Zu- oder Abnahme handelt: Positive Werte bedeuten eine Zunahme, negative eine Abnahme.

Änderungsraten kennen Sie auch aus dem Alltag: Die Teuerungsrate bei Konsumgütern liegt bei etwa 2 % pro Jahr, die Weltbevölkerung wächst derzeit mit einer Rate von ca. 80 Millionen Menschen pro Jahr, die Wachstumsgeschwindigkeit eines Haars beträgt ungefähr 1 cm pro Monat etc.

Ebenso kann man die physikalische Größe „Geschwindigkeit“ als Änderungsrate interpretieren:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}.$$

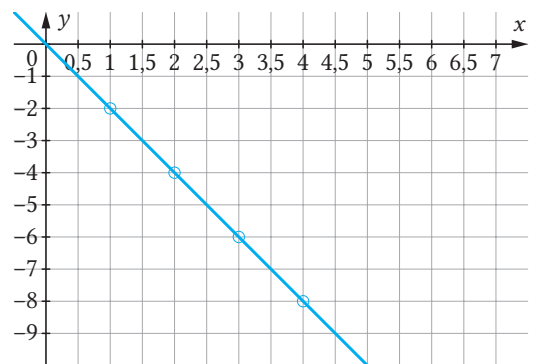
Die zugrundeliegende Messgröße ist hier der Ort s eines Körpers. Je größer der Betrag von v ist, umso schneller ändert sich der Ort des Körpers, je kleiner der Betrag ist, umso langsamer geschieht dies. Ist v positiv, so nehmen die Ortswerte s zu, bei negativem v nehmen sie ab. Ein negativer Wert der Geschwindigkeit v bedeutet, dass sich der Körper entgegen der positiven Ortsachse bewegt.

Aufgaben

1 a) Zeichnen Sie den Graphen der Funktion $y = 3x$. Erstellen Sie hierzu ein Δx - m -Diagramm und messen Sie für unterschiedliche Intervalle Δx die Fläche unter dem Graphen aus. Vergleichen Sie mit dem Wert aus dem x - y -Diagramm.

b) Überlegen Sie was passiert, wenn Sie den Graphen um $\Delta y = d$ nach oben oder unten verschieben. Was können Sie somit *nicht* aus dem Δx - m -Diagramm entnehmen und ist somit frei wählbar?

2 Erstellen Sie zu folgendem Diagramm der Steigungswerte das Diagramm der „ursprünglichen“ Funktion.



B17 Zu Aufgabe 2



Lösungen

Kapitel 1 Kinematik

1. Umrechnung in m/s:

$$\text{Kathi: } v_K = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Lea: } v_L = 20 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 20 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} \approx 5,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\begin{aligned} \text{Marie: } v_M &= 17 \text{ mph} = 17 \cdot 1,609 \frac{\text{km}}{\text{h}} \\ &= 17 \cdot 1,609 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} \approx 7,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Marie fährt am schnellsten zur Schule.

2. Lösungsmöglichkeit 1:

Da der Startort $s_A = 0$ und die Startzeit $t_A = 0$ s ist, kann man die Formel $s(t) = v \cdot t$ verwenden, die wir nach t umstellen: $t = \frac{s(t)}{v}$.

$$\text{a) } v = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ Für } s = 500 \text{ m ergibt sich: } t = \frac{500 \text{ m}}{1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 333 \text{ s,}$$

$$\text{Für } s = 1000 \text{ m ergibt sich: } t = \frac{500 \text{ m}}{1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 667 \text{ s.}$$

$$\text{b) } v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ Für } s = 500 \text{ m ergibt sich: } t = \frac{500 \text{ m}}{5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 100 \text{ s,}$$

$$\text{Für } s = 1000 \text{ m ergibt sich: } t = \frac{500 \text{ m}}{5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 200 \text{ s.}$$

$$\text{c) } v = 2,5 \frac{\text{cm}}{\text{min}} = 0,025 \frac{\text{m}}{\text{min}} \text{ Für } s = 500 \text{ m ergibt sich:}$$

$$t = \frac{500 \text{ m}}{0,025 \frac{\text{m}}{\text{min}}} = 20\,000 \text{ min, Für } s = 1000 \text{ m ergibt sich:}$$

$$t = \frac{1000 \text{ m}}{0,025 \frac{\text{m}}{\text{min}}} = 40\,000 \text{ min.}$$

