

DUDEN

BASISWISSEN
SCHULE



Extra

- > Mit ausgearbeiteten Referaten direkt im Buch
- > Weitere Referats-themen zum Download

PHYSIK

5. BIS 10. KLASSE

Duden

BASISWISSEN SCHULE

PHYSIK

5. BIS 10. KLASSE

6., aktualisierte Auflage

Dudenverlag
Berlin

Weitere Referate sind auf www.duden.de/Basiswissen-5-bis-10-Klasse zu finden

Herausgeber

Prof. Dr. habil. Lothar Meyer, Dr. Gerd-Dietrich Schmidt

Autoren

Prof. Detlef Hoche

Wiebke Salzmann (Referate)

Dr. Josef Küblbeck

Dr. Gerd-Dietrich Schmidt

Prof. Dr. habil. Lothar Meyer

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Das Wort **Duden** ist für den Verlag Bibliographisches Institut GmbH als Marke geschützt.

Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Für die Inhalte der im Buch genannten Internetlinks, deren Verknüpfungen zu anderen Internetangeboten und Änderungen der Internetadresse übernimmt der Verlag keine Verantwortung und macht sich diese Inhalte nicht zu eigen.

Ein Anspruch auf Nennung besteht nicht.

Für die Nutzung des Internetportals www.duden.de gelten die Allgemeinen Geschäftsbedingungen (AGB) des Internetportals, die jederzeit unter dem entsprechenden Eintrag abgerufen werden können.

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nicht gestattet.

© Duden 2017 D C B A

Bibliographisches Institut GmbH, Mecklenburgische Straße 53, 14197 Berlin

Redaktionelle Leitung Simone Bahrenberg

Redaktion David Harvie

Illustrationen Christine Gebreyes, Gerlinde Keller, Sybille Storch

Herstellung Uwe Pahnke

Layout Britta Scharffenberg

Umschlaggestaltung Büroecco, Augsburg

Satz DZA Druckerei zu Altenburg GmbH, Altenburg

Grafiken Simone Felgentreu, Nina Geist, Claudia Kilian, Jens Prockat, Dieter Ruhmke, Wiebke Salzmann, Walther-Maria Scheid

Druck und Bindung Grafisches Centrum Cuno GmbH & Co. KG, Calbe

Printed in Germany

ISBN 978-3-411-71466-7

Inhaltsverzeichnis

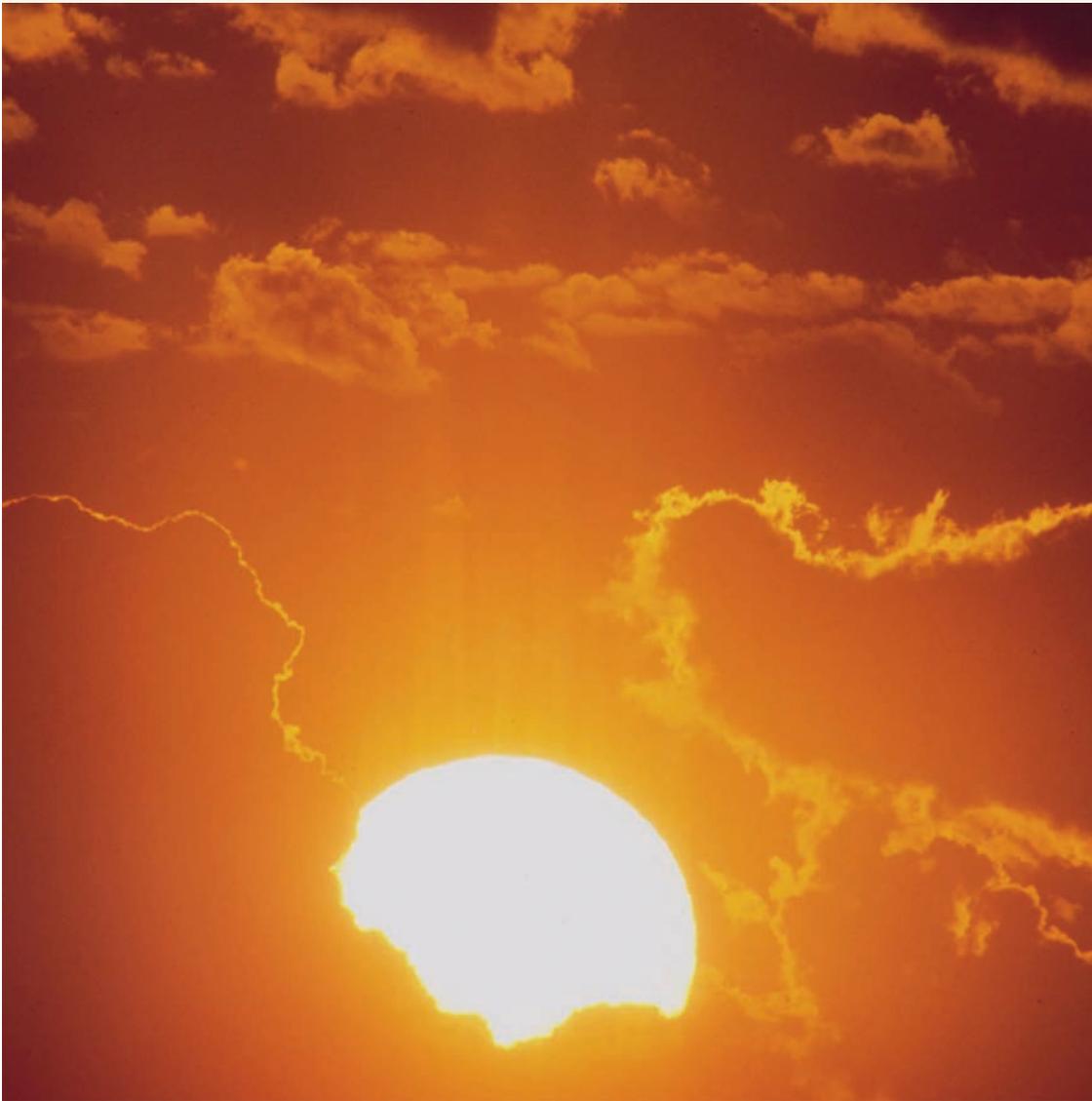
1	Die Physik – eine Naturwissenschaft	7	
1.1	Gegenstand und Teilgebiete der Physik	8	
1.1.1	Die Naturwissenschaft Physik	8	
1.1.2	Die Physik und die anderen Naturwissenschaften	12	
1.1.3	Die Teilgebiete der Physik	15	
1.1.4	Physik, Technik und Alltag	16	
1.2	Denk- und Arbeitsweisen in der Physik	18	
1.2.1	Begriffe und Größen in der Physik	18	
1.2.2	Gesetze, Modelle und Theorien in der Physik	27	
1.2.3	Erkenntniswege in der Physik	31	
1.2.4	Tätigkeiten in der Physik	42	
1.2.5	Lösen physikalischer Aufgaben	56	
2	Mechanik	67	
2.1	Eigenschaften von Körpern und Stoffen	68	
2.1.1	Das Volumen von Körpern	68	
2.1.2	Die Masse von Körpern	70	
2.1.3	Die Dichte von Stoffen	72	
2.1.4	Der Aufbau der Stoffe aus Teilchen	74	■ Überblick 77
2.2	Bewegung von Körpern	78	
2.2.1	Mechanische Bewegungen	78	
2.2.2	Die Geschwindigkeit von Körpern	81	
2.2.3	Die Beschleunigung von Körpern	83	
2.2.4	Gleichförmige Bewegungen	84	
2.2.5	Ungleichförmige Bewegungen	87	
2.2.6	Die Überlagerung von Bewegungen	90	■ Überblick 94
2.3	Kräfte und ihre Wirkungen	95	
2.3.1	Die Größe Kraft	95	
2.3.2	Die newtonschen Gesetze	101	
2.3.3	Die Gewichtskraft	102	
2.3.4	Die Radialkraft	104	
2.3.5	Reibung und Reibungskräfte	105	
2.3.6	Das Drehmoment	108	
2.3.7	Schwerpunkt von Körpern und Standfestigkeit	109	
2.3.8	Kraftumformende Einrichtungen	110	
2.3.9	Der Auflagedruck	116	
2.3.10	Gravitation	117	■ Überblick 122
2.4	Mechanische Arbeit, Energie und Leistung	123	
2.4.1	Die mechanische Arbeit	123	
2.4.2	Die mechanische Energie	126	
2.4.3	Die mechanische Leistung	130	
2.4.4	Der Wirkungsgrad	131	■ Überblick 132
2.5	Mechanische Schwingungen und Wellen	133	
2.5.1	Mechanische Schwingungen	133	
2.5.2	Mechanische Wellen	139	
2.5.3	Schall und Lärm	143	■ Überblick 149