Lösungsmöglichkeit 2:

Man stellt die Formel $s(t) = s_A + v \cdot (t - t_A)$ um, sodass man erhält: $t = \frac{s(t) - s_A}{v} + t_A$. Mit $t_A = 0$ s ergibt sich somit:

$$\text{a) } v = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}, 500 \text{ m: } t = \frac{500 \text{ m} - 0 \text{ m}}{1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + 0 \text{ s} = 333 \text{ s,}$$

$$1000 \text{ m: } t = \frac{1000 \text{ m} - 0 \text{ m}}{1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + 0 \text{ s} = 667 \text{ s.}$$

$$\text{b) } v = 5,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}, 500 \text{ m: } t = \frac{500 \text{ m} - 0 \text{ m}}{5,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + 0 \text{ s} = 100 \text{ s.}$$

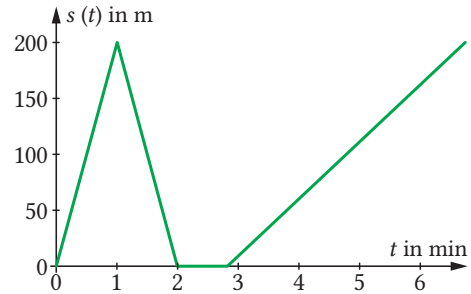
$$1000 \text{ m: } t = \frac{1000 \text{ m} - 0 \text{ m}}{5,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + 0 \text{ s} = 200 \text{ s.}$$

$$\text{c) } v = 2,5 \frac{\text{cm}}{\text{min}} = 0,025 \frac{\text{m}}{\text{min}},$$

$$500 \text{ m: } t = \frac{500 \text{ m} - 0 \text{ m}}{0,025 \frac{\text{m}}{\text{min}}} + 0 \text{ s} = 20\,000 \text{ min.}$$

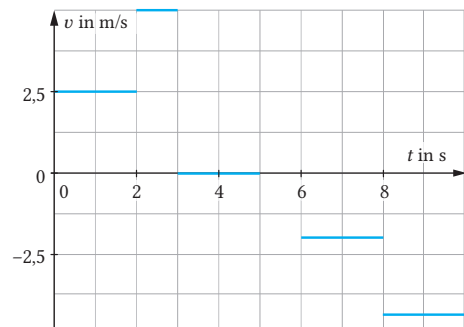
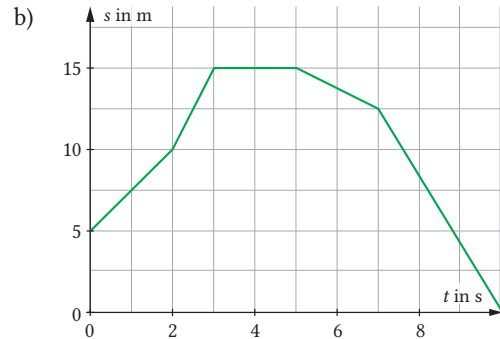
$$1000 \text{ m: } t = \frac{1000 \text{ m} - 0 \text{ m}}{0,025 \frac{\text{m}}{\text{min}}} + 0 \text{ s} = 40\,000 \text{ min.}$$

3. Skalierung z. B. wie in der Grafik:



Passende Geschichte z. B.: Kerem fährt mit dem Rad los, bis er nach einer Minute bemerkt, dass er seine Trinkflasche vergessen hat. Er kehrt um und fährt genauso schnell zurück. Dann braucht er fast eine Minute, um die Flasche in seinem Rucksack zu verstauen. Anschließend macht er sich wieder auf den Weg, allerdings etwas langsamer.

4. a) Zunächst fährt das Fahrzeug zwei Sekunden lang mit einer Geschwindigkeit von $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ vorwärts, anschließend für eine Sekunde mit doppelter Geschwindigkeit. Danach bleibt es zwei Sekunden stehen, um nun in entgegengesetzter Richtung weiterzufahren. Dabei ist der Geschwindigkeitsbetrag $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Die letzten drei Sekunden fährt es weiter in dieser Richtung weiter mit einer Geschwindigkeit vom Betrag $4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.