	2.6 Mechanik der Flüssigkeiten und Gase	150
	2.6.1 Der Druck in Flüssigkeiten und Gasen	150
	2.6.2 Auftrieb in ruhenden Flüssigkeiten und Gasen	158
	2.6.3 Strömende Flüssigkeiten und Gase	159
■ Überblick 162	3 Wärmelehre	163
	3.1 Temperatur und Wärme	164
	3.1.1 Die Temperatur von Körpern	164
	3.1.2 Wärme und Energie	167
	3.1.3 Die thermische Leistung von Wärmequellen	171
	3.2 Volumenänderung von Körpern bei Temperaturänderung	172
	3.2.1 Volumenänderung von Körpern	172
	3.2.2 Längenänderung von festen Körpern	174
	3.2.3 Zustandsänderung von Gasen	175
	3.3 Aggregatzustandsänderungen	177
	3.4 Wärmeübertragung	182
	3.5 Hauptsätze der Wärmelehre und Wärmekraftmaschinen	187
■ Überblick 193, 194	3.5.1 Hauptsätze der Wärmelehre	187
	3.5.2 Wärmekraftmaschinen	189
	4 Elektrizitätslehre	195
	4.1 Der elektrische Stromkreis	196
	4.1.1 Elektrische Ladungen	196
	4.1.2 Elektrische Stromkreise	200
	4.2 Der Gleichstromkreis	206
	4.2.1 Die elektrische Stromstärke	206
	4.2.2 Die elektrische Spannung	208
	4.2.3 Der elektrische Widerstand	211
	4.2.4 Elektrische Energie und Arbeit	215
	4.2.5 Die elektrische Leistung	218
	4.2.6 Gesetze im Gleichstromkreis	220
■ Überblick 226	4.3 Elektrische und magnetische Felder	227
	4.3.1 Das elektrische Feld	227
	4.3.2 Das magnetische Feld	233
■ Überblick 249	4.3.3 Die elektromagnetische Induktion	240
	4.4 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen	250
	4.4.1 Spannung und Stromstärke im Wechselstromkreis	250
	4.4.2 Elektromagnetische Schwingungen	251
■ Überblick 262	4.4.3 Elektromagnetische Wellen	254
	4.5 Elektrische Leitungsvorgänge	263
	4.5.1 Elektrische Leitung in festen Körpern	263
	4.5.2 Elektrische Leitung in Flüssigkeiten	264
	4.5.3 Elektrische Leitung in Gasen	265
	4.5.4 Elektrische Leitung im Vakuum	266
■ Überblick 274	4.5.5 Elektrische Leitung in Halbleitern	268
	5 Optik	275
	5.1 Lichtquellen und Lichtausbreitung	276
	5.2 Reflexion des Lichts	281
	5.2.1 Reflexion an verschiedenen Oberflächen	281
	5.2.2 Bildentstehung an Spiegeln	284

5.3 Brechung des Lichts	288	
5.3.1 Brechungsgesetz und Totalreflexion	288	
5.3.2 Brechung des Lichts durch verschiedene Körper	292	
5.3.3 Bildentstehung durch Linsen	296	
5.4 Optische Geräte	302	■ Überblick 311
5.5 Welleneigenschaften des Lichts	312	
5.6 Licht und Farben	318	
5.6.1 Dispersion von Licht	318	
5.6.2 Spektren und Spektralanalyse	320	
5.6.3 Mischung von farbigem Licht und Körperfarben	322	■ Überblick 326
6 Atom- und Kernphysik	327	
6.1 Aufbau von Atomen	328	
6.2 Kernumwandlungen und Radioaktivität	333	
6.2.1 Arten von Kernumwandlungen	333	
6.2.2 Gesetz des Kernzerfalls und Kernreaktionen	336	
6.2.3 Radioaktive Strahlung	338	
6.3 Anwendungen kernphysikalischer Erkenntnisse	346	
6.4 Grenzen der klassischen Physik	352	■ Überblick 354
7 Energie in Natur und Technik	355	
7.1 Energie, Energieträger und Energieformen	356	
7.2 Umwandlung und Übertragung von Energie	359	
7.3 Energie in der belebten und unbelebten Natur	363	■ Überblick 371
A Anhang	372	
Referate	372	
Register	380	
Bildquellenverzeichnis	392	

Die Physik –
eine Naturwissenschaft

1



1.1 Gegenstand und Teilgebiete der Physik

1.1.1 Die Naturwissenschaft Physik

Wenn man die Umwelt aufmerksam betrachtet, kann man viele interessante Erscheinungen beobachten. Eine Reihe dieser Erscheinungen sind den Menschen schon lange bekannt. Sie gehören zur Natur, auch ohne den Menschen mit seinen Wissenschaften und der Technik. Eine solche Naturerscheinung ist der Regenbogen. Wie entsteht ein Regenbogen? Warum hat ein Regenbogen immer dasselbe Farbband?



Das Feuer hat Menschen schon immer in seinen Bann gezogen und tut es auch heute noch. Woher aber kommen Licht und Wärme des Feuers? Warum geben unterschiedliche Brennstoffe verschieden viel Licht und Wärme ab? Wie kann ein Feuer entstehen, wie kann es effektiv gelöscht werden?

▶ Das Feuer hat für die Entwicklung der Menschen eine entscheidende Rolle gespielt. Mithilfe des Feuers konnten die Menschen erstmals Fleisch braten, Ton brennen und später Eisen herstellen.



Bei einem Eisberg sieht man nur die Spitze über dem Wasser. Etwa 90 % des Eisbergs befinden sich unter Wasser. Wie ist das zu erklären? Warum gehen diese riesigen Eisberge nicht unter?



► Deshalb ist Vorsicht bereits bei der Annäherung von Schiffen an Eisberge geboten, damit das Schiff nicht unter Wasser mit Eis zusammenstößt. So wurde 1912 durch Kollision mit einem Eisberg das damals modernste Passagierschiff der Welt, die „Titanic“, so schwer beschädigt, dass es sank und 1 495 Tote zu beklagen waren.

In einem Tal zwischen hohen Bergen kann man nach kurzer Zeit seinen Ruf als Echo hören. Wie kommt es zu einem Echo bzw. zu einem Mehrfachecho?



Durch *Beobachtungen* haben die Menschen *Regelmäßigkeiten in der Natur entdeckt*, z.B. den Wechsel von Tages- und Jahreszeiten, den Wechsel der Mondphasen sowie das Auftreten von Sonnen- und Mondfinsternissen. Mithilfe dieser Regelmäßigkeiten und der ermittelten Daten konnten die Menschen z. B. die Termine für Aussaat und Ernte besser bestimmen.

Die Menschen suchten aber auch nach *Zusammenhängen* zwischen den Erscheinungen, um *Erklärungen* zu finden und ihre *Voraussagen* sicherer zu machen. Und sie fanden Zusammenhänge und Erklärungen, auch wenn sich diese später häufig als nicht richtig erwiesen.



CLAUDIUS PTOLEMÄUS lebte von ca. 100 bis ca. 170. Er stellte das geozentrische Weltbild in seinem Werk „Syntaxis mathematica“ (Mathematische Zusammenstellung), arabisch auch „Almagest“ genannt, vor.

Aus den beobachteten Bewegungen der Himmelskörper, vor allem von Sonne, Mond und Sternen, leiteten die Menschen z.B. im Altertum die naheliegende Vermutung ab, dass sich die Erde im Zentrum der Welt befindet und sich alle Himmelskörper auf kreisförmigen Bahnen um die Erde bewegen.

Gelehrte aus dem antiken Griechenland entwickelten daraus ein ganzes Weltbild über die Bewegungen im Kosmos und auf der Erde.

CLAUDIUS PTOLEMÄUS fasste dieses **geozentrische Weltbild** in einem Buch zusammen. Dieses Weltbild war eine großartige Leistung der antiken Wissenschaft, denn man konnte die Bewegung von Sonne und Mond vorausberechnen. So blieb dieses Weltbild jahrhundertlang erhalten und war doch falsch.

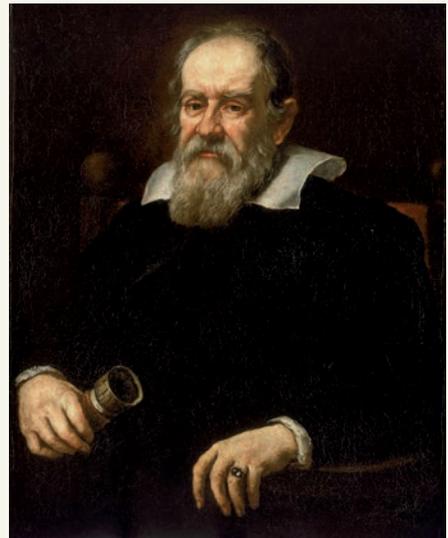
Im Mittelalter konnten Gelehrte wie KOPERNIKUS (1473–1543), GALILEI (1564–1642), KEPLER (1571–1630) und NEWTON (1643–1727) auf der Grundlage von Beobachtungen und theoretischen Überlegungen ein wissenschaftliches Weltbild entwickeln, in dem die Sonne im Zentrum unseres Planetensystems steht – das **heliocentrische Weltbild**.

GALILEI war auch der erste Wissenschaftler, der **neue Denk- und Arbeitsweisen** in die Naturwissenschaften einführte. Er suchte nicht nur nach oberflächlichen Erklärungen, die dem Augenschein entsprechen, sondern fragte nach dem Wesentlichen in den Erscheinungen. Vor allem aber zeigte er, dass man zu neuen Erkenntnissen nicht allein durch theoretische Überlegungen kommt, sondern dass man seine Überlegungen mit **Experimenten** überprüfen muss.

Der italienische Naturwissenschaftler GALILEO GALILEI lebte von 1564 bis 1642.

Er war nicht nur ein berühmter Mathematiker, sondern beschäftigte sich auch mit verschiedenen physikalischen und astronomischen Problemen. So begründete GALILEI u.a. die klassische Mechanik, fand die Gesetze des freien Falls und entdeckte mit einem selbst gebauten Fernrohr vier Jupitermonde.

Er war einer der Mitbegründer des heliocentrischen Weltbilds.



Ein berühmter Experimentator war auch der Magdeburger Bürgermeister OTTO VON GUERICKE (1602–1686). Er konnte z. B. bei seinem Experiment mit den Magdeburger Halbkugeln (↗ Abb. unten) die Wirkungen des Luftdrucks nachweisen. Damit widerlegte er gleichzeitig eine lange herrschende Auffassung aus der Antike, dass es keinen luftleeren Raum – kein Vakuum – geben könne.



OTTO VON GUERICKE (1602–1686) war Bürgermeister und Experimentator. Er erfand u. a. die Luftpumpe, das Wasserbarometer und eine Elektrisiermaschine.

Durch viele Entdeckungen, Beobachtungen und Experimente entwickelte sich in den letzten Jahrhunderten die Physik als eigenständige Naturwissenschaft.

Die **Physik** ist eine Naturwissenschaft. Sie beschäftigt sich mit den grundlegenden Erscheinungen und Gesetzen in unserer natürlichen Umwelt und ermöglicht die Erklärung und Voraussage vieler Erscheinungen in der Natur.

Sonnen- und Mondfinsternisse sind Naturerscheinungen, die von Menschen schon seit Jahrtausenden beobachtet werden. Lange Zeit war aber unklar, wie eine Finsternis zustande kommt. Erst nachdem man erkannt hatte, wie sich Mond und Erde um die Sonne bewegen, konnte man die Finsternisse erklären: Eine Sonnenfinsternis kommt zustande, wenn der Schatten des Mondes auf die Erdoberfläche fällt. Eine Mondfinsternis ist zu beobachten, wenn sich der Mond im Erdschatten befindet.

Erst nach genauer Kenntnis der Bewegungsgesetze war es auch möglich, exakte Voraussagen zu machen. So können wir heute schon voraussagen, dass die nächste totale Sonnenfinsternis in Deutschland erst am 3. September 2081 zu beobachten sein wird.

Das Wort „**Physik**“ kommt vom griechischen Wort „*physis*“ und heißt so viel wie „*Natur*“.



1.1.2 Die Physik und die anderen Naturwissenschaften

Die Erscheinungen und Gesetze der *Physik* sind so *grundlegend*, dass sie sowohl in der belebten als auch in der unbelebten Natur auftreten und auch in den anderen Naturwissenschaften berücksichtigt werden. Somit ergeben sich viele Wechselbeziehungen zwischen der Physik und den anderen Naturwissenschaften.

Die **Biologie** untersucht Erscheinungen des Lebens von Pflanzen, Tieren und Menschen, seiner Entstehung, seiner Gesetzmäßigkeiten, Erscheinungsformen und Entwicklung.

In der Biologie werden auch Aufbau und Wirkungsweise von menschlichen und tierischen Organen (z.B. Auge, Ohr) untersucht. Dabei werden u. a. physikalische Erkenntnisse angewendet, um die Wirkungsweise dieser Organe zu verstehen.

■ Wale und Delfine verständigen und orientieren sich mithilfe des Schalls. Um das zu verstehen, werden physikalische Erkenntnisse aus der Akustik über die Ausbreitung und die Reflexion von Schall angewendet.



Die **Chemie** untersucht Erscheinungen, die mit dem Aufbau, den Eigenschaften und der Umwandlung von Stoffen unserer Umwelt durch chemische Reaktionen verbunden sind.

Auch dabei werden physikalische Erkenntnisse genutzt, da sich die Physik ebenfalls mit Stoffen und ihren Eigenschaften beschäftigt.

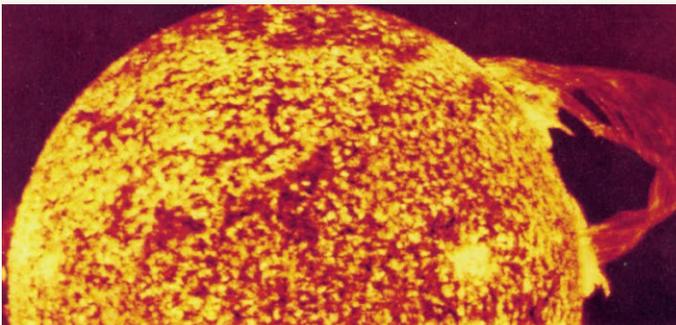
In chemischen Labors werden Stoffe auf ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften untersucht. Außerdem versucht man, neue Stoffe mit gewünschten Eigenschaften herzustellen.



Die **Astronomie** untersucht Erscheinungen im Weltall, u. a. die Bewegung und Entwicklung von Planeten, Monden und Sternen.

Zu den Sternen zählt auch unsere Sonne, um die sich die Planeten unseres Planetensystems bewegen. Zum Verstehen von Erscheinungen im Weltall sind Erkenntnisse aus allen Gebieten der Physik notwendig.

In der Sonne werden gewaltige Energiemengen frei, die auch die Erde mit Licht und Wärme versorgen. Die Prozesse der Energiefreisetzung kann man mithilfe der Kernphysik verstehen.



Die Leuchtkraft der Sonne, d. h. die abgestrahlte Energie je Sekunde, beträgt $3,8 \cdot 10^{23}$ kW.

Die Physik selbst berücksichtigt in ihrer Entwicklung die Erkenntnisse, die in der Biologie, Chemie und Astronomie gewonnen werden. Auch mit dem naturwissenschaftlichen Bereich der Geografie, der physischen Geografie, gibt es Wechselbeziehungen zur Physik.

Die **physische Geografie** untersucht die Wechselbeziehungen zwischen Lufthülle, Gesteinshülle, Wasserhülle und Lebewesen in der Nähe der Erdoberfläche sowie die Einflüsse der menschlichen Gesellschaft auf die Ausprägung der Landschaften.

Die einzelnen naturwissenschaftlichen Disziplinen untersuchen in der Regel nur Teilbereiche der Natur unter ganz bestimmten Gesichtspunkten. Unsere natürliche Umwelt ist aber ein einheitliches Ganzes. Um Erscheinungen der Natur richtig zu verstehen, müssen deshalb oft Erkenntnisse aus verschiedenen Naturwissenschaften herangezogen werden. Folglich wird in einer naturwissenschaftlichen Disziplin stets versucht, auch die Erkenntnisse anderer Naturwissenschaften zu berücksichtigen und anzuwenden.

In Grenzbereichen zwischen den verschiedenen Naturwissenschaften haben sich neue naturwissenschaftliche Disziplinen wie Biophysik, physikalische Chemie oder Astrophysik entwickelt. Diese Teildisziplinen versuchen ganz gezielte Fragen und Probleme in der einen Naturwissenschaft durch Anwendung von Erkenntnissen aus der anderen Naturwissenschaft zu lösen.

Besonders in der Medizintechnik werden Erkenntnisse aus allen Naturwissenschaften benötigt, um kranke Menschen zu heilen und Gesundheit zu erhalten.

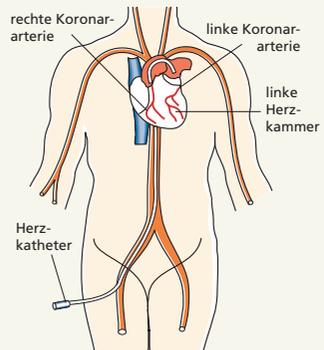
Bei Ultraschalluntersuchungen (linke Abb.) wird von einem Sender Ultraschall ausgesendet, im Körper unterschiedlich reflektiert und von einem Empfänger wieder aufgenommen.

Bei der Entwicklung dieses Verfahrens mussten u. a. die biologischen Wirkungen von Ultraschall berücksichtigt werden.

Für spezielle Herzuntersuchungen nutzt man Herzkatheter.

Ein Herzkatheter ist ein dünner Schlauch aus Kunststoff, der durch eine Arterie bis zum Herzen vorgeschoben wird. Durch Einspritzen eines Kontrastmittels werden Verengungen in den Herzkranzgefäßen sichtbar.

Zur Entwicklung und Anwendung sind Erkenntnisse über physikalische, chemische und biologische Eigenschaften und Wirkungen von Katheter und Kontrastmittel notwendig.



1.1.3 Die Teilgebiete der Physik

Traditionell wird die Physik in verschiedene Teilgebiete eingeteilt.

Teilgebiet	Untersuchungsgegenstand	Beispiel
Mechanik	Bewegung von Körpern, Kräfte und ihre Wirkungen, Auftrieb und Schwimmen, Fliegen, Entstehung und Eigenschaften von Schall	 A group of sailboats with colorful sails (blue, green, red, white) on a body of water under a clear sky.
Wärmelehre (Thermodynamik)	Temperatur von Körpern, Zufuhr und Abgabe von Wärme, Aggregatzustände und ihre Änderungen, Wärmeübertragung, Wärmekraftmaschinen	 A person's face is illuminated by a bright red heat lamp, showing the effect of thermal radiation.
Elektrizitätslehre (Elektrik)	Eigenschaften von elektrisch geladenen Körpern, Magnetismus, Wirkungen des elektrischen Stroms, Erzeugung und Umformung von Elektroenergie, elektrische Schaltungen und Bauelemente	 A view of high-voltage power lines (pylons) stretching across a landscape under a blue sky.
Optik	Ausbreitung des Lichts, Reflexion und Brechung, Bildentstehung an Spiegeln und Linsen, optische Geräte, Farben	 A close-up view of a car's side-view mirror, showing a reflection of a road with other vehicles.
Atom- und Kernphysik	Aufbau von Atomen, Umwandlung von Atomkernen, Eigenschaften radioaktiver Strahlung, Kernenergie durch Kernspaltung oder Kernfusion	 A view into the core of a nuclear reactor, showing a complex arrangement of fuel rods and structural components.
Energie	Energieformen, Energieträger, Umwandlung und Übertragung von Energie, Entwertung von Energie, Energietechnik und Umwelt	 A large array of solar panels installed in an open field, capturing sunlight.

1.1.4 Physik, Technik und Alltag

Die Physik ist eine wichtige **Grundlage der Technik**. Dabei werden bewusst physikalische Erkenntnisse genutzt, um Geräte und Anlagen zu bauen, um Energie zweckmäßig zu verwenden, um unser Leben sicherer und angenehmer zu machen.

Die Kuppel des Deutschen Bundestags wurde so gebaut, dass das Tageslicht von 360 Spiegeln in den Plenarsaal gelenkt wird. Aber nicht nur dadurch wird elektrische Energie gespart, sondern auch durch die Verwendung von Halogenlampen zur künstlichen Beleuchtung.



Elektrische Energie wird aber auch für viele andere Zwecke genutzt. Physikalische Erkenntnisse der Elektrizitätslehre haben das ermöglicht und das Leben der Menschen wesentlich verändert.

Die Physik ist eine wichtige Grundlage der Technik. In der Technik werden physikalische Gesetze vom Menschen genutzt.

Physikalische Erkenntnisse spielen auch in **unserem täglichen Leben** eine wichtige Rolle. Die bewusste Nutzung physikalischer Erkenntnisse erleichtert unser Leben und erhöht unsere Sicherheit. Unkenntnis oder Nichtbeachtung kann zu Unfällen oder Schäden führen.

Wenn man z. B. in einem anfahrenden oder bremsenden Bus steht, muss man sich festhalten, um nicht umzufallen.

Nach dem Baden sollte man die nasse Badebekleidung wechseln, weil man sich sonst leicht erkälten kann. An einem heißen Sommertag trägt man in der Regel leichte und helle Kleidung, um keinen Hitzschlag zu bekommen. Ein Autofahrer weiß, dass sein Bremsweg bei eisglatter Fahrbahn wesentlich größer ist als auf trockener Straße, und erhöht den Sicherheitsabstand. Lärm ist ein Stressfaktor und kann zu Gehörschäden führen. Deshalb sollte man sich mit geeigneten Maßnahmen vor Lärm schützen. Wenn man Schwierigkeiten beim Sehen hat, geht man zum Augenarzt bzw. Optiker und lässt sich eine Brille anfertigen.

In allen diesen Beispielen nutzen wir – bewusst oder unbewusst – physikalische Erkenntnisse.

Die Physik ist eine wichtige Grundlage unseres täglichen Lebens. Die bewusste Nutzung physikalischer Gesetze erleichtert unser Leben und erhöht unsere Sicherheit. Unkenntnis oder Nichtbeachtung physikalischer Gesetze können zu Unfällen oder Schäden führen.

Bei technischen Anwendungen arbeiten häufig Naturwissenschaftler verschiedener Disziplinen zusammen. Oft ist die Natur selbst Vorbild für technische Lösungen.



Im Flugzeugbau wurden und werden viele technische Lösungen dem Vogelflug „abgeguckt“.



Der Wulstbug eines Schiffes hat sein Vorbild bei einem Delfin.

Der Mensch ist heute mithilfe der Technik in der Lage, sein Leben nicht nur sicherer und angenehmer zu machen. Er kann auch große Veränderungen in seiner natürlichen Umwelt herbeiführen.

Diese gewaltigen Eingriffe in die Natur können die Lebensbedingungen von Pflanzen, Tieren und Menschen auf der Erde erheblich beeinflussen, ja sogar Lebensgrundlagen zerstören.

Deshalb ist es wichtig, dass bei der Lösung technischer Probleme und bei größeren Eingriffen in unsere natürliche Umwelt stets alle Naturwissenschaften zusammenwirken, um negative Auswirkungen auf die Lebensbedingungen von Pflanzen, Tieren und Menschen zu verhindern und unsere natürliche Umwelt zu erhalten.

1.2 Denk- und Arbeitsweisen in der Physik

1.2.1 Begriffe und Größen in der Physik

Begriffe in der Physik

Ein Ziel der Physik besteht darin, in der Natur Zusammenhänge und Gesetze zu erkennen und mithilfe der Gesetze Erscheinungen zu *erklären* oder *vorherzusagen*, die man in der lebenden oder nicht lebenden Natur beobachten kann. Diese Erkenntnisse werden genutzt, um technische Geräte und Anlagen zu bauen, Stoffe mit gewünschten Eigenschaften herzustellen und anzuwenden. Dazu werden Erscheinungen genau *beobachtet* und *experimentell untersucht*. Körper, Stoffe und Vorgänge in der Natur werden miteinander *verglichen*, um Gemeinsamkeiten, Unterschiede und Regelmäßigkeiten zu erkennen. Körper, Stoffe und Vorgänge mit gemeinsamen Eigenschaften werden gedanklich zu einer Klasse oder Gruppe zusammengefasst. Diese Gruppe von Objekten erhält in der Regel einen eigenen Namen. Die gedankliche Zuordnung einer Gruppe von Objekten zu einem Wort nennt man **Begriff**.

Ein Begriff ist eine gedankliche Wiedergabe einer Klasse von Objekten (Körper, Stoffe, Vorgänge usw.) aufgrund ihrer gemeinsamen Merkmale.

► Die **Definition** eines Begriffs ist eine willkürliche Sache. Deshalb können Fachbegriffe in verschiedenen Naturwissenschaften auch unterschiedlich definiert werden.

Damit in den Naturwissenschaften auch alle unter einem Begriff dieselben Objekte mit gemeinsamen Merkmalen verstehen, werden Begriffe in den Naturwissenschaften eindeutig *definiert*. Beim **Definieren** wird ein Begriff durch die Festlegung wesentlicher, gemeinsamer Merkmale eindeutig bestimmt und von anderen Begriffen unterschieden. Häufig werden dazu ein Oberbegriff und artbildende Merkmale angegeben. Manchmal legt man einfach fest, was unter einem Begriff zu verstehen ist, wie z. B. beim Begriff „Geschwindigkeit“. In einigen Fällen kann man einen Begriff definieren, indem man alle Objekte (Körper, Stoffe, Vorgänge) aufzählt, die zu diesem Begriff gehören. Dies ist z. B. beim Begriff „Teilchen“ der Fall.

■ Wenn z. B. auf einen lichtundurchlässigen Körper Licht fällt, so gibt es hinter diesem Körper einen Bereich, in den kein Licht der Lichtquelle gelangt. Ein solcher Bereich wird als Schatten bezeichnet. Eine mögliche Definition für den Begriff Schatten lautet:

Schatten sind dunkle Gebiete, die sich hinter beleuchteten, undurchsichtigen Körpern bilden. Auf S. 19 sind einige weitere Beispiele genannt.

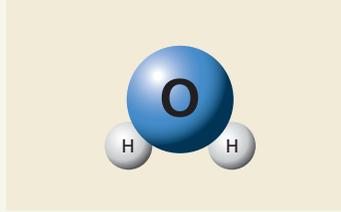


Teilchen sind Atome, Ionen und Moleküle. Ein Wassermolekül ist ein Beispiel für ein Teilchen.

Ein **chemisches Element** ist eine Atomart, deren Atome die gleiche Anzahl Protonen im Kern enthalten. Eisen ist ein Beispiel für ein chemisches Element.

Ein zweiseitiger **Hebel** ist ein drehbar gelagerter, starrer Körper, der eine Drehachse und zwei Kraftarme besitzt. Die Wippe ist ein Beispiel für einen zweiseitigen Hebel.

Die **Geschwindigkeit** gibt an, wie schnell sich ein Körper bewegt.



▶ Der Teilchenbegriff ist nicht immer eindeutig definiert. Manchmal zählt man auch Elementarteilchen wie Elektronen und Protonen zu den Teilchen.

▶ Auch der Begriff Geschwindigkeit wird mitunter anders definiert, z. B.: Die Geschwindigkeit gibt an, wie schnell oder wie langsam sich ein Körper bewegt.

Auch im Alltag benutzt man Begriffe, um sich zu verständigen. Alltagsbegriffe werden nicht exakt definiert, sondern auf der Grundlage von Erfahrungen im Umgang mit Objekten und Wörtern gebildet. Deshalb stimmen **Alltagsbegriffe** und naturwissenschaftliche **Fachbegriffe** häufig nicht bzw. nicht vollständig überein, obwohl dasselbe Wort verwendet wird.

Der Begriff **Arbeit** wird im Alltag für alle Tätigkeiten benutzt, bei denen man sich anstrengen und verausgaben muss.

Auch das Lernen in der Schule ist für den Schüler Arbeit. Tätigkeiten, mit denen man Geld verdienen kann, bezeichnet man ebenfalls als Arbeit. Was man im Alltag unter Arbeit versteht, ist von Mensch zu Mensch z. T. verschieden.

In der Mechanik ist der Begriff Arbeit exakt definiert: *Mechanische Arbeit wird verrichtet, wenn ein Körper durch eine Kraft bewegt oder verformt wird* (↗ S. 123). Deshalb darf man in der Physik den Begriff mechanische Arbeit nur für Vorgänge verwenden, bei denen Körper durch Kräfte bewegt oder verformt werden. Dazu zählen u. a. auch Tätigkeiten (z. B. das Dehnen eines Expanders), für die man im Alltag ebenfalls den Begriff Arbeit benutzt.

Ähnlich ist das z. B. beim Begriff **Leistung**. Darunter versteht man im Alltag häufig das Ergebnis einer Tätigkeit.

Eine sportliche Höchstleistung hat ein Sprinter vollbracht, der 100 m in 9,90 s läuft. Eine sehr gute schulische Leistung hat jemand vollbracht, wenn sein Leistungsdurchschnitt 1,0 beträgt.

In der Physik dagegen ist der Begriff eindeutig definiert: *Die mechanische Leistung gibt an, wie viel mechanische Arbeit in jeder Sekunde verrichtet wird.*

▶ Ein typisches Beispiel dafür ist die Formulierung: Er hat eine hervorragende Leistung vollbracht.

▶ In der Wissenschaft, so auch in der Physik, bedient man sich in der Regel der Fachsprache.

Fachbegriffe knüpfen oft an Alltagsbegriffe an, werden aber dann exakt definiert und schränken meist die Anwendbarkeit des Begriffs ein. Deshalb muss man bei der Anwendung von Begriffen stets beachten, ob es sich um naturwissenschaftliche Fachbegriffe oder um Alltagsbegriffe handelt. Manchmal wird ein Wort für verschiedene Begriffe benutzt.

■ In der Physik versteht man unter **Feld** den *Zustand eines Raums um einen Körper, in dem auf andere Körper Kräfte wirken*. In der Biologie ist ein Feld eine Ackerfläche, auf der Kulturpflanzen angebaut werden.

Eine **Welle** ist in der Physik *eine zeitlich und räumlich periodische Änderung einer physikalischen Größe*.

In der Technik versteht man darunter einen Teil einer Maschine, mit dessen Hilfe Kräfte bzw. Drehmomente übertragen werden.

▶ Solche Wörter bezeichnet man als Synonyme.

Zum Teil werden für ein und denselben Begriff auch verschiedene Wörter benutzt.

■ Man bezeichnet das Messgerät für die elektrische Stromstärke als Stromstärkemesser oder Amperemeter.

Die Dauer einer vollen Schwingung wird als Schwingungsdauer oder als Periodendauer bezeichnet.

Größen in der Physik

Einen Teil naturwissenschaftlicher Fachbegriffe bezeichnet man als **Größen**. Dabei handelt es sich um Begriffe zur Beschreibung messbarer Eigenschaften von Objekten (Körper, Stoffe, Vorgänge usw.).

Eine Größe beschreibt eine messbare Eigenschaft von Objekten.

Die **Bedeutung einer Größe** gibt an, welche Eigenschaft der Objekte beschrieben wird. Für ein konkretes Objekt kann der Ausprägungsgrad dieser Eigenschaft gemessen und angegeben werden. Man nennt diesen Ausprägungsgrad **Wert einer Größe**.

■ Das **Volumen** gibt an, wie viel Raum ein Körper einnimmt.

■ Die **Masse** gibt an, wie schwer und wie träge ein Körper ist.

▶ Bei zusammengesetzten Einheiten kann man zwischen den Einheiten einen Malpunkt setzen, z. B. bei der Einheit Newtonmeter für die mechanische Arbeit: N · m. Zulässig ist auch die Schreibweise Nm.

Um den Wert einer Größe anzugeben, muss eine **Einheit** festgelegt sein. Der Wert der Größe ist dann das Produkt aus Zahlenwert und Einheit, wobei man den Malpunkt weglässt.

■ 5 m^3 bedeutet $5 \cdot 1 \text{ m}^3$

■ 10 l bedeutet $10 \cdot 1 \text{ l}$

Für jede Größe ist ein **Formelzeichen** (manchmal auch mehrere) als Abkürzung festgelegt (S. 22–25). Mithilfe von Formelzeichen kann man naturwissenschaftliche Gesetze schneller und einfacher in mathematischer Form formulieren und anwenden.

Größe	Temperatur	Dichte
Formelzeichen	ϑ oder T	ρ
Bedeutung	Die Temperatur gibt an, wie warm oder wie kalt ein Körper ist.	Die Dichte gibt an, welche Masse ein Kubikzentimeter eines Stoffes hat.
Einheiten	1 Grad Celsius (1°C) 1 Kelvin (1 K) 1 Grad Fahrenheit (1°F)	1 Gramm je Kubikzentimeter ($1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$)
Messgerät	Thermometer	Dichtemesser
Berechnung	–	$\rho = \frac{m}{V}$

Es gibt zwei Arten von Größen. Einige Größen sind von der Richtung unabhängig. Die messbare Eigenschaft hat nur einen Betrag. Man nennt diese Größen **skalare Größen**.

■ Temperatur, Masse und Dichte sind skalare Größen.

Andere Größen sind von der Richtung abhängig. Die messbare Eigenschaft hat neben dem Betrag auch eine Richtung. Solche Größen nennt man **gerichtete** oder **vektorielle Größen**. Man kennzeichnet sie mit einem Pfeil über dem Formelzeichen.

■ Beispiele für vektorielle Größen sind die Geschwindigkeit \vec{v} und die Kraft \vec{F} .

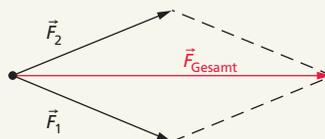
Bei der **Addition von Größen** muss man beachten, ob es sich um skalare oder vektorielle Größen handelt.

Bei skalaren Größen kann man die Beträge der Größen addieren.

■ Eine Masse $m_1 = 100 \text{ g}$ Mehl und $m_2 = 50 \text{ g}$ Zucker werden zusammengeschüttet. Die Gesamtmasse des Gemischs beträgt:
 $m = m_1 + m_2 = 150 \text{ g}$

Bei der Addition vektorieller Größen sind die Richtungen der einzelnen Größen zu beachten.

■ Ein Schlitten wird von zwei Kindern mit den beiden Kräften $F_1 = 100 \text{ N}$ und $F_2 = 100 \text{ N}$ in unterschiedlicher Richtung gezogen. Die resultierende Gesamtkraft ergibt sich aus einem maßstäblichen Kräfteparallelogramm.



► Für eine Reihe von Anwendungen genügt es, auch bei vektoriellen Größen nur mit den Beträgen (z. B. $|\vec{F}|$ bzw. F) zu rechnen, z. B. wenn verschiedene vektorielle Größen dieselbe Richtung haben.

Wichtige Größen und Einheiten

Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems sind farbig hervorgehoben.

Größe	Formelzeichen	Einheiten	Beziehungen zwischen den Einheiten
Aktivität einer radioaktiven Substanz (Zerfallsrate) (↗ S. 342)	A	Becquerel	Bq 1 Bq = 1 s^{-1} = 1 Zerfall je Sekunde
Amplitude (↗ S. 134)	y_{\max}	Meter	m s. Länge
Äquivalentdosis (↗ S. 343)	D_q	Sievert	Sv rem 1 Sv = $1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ = 100 rem
Arbeit mechanische (↗ S. 123) elektrische (↗ S. 216)	W	Joule Newtonmeter Wattsekunde Kilowattstunde	J Nm Ws kWh 1 J = $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ = 1 Nm = 1 Ws = $3,6 \cdot 10^6 \text{ Ws}$
Atommasse, relative (↗ S. 330)	A_r		1
Auslenkung (↗ S. 134)	y	Meter	s. Länge
Beleuchtungsstärke (↗ S. 308)	E	Lux	lx 1 lx = $1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2}$
Beschleunigung (↗ S. 83)	a, g	Meter je Quadratsekunde	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 1 $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ = $1 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$
Brennweite (↗ S. 295)	f	Meter	m s. Länge
Brechwert (Brechkraft) (↗ S. 306)	D	Dioptrie	dpt 1 dpt = 1 m^{-1}
Dichte (↗ S. 72)	ρ	Kilogramm je Kubikmeter	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 1 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ = $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
Drehmoment (Kraftmoment) (↗ S. 108)	M	Newtonmeter	Nm 1 Nm = $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ = 1 J = 1 Ws
Drehzahl (↗ S. 86)	n	je Sekunde	s^{-1} 1 s^{-1} = 60 min^{-1}
Druck (↗ S. 150)	p	Pascal Bar Atmosphäre Torr (Millimeter Quecksilbersäule) Meter Wassersäule	Pa bar at mmHg mWS 1 Pa = $1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ = 10^5 Pa = $9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ 1 Torr = $133,32 \text{ Pa}$ 1 mWS = $9,81 \cdot 10^3 \text{ Pa}$
Durchschlagsfestigkeit (↗ S. 230)	E_d	Volt je Meter	$\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$

Energie (↗ S. 356)	E	Joule Newtonmeter Wattsekunde Steinkohleneinheit	J Nm Ws SKE	1 J = 1 kg · m ² · s ⁻² = 1 Nm = 1 Ws 1 kg SKE = 29,3 MJ
Energiedosis (↗ S. 342)	D	Gray	Gy	1 Gy = 1 J · kg ⁻¹
Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) (↗ S. 88)	g	Meter je Quadratsekunde	m · s ⁻²	1 m · s ⁻² = 1 N · kg ⁻¹
Feldstärke, elektrische (↗ S. 228)	E	Volt je Meter	V · m ⁻¹	1 V · m ⁻¹ = 1 kg · m · s ⁻³ · A ⁻¹ = 1 N · C ⁻¹
Feldstärke, magnetische (↗ S. 235)	H	Ampere je Meter	A · m ⁻¹	1 A · m ⁻¹ = 1 kg · m · s ⁻³ · V ⁻¹ = 1 N · Wb ⁻¹
Flächeninhalt (Fläche)	A	Quadratmeter Hektar Ar	m ² ha a	1 m ² = 10 ⁻⁶ km ² = 10 ² dm ² = 10 ⁴ cm ² = 10 ⁶ mm ² 1 ha = 10 ⁴ m ² 1 a = 10 ² m ²
Frequenz (↗ S. 134)	f	Hertz	Hz	1 Hz = 1 s ⁻¹
Geschwindigkeit Ausbreitungs- geschwindigkeit (↗ S. 81, 140)	v c	Meter je Sekunde Kilometer je Stunde Knoten	m · s ⁻¹ km · h ⁻¹ kn	1 m · s ⁻¹ = 3,6 km · h ⁻¹ 1 km · h ⁻¹ = 0,28 m · s ⁻¹ 1 kn = 1 sm · h ⁻¹ = 1852 m · h ⁻¹
Halbwertszeit (↗ S. 336)	$T_{1/2}$	Sekunde	s	s. Zeit
Heizwert (↗ S. 170)	H	Megajoule je Kilogramm	MJ · kg ⁻¹	1 MJ · kg ⁻¹ = 1000000 J · kg ⁻¹
Höhe	h	Meter	m	s. Länge
Induktivität (↗ S. 242)	L	Henry	H	1 H = 1 Wb · A ⁻¹ = 1 m ² · kg · s ⁻² · A ⁻²
Kapazität, elektrische (↗ S. 232)	C	Farad	F	1 F = 1 A · s · V ⁻¹
Kraft (↗ S. 95) Gewichtskraft Reibungskraft	F F_G F_R	Newton	N	1 N = 1 kg · m · s ⁻² = 1 J · m ⁻¹
Ladung, elektrische (↗ S. 197)	Q	Coulomb	C	1 C = 1 A · s
Länge	l	Meter	m	
		Seemeile Astronomische Einheit Lichtjahr Parsec Ångström	sm AE ly pc Å	1 sm = 1852 m 1 AE = 1,496 · 10 ¹¹ m 1 ly = 9,461 · 10 ¹⁵ m 1 pc = 3,086 · 10 ¹⁶ m 1 Å = 10 ⁻¹⁰ m

Längenausdehnungs- koeffizient (↗ S. 174)	α	je Kelvin	K^{-1}	
Lautstärke (Lautstärkepegel) (↗ S. 146)	L_N	Phon Dezibel (A)	phon dB(A)	1 phon = 1 dB(A) (für 1000 Hz)
Leistung (↗ S. 130, 218)	P	Watt Pferdestärke	W PS	1 W = 1 J · s ⁻¹ = 1 V · A = 1 kg · m ² · s ⁻³ = 1 N · m · s ⁻¹ 1 PS = 736 W
Masse (↗ S. 70)	m	Kilogramm	kg	
		Tonne	t	1 t = 10 ³ kg
		Zentner	Ztr.	1 Ztr. = 50 kg
		Pfund	Pfd.	1 Pfd. = 500 g
		Karat Atomare Masseinheit	k u	1 k = 2 · 10 ⁻⁴ kg 1 u = 1,66 · 10 ⁻²⁷ kg
molare Masse	M	Kilogramm je Mol	kg · mol ⁻¹	1 kg · mol ⁻¹ = 10 ³ g · mol ⁻¹
molares Volumen	V_m	Kubikmeter je Mol	m ³ · mol ⁻¹	1 m ³ · mol ⁻¹ = 10 ³ l · mol ⁻¹
Schwingungsdauer (Periodendauer) (↗ S. 134)	T	Sekunde	s	s. Zeit
Radius (↗ S. 85)	r	Meter	m	s. Länge
Reibungszahl (↗ S. 107)	μ		1	
Spannung, elektrische (↗ S. 208)	U	Volt	V	
spezifischer elektrischer Widerstand (↗ S. 213)	ϱ	Ohm mal Quadrat- millimeter je Meter	$\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	$1 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} = \frac{1}{1000000} \Omega \cdot \text{m}$
spezifische Wärme- kapazität (↗ S. 168)	c	Joule je Kilogramm und Kelvin	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	$1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 1 \frac{\text{W} \cdot \text{s}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Stoffmenge	n	Mol	mol	
Stoffmengen- konzentration	c_i	Mol je Liter	mol · l ⁻¹	1 mol · l ⁻¹ = 1 mol · dm ⁻³
Stromstärke, elektrische (↗ S. 206)	I	Ampere	A	
Temperatur (↗ S. 164)	ϑ	Grad Celsius	°C	0°C = 273,15 K
		Grad Fahrenheit	°F	32°F = 0°C 212°F = 100°C
		Grad Reaumur	°R	0°R = 0°C 80°R = 100°C

Übersetzungsverhältnis (↗ S. 246)	\ddot{u}, i		1		
Volumen (↗ S. 68)	V	Kubikmeter	m^3	1 m^3	$= 10^{-9} \text{ km}^3$ $= 10^3 \text{ dm}^3$ $= 10^6 \text{ cm}^3$ $= 10^9 \text{ mm}^3$
		Liter	l	1 l	$= 10^{-3} \text{ m}^3$ $= 1 \text{ dm}^3$
		Registertonne	RT	1 RT	$= 2,832 \text{ m}^3$
Wärme (↗ S. 167)	Q	Joule	J	1 J	$= 1 \text{ Nm}$ $= 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ $= 1 \text{ Ws}$
		Kalorie	cal	1 cal	$= 4,19 \text{ J}$
Weg	s	Meter	m	s. Länge	
Wellenlänge (↗ S. 140)	λ	Meter	m	s. Länge	
Widerstand, ohmscher (↗ S. 211)	R	Ohm	Ω	1Ω	$= 1 \text{ V} \cdot \text{A}^{-1}$
Widerstand, induktiver	X_L	Ohm	Ω	1Ω	$= 1 \text{ V} \cdot \text{A}^{-1}$
Widerstand, kapazitiver	X_C	Ohm	Ω	1Ω	$= 1 \text{ V} \cdot \text{A}^{-1}$
Winkel	$\alpha, \beta,$ $\gamma, \varphi,$ σ, \dots	Radian	rad	1 rad	$= \frac{180^\circ}{\pi} \approx 57,296^\circ$
		Grad	$^\circ$	1°	$= \frac{\pi}{180} \text{ rad}$ $\approx 0,01745 \text{ rad}$
Wirkungsgrad (↗ S. 131)	η		1 oder in %		
Zeit	t	Sekunde	s		
		Minute	min	1 min	$= 60 \text{ s}$
		Stunde	h	1 h	$= 60 \text{ min}$ $= 3600 \text{ s}$
		Tag	d	1 d	$= 24 \text{ h}$ $= 1440 \text{ min}$ $= 86400 \text{ s}$
		Jahr	a	1 a	$= 365 \text{ d}$ oder 366 d

Vorsätze von Einheiten

Vorsatz	Bedeutung	Zeichen	Faktor, mit dem die Einheit multipliziert wird	Vorsatz	Bedeutung	Zeichen	Faktor, mit dem die Einheit multipliziert wird
Exa	Trillion	E	10^{18}	Dezi	Zehntel	d	$0,1 = 10^{-1}$
Peta	Billiarde	P	10^{15}	Zenti	Hundertstel	c	$0,01 = 10^{-2}$
Tera	Billion	T	$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$	Milli	Tausendstel	m	$0,001 = 10^{-3}$
Giga	Milliarde	G	$10^9 = 1\,000\,000\,000$	Mikro	Millionstel	μ	$0,000\,001 = 10^{-6}$
Mega	Million	M	$10^6 = 1\,000\,000$	Nano	Milliardenstel	n	$0,000\,000\,001 = 10^{-9}$
Kilo	Tausend	k	$10^3 = 1\,000$	Pico	Billionstel	p	$0,000\,000\,000\,001 = 10^{-12}$
Hekto	Hundert	h	$10^2 = 100$	Femto	Billiardstel	f	10^{-15}
Deka	Zehn	da	$10^1 = 10$	Atto	Trillionstel	a	10^{-18}

Wichtige Naturkonstanten

Einige Größen haben in der Natur einen festen Wert. Man nennt sie deshalb **Naturkonstanten**.

Konstante	Formelzeichen	Wert der Konstanten	
absoluter Nullpunkt	T_0	$0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$	
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c	$2,997\,924\,58 \cdot 10^8\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	
molares Normvolumen	V_n	$22,414\text{ l} \cdot \text{mol}^{-1}$	
Normdruck	p_n	$101\,325\text{ Pa} = 1,01325\text{ bar}$	
Normfallbeschleunigung	g_n	$9,806\,65\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	
Normtemperatur	T_n, ϑ_n	$T_n = 273,15\text{ K} \quad \vartheta_n = 0\text{ °C}$	
Gravitationskonstante	G, γ	$6,672\,59 \cdot 10^{-11}\text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$	
elektrische Feldkonstante	ϵ_0	$8,854\,187 \cdot 10^{-12}\text{ As} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$	
magnetische Feldkonstante	μ_0	$1,256\,637 \cdot 10^{-6}\text{ Vs} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$	
Avogadrokonstante (Avogadrozahl)	N_A, L	$6,022\,136 \cdot 10^{23} \cdot \text{mol}^{-1}$	
Faradaykonstante	F	$9,648\,53 \cdot 10^4\text{ As} \cdot \text{mol}^{-1}$	
Planckkonstante	h	$6,626\,08 \cdot 10^{-34}\text{ Js}$	
(plancksches Wirkungsquantum)	R	$8,314\,5\text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$	
Elektron	Ladung (Elementarladung)	e	$1,602\,177 \cdot 10^{-19}\text{ C}$
	Ruhemasse	m_e	$9,109\,38 \cdot 10^{-31}\text{ kg}$
	spezifische Ladung	$\frac{e}{m_e}$	$1,758\,820 \cdot 10^{11}\text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$
Neutron	Ruhemasse	m_n	$1,674\,928 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$
Proton	Ruhemasse	m_p	$1,672\,623 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$

1.2.2 Gesetze, Modelle und Theorien in der Physik

In Erscheinungen der Natur kann man durch Beobachtungen und Experimente Zusammenhänge zwischen einzelnen Eigenschaften von Körpern, Stoffen oder Vorgängen erkennen.

■ So kann man für einen Kupferdraht durch Messungen feststellen, dass die elektrische Stromstärke im Kupferdraht umso größer ist, je größer die angelegte Spannung ist. Genauere Untersuchungen an diesem Draht führen zu dem Ergebnis, dass in einem bestimmten Bereich $I \sim U$ gilt.

Wenn sich Zusammenhänge in der Natur unter bestimmten Bedingungen immer wieder einstellen und damit für eine ganze Gruppe oder Klasse von Objekten gelten, dann spricht man von gesetzmäßigen Zusammenhängen oder Gesetzen.

Gesetze in den Naturwissenschaften sind allgemeine und wesentliche Zusammenhänge in der Natur, die unter bestimmten Bedingungen stets wirken.

▶ Gesetze bestehen in der Regel aus Bedingungs- und Gesetzesaussagen.

Die Bedingungen, unter denen ein Zusammenhang stets wirkt, nennt man **Gültigkeitsbedingungen**.

■ So haben Untersuchungen gezeigt, dass der oben beschriebene Zusammenhang $I \sim U$, der an einem konkreten Kupferkabel gefunden wurde, für alle metallischen Leiter gilt, wenn deren Temperatur konstant bleibt. Dies wird im *ohmschen Gesetz* beschrieben: Für alle metallischen Leiter gilt unter der Bedingung einer konstanten Temperatur ($\vartheta = \text{konstant}$): $I \sim U$
Dieses physikalische Gesetz gilt für alle metallischen Leiter unter der Bedingung $\vartheta = \text{konstant}$.
„Metallischer Leiter“ und „ $\vartheta = \text{konstant}$ “ sind die Bedingungs-
aussagen, „ $I \sim U$ “ ist die Gesetzesaussage.

Nicht immer sind Gesetze so vollständig durch Bedingungs- und Gesetzesaussagen beschrieben. Zum Teil muss man die Bedingungs-
aussagen auch aus dem Zusammenhang erschließen bzw. sind die Gültigkeits-
bedingungen noch nicht vollständig bekannt.

■ So gilt z. B. für den Widerstand eines metallischen Leiters die Gleichung $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$. Die in Tafelwerken ausgewiesene Stoffkonstante ρ ist aber für die meisten Stoffe temperaturabhängig und meist für 20°C angegeben. Nutzt man diesen Wert, so gilt der berechnete Widerstand R exakt nur unter der Bedingung $\vartheta = 20^\circ\text{C}$.

▶ Die Entscheidung, ob eine Aussage (z. B. $R = \frac{U}{I}$) eine Gesetzesaussage oder die Definition einer Größe ist, kann oft nur innerhalb einer vollständigen Theorie getroffen werden.

Da Gesetze stets für eine Klasse von Objekten gelten, werden zu ihrer Formulierung physikalische Fachbegriffe und Größen genutzt. Oft können physikalische Fachbegriffe erst im Zusammenhang mit erkannten Gesetzen exakt definiert werden.

► Das Wort „Qualität“ kommt vom lateinischen Wort „qualitas“ und bedeutet „Beschaffenheit“, „Eigenschaft“.

Physikalische Gesetze können unterschiedlich genau erkannt und in verschiedener Weise dargestellt werden.

Es gibt Gesetze, die lediglich beschreiben, unter welchen Bedingungen bestimmte Erscheinungen in der Natur auftreten. Diese Gesetze enthalten eine **qualitative** Gesetzesaussage, die mit Worten beschrieben wird.

■ Induktionsgesetz:

In einer Spule wird eine Spannung induziert, solange sich das von der Spule umfasste Magnetfeld ändert.

Es gibt Gesetze, die einen Zusammenhang zwischen Eigenschaften bzw. Größen in der *Tendenz* beschreiben. Sie enthalten eine **halbquantitative** Gesetzesaussage, die in der Regel auch mit Worten beschrieben wird.

■ Volumenänderung bei Temperaturänderung:

Für alle festen Körper und Flüssigkeiten gilt unter der Bedingung, dass sie sich ausdehnen können:

Je größer die Temperaturänderung eines Körpers ist, desto größer ist seine Volumenänderung.

► Das Wort „Quantität“ kommt vom lateinischen Wort „quantitas“ und bedeutet „Größe, Anzahl, Menge“.

Es gibt Gesetze, die einen Zusammenhang zwischen Eigenschaften bzw. Größen mathematisch exakt beschreiben. Sie enthalten eine **quantitative** Gesetzesaussage, die sowohl mit Worten als auch mit mathematischen Mitteln (z. B. Proportionalität, Diagramm, Gleichung) beschrieben werden kann.

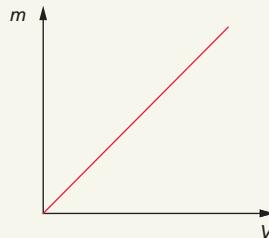
■ Zusammenhang zwischen Masse und Volumen:

mit Worten: Für alle Körper aus ein und demselben Stoff gilt:
Die Masse ist dem Volumen direkt proportional.

als Proportionalität: $m \sim V$

als Gleichung: $m = \rho \cdot V$

als Diagramm:



Physikalische Gesetze existieren unabhängig vom Willen und von den Wünschen des Menschen. Das Hebelgesetz der Physik z. B. wirkt in Natur

und Technik, ob wir es wollen oder nicht. Der Mensch kann Gesetze nur erkennen und zu seinem Vorteil nutzen. So kann man im täglichen Leben z. B. das Hebelgesetz nutzen, um mit einem Flaschenöffner eine Flasche zu öffnen oder mit einer Brechstange eine Kiste anzuheben. Dazu muss man das Gesetz noch nicht einmal kennen.

Physikalische Gesetze kann man auch nutzen, um technische Geräte zu bauen. So wird das Induktionsgesetz in Wechselstromgeneratoren genutzt, um Wechselströme und Wechselspannungen zu erzeugen.

Der Mensch kann auch Schaden nehmen, wenn er das Wirken von physikalischen Gesetzen nicht beachtet. Das Wirken des Trägheitsgesetzes kann bei Autounfällen zu schwersten Verletzungen führen, wenn sich die Insassen nicht mit Sicherheitsgurten anschnallen oder wenn schwere Gegenstände lose auf der hinteren Ablage liegen.

Zum Teil treten auch Schäden für den Menschen und seine Umwelt auf, weil ein gesetzmäßiger Zusammenhang oder die Gültigkeitsbedingungen noch nicht genau erkannt sind.

Deshalb ist es Ziel der Physik, Gesetze in der Natur immer genauer zu erkennen und zum Wohl des Menschen und seiner Umwelt zu nutzen.

Zum Erklären und Voraussagen werden in der Physik nicht nur Gesetze, sondern auch Modelle genutzt.

Ein **Modell** ist eine Vereinfachung der Wirklichkeit. In wichtigen Eigenschaften stimmt das Modell mit der Wirklichkeit überein, in anderen nicht.

Deshalb kann man mit *einem* Modell eine Reihe von Erscheinungen erklären und voraussagen, andere wiederum nicht. Für letztere Erscheinungen muss man ein anderes Modell benutzen. Ein Modell ist nur innerhalb bestimmter Grenzen gültig und sinnvoll anwendbar.

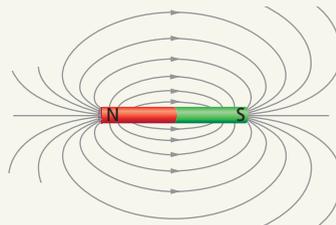
Modelle können sowohl **materiell** (gegenständlich) als auch **ideell** (gedanklich) sein.

► Ein Modell ist weder richtig noch falsch, sondern nur für die Erklärung und Voraussage von bestimmten Erscheinungen geeignet und zweckmäßig oder nicht geeignet und unzweckmäßig.

Materielle Modelle sind z. B. die Modelle von Motoren (↗ Abb. rechts), Generatoren, Transformatoren, Pumpen sowie sonstigen Geräten und Anlagen. Besonders gut lässt sich mit ihnen die Wirkungsweise von Geräten und Anlagen demonstrieren.



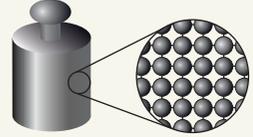
Ideelle Modelle sind z. B. das Modell Feldlinienbild (↗ Abb. rechts), das Modell Massepunkt oder das Teilchenmodell. Beschrieben werden sie meist durch ein System von Aussagen oder durch zeichnerische Darstellungen.



Mit materiellen Modellen kann man auch experimentieren. Mit solchen Modellexperimenten kann man innerhalb der Gültigkeitsgrenzen des jeweiligen Modells Erklärungen bestätigen und Voraussagen treffen.

Das Teilchenmodell beinhaltet folgende Aussagen:

1. Alle Stoffe bestehen aus Teilchen.
2. Die Teilchen befinden sich in ständiger Bewegung.
3. Zwischen den Teilchen wirken Kräfte.



Ein solches ideelles Modell kann auch materiell umgesetzt werden. So kann man sich das Teilchenmodell z.B. als kleine Kugeln vorstellen, die durch Federn miteinander verbunden sind.

Noch stärker vereinfacht lässt es sich durch kleine Teilchen (Murmeln, Erbsen, Reiskörner) darstellen. Dabei bleiben die Kräfte zwischen den Teilchen und die Bewegung der Teilchen unberücksichtigt.

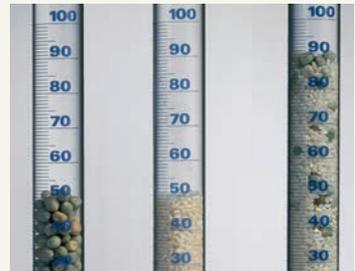
- Mit dem Teilchenmodell lässt sich z.B. folgende Erscheinung erklären:

Mischt man 50 ml Alkohol und 50 ml Wasser, so erhält man nicht 100 ml, sondern nur 96 ml Flüssigkeitsgemisch. Der Grund liegt in der unterschiedlichen Größe der Alkohol- und Wasserteilchen.



- In einem Modellexperiment mit Erbsen und Reiskörnern kann man das bestätigen.

Mischt man die Erbsen und die Reiskörner, so ist das Volumen des Gemischs kleiner als die Summe der beiden Ausgangsvolumen. Der Grund liegt in der unterschiedlichen Größe der Teilchen.



► Ein Teil der Reiskörner füllt die Lücken zwischen den Erbsen aus.

Für einen bestimmten Teilbereich der Physik gibt es verschiedene Gesetze sowie unterschiedliche Modelle und Aussagen.

Ein System von Gesetzen, Modellen und Aussagen über einen Teilbereich der Physik bezeichnet man als **physikalische Theorie**.

- Ein Beispiel für eine physikalische Theorie ist die newtonsche Mechanik, in der das Verhalten von Körpern unter dem Einfluss von Kräften erfasst wird.

1.2.3 Erkenntniswege in der Physik

Das Erkennen physikalischer Gesetze

Das Erkennen und Anwenden von Gesetzen in Naturwissenschaft und Technik ist ein äußerst komplexer und in der Regel langwieriger Prozess. Wichtige Naturgesetze und deren Gültigkeitsbedingungen sind in langen, wechselvollen historischen Prozessen entdeckt worden. Diese Prozesse waren oft von Irrtümern und Irrwegen begleitet.

Auch heute ist das Erkennen von Naturgesetzen trotz modernster Experimentier- und Computertechnik ein komplizierter Prozess, bei dem meistens ganze Gruppen von Wissenschaftlern in aller Welt zusammenarbeiten.

Unabhängig vom komplizierten, wechselvollen Weg mit Irrtümern und Irrwegen gibt es immer wieder bestimmte Etappen, die in der Wissenschaft durchschritten werden müssen, um neue Gesetze in der Natur zu erkennen. An einem Beispiel aus der Geschichte der Physik soll das vereinfacht dargestellt werden.



Weg der Erkenntnis neuer Gesetze in der Natur	Ein Beispiel aus der Physik
<p>1. In der Natur gibt es interessante, z. T. auffällige Erscheinungen, die beobachtet werden. Diese Erscheinungen veranlassen zur genauen Beobachtung. Durch Vergleichen wird versucht, Gemeinsamkeiten, Unterschiede und Regelmäßigkeiten in den Erscheinungen zu erkennen. Erscheinungen werden klassifiziert, d. h., Körper, Stoffe und Vorgänge mit gemeinsamen Eigenschaften werden zusammengefasst und beschrieben.</p> <p>Begriffe werden definiert und Größen eingeführt.</p> <p>Im Ergebnis dieser Etappe können Vermutungen aufgestellt werden,</p> <ul style="list-style-type: none"> – welche Zusammenhänge in den Erscheinungen wirken und – unter welchen Bedingungen diese auftreten. <p>Es werden Fragen gestellt, die es genauer zu untersuchen gilt.</p>	<p>In der Natur kann man beobachten,</p> <ul style="list-style-type: none"> – dass sich Balken biegen, wenn sie belastet werden, – dass sich Seile und Drähte verlängern, wenn man an ihnen zieht, – dass sich Bäume im Wind verformen. <p>Genauere Beobachtungen zeigen, dass sich Körper immer dann verformen, wenn auf sie eine Kraft wirkt. Dabei gibt es Körper, die nach Wegfall der Kraft wieder ihre ursprüngliche Form annehmen, und solche, die auch nach Wegfall der Kraft verformt bleiben.</p> <p>Zur Unterscheidung werden die Begriffe elastische und plastische Verformung verwendet.</p> <p>Aufgrund genauer