Bildquellen

|ADAC eV./adac.de, München: ADAC Test- und Technik 70.1. |ADAC Südbayern e. V., München: 100.1. |akg-images GmbH, Berlin: 78.1. |Alamy Stock Photo, Abingdon/Oxfordshire: Daemmrich, Bob 11.1; FLHC A2020 14.3; Omied, Matteo 210.2; Science History Images 13.8, 14.4; Sergiusz, Sowa 147.2; The Picture Art Collection 12.3, 12.4, 13.6; Timewatch Images 179.1; World History Archive 13.14. |Alamy Stock Photo (RMB), Abingdon/Oxfordshire: Disability Images 123.4; GL Archive 15.1; gualtiero boffi 153.1; H.S. Photos 78.2; Ian Patrick 158.2; imageBROKER/Peuckert, Michael 69.1; Ivy, Allan 116.2; Kotsovolos, Panagiotis 161.1; lemmens, frans 60.1; Mcsweeny, Stephen 53.2; Panther Media GmbH/Francis47 162.1; Prior, Sean 168.3; Robert Haasmann 202.3; stockeurope 131.1. |Berghahn, Matthias, Bielefeld: 8.2, 14.5, 14.6, 15.2, 15.3, 16.1, 22.1, 27.1, 27.2, 31.1, 52.1, 55.2, 55.3, 55.4, 61.3, 77.2, 97.1, 104.1, 106.1, 108.2, 123.3, 125.1, 125.2, 162.2, 170.1, 183.1, 186.1. |Camici, Axel, Pogum/Jemgum: 51.2. |Deutsche Bahn AG, Berlin: 25.1, 25.2, 25.3, 25.4. |Deutsche Bahn AG - Marketingkommunikation, Berlin: Pablo Castagnola 23.1. |Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V. (DVR) / www.dvr.de, Bonn: 49.1. |Deutsches Museum, München: 121.1. |fotolia.com, New York: ARochau 202.1; bluraz 130.1; stuporter 85.1; Tony Campbell 48.2. |Friege, Gunnar, Hannover: 16.2, 16.3. |Gebr. Winter GmbH & Co KG, Jungingen: 33.1. |Getty Images, München: Al Bello 32.1; Buchanan, Andy/AFP 116.1; Okan Ozer 24.1; POOL/AFP/DAVID RAMOS 40.1. |Gleixner, Dr. Christian, Iffeldorf b. München: 13.3. |Google Maps / Street View: 12.1. |Imago, Berlin: Ruhnke, Oliver 77.1. |iStockphoto.com, Calgary: 4x6 14.2; AleksandarGeorgiev 228.1; Anastasiia_M 182.1, 182.2; bhaumik, suman 145.2; Garcia, Job 136.3; Gutzemberg 152.2; Inok 209.1; Jacobi, Nils 136.2; Lightstar59 137.1; Ljupco 216.2; MBPROJEKT_Maciej_Bledowski 145.1; MediaProduction 172.1; microgen 173.2; Müller, Christian 149.1; nikitos77 44.1; Orchidpoet 177.1; Patrizi, Leonardo 75.1; poplasen 143.1; Stavila, Roman 172.2; Sylphe_7 228.2, 228.3; technotr 13.2; ThomasVogel 208.1; tmeks 163.2; Urs Siedentop 132.1; ValentynVolkov 108.3; VisualCommunications 124.1, 158.1. |ITER Organization Headquarters, St. Paul-lez-Durance: @iter.org 226.1. |Kilian, Ulrich - science & more redaktionsbüro, Frickingen: 127.1, 153.2, 155.1, 156.2, 202.2, 203.1, 257.1. |Lüddecke, Liselotte, Hannover: 148.1, 194.1. |Naumann, Andrea, Aachen: 59.2, 76.1, 76.2, 96.2, 96.3, 122.1, 122.2, 122.3, 157.2. |OKAPIA KG - Michael Grzimek & Co., Frankfurt/M.: Manfred Uselmann 101.2. |Picture-Alliance GmbH, Frankfurt/M.: AP Photo/Matt Slocum 28.1; blickwinkel/McPHOTOS 58.1; dpa/Polizei Bonn 49.2; dpa/Schrader, Matthias 130.2; empics/Alexander, Matt 156.1. |Polizeipräsidium Mittelhessen, Friedberg: 19.1. |Pressefoto ULMER, Hirrlingen: 38.1. |RWTH Aachen University, Aachen: 35.1, 71.1, 99.1, 152.1, 163.1, 252.1; Henning Rode 252.2, 252.3, 253.1; Kristine Tschirschky 151.1. |SCC Events/BMW Berlin-Marathon, Berlin: 17.2. |Schobel, Ingrid, Hannover: 53.1. |Science Photo Library, München: DJewitt / STSci / ESA / NASA 223.1; Gaff, Karl 210.1. |Shutterstock.com, New York: A. Saad, Fouad 192.1; ABB Photo 67.1; Africa Studio 154.1; Aleksey, Novikov 189.2; Balakate 82.1; Belish 221.1, 221.2; Dotted Yeti 8.3; Eroshka 8.1; G.roman 248.1; Goinyk, Volodymyr 185.1; Graiki, Mauricio 136.1; green_Kim 167.2; Jean, Natalie 113.1, 113.5; Kopyyka 222.1; Lehrer 136.6; Mamulchenko, Darya 136.5; Mar.K 184.1; meunierd 207.1; mipan 178.2; Monkey Business Images 14.1; monticello 136.7; moonsabuy 168.2; Nivens, Sergey 216.1; Petr Toman 33.2; Pushish Images 178.1; Ralf Siemieniec 17.1; Robert Red2000 31.2; Romariolen 136.4; Sadovski, Vadim 197.1; Sky Antonio 101.1; solareven 167.1; SpaceKris 136.8; spline_x 173.1; SSKH-Pictures 95.2; Standret 189.1; Stock Store 51.1; tam_odin 184.2; Tashal 10.1; Torychemistry 136.9; Vergara Pina Fernando Wla 225.1; vlabo 186.2; Ward, Marc 168.1. |stock.adobe.com, Dublin: 291031784 Titel; Alex 12.2; Anuj 13.10; Barskaya, Galina 13.9; Belish 56.2; C. Schüßler 108.1; cesaresent 13.11; Curioso Photography 118.1; dieter76 123.1; ferkelraggae 89.2; Florin 150.1; fotogestoeber 170.2; freefly 113.2, 113.3, 113.4; FS-Stock 13.1; germai 61.1; gourmecana 96.1; guruXOX 13.4; hunterbliss 12.5; jagodka 48.4; johnmerlin 147.1; Karin Witschi 79.1; Koch, Karsten 61.2; konradbak 66.1; Kristensen, Lasse 129.1; Kzenon 109.1; lzf 123.2; maho 152.3; Maridav 46.1; master1305 13.5, 13.7, 13.13; matimix 47.1; MoiraM 47.2; mulderphoto 59.3; Nnakow, Stanislaw 36.1; nokturnal 83.1; ohnmerlin 95.1; Petkov 56.1; pchichak 48.3; Pixel-Shot 13.12; Pravdina, Oksana 72.1, 72.2; Renaud, Louis 98.1, 111.1; Rieperdinger, Michael 89.1; Rosskothen, Michael 55.1; Smartha 72.3, 72.4; snaptitude 48.1; Tony 59.1; travelcaesar 34.1; weedezign 36.2; zoteva87 101.3. |Tegen, Hans, Hambühren: 119.1. |ZARM, Universität Bremen, Bremen: 98.2. |© Europa-Park, Rust bei Freiburg: 157.1. |© LEYBOLD / LD DIDACTIC GmbH/www.ld-didactic.de, Hürth: 209.2.

Wir arbeiten sehr sorgfältig daran, für alle verwendeten Abbildungen die Rechteinhaberinnen und Rechteinhaber zu ermitteln. Sollte uns dies im Einzelfall nicht vollständig gelungen sein, werden berechnete Ansprüche selbstverständlich im Rahmen der üblichen Vereinbarungen abgegolten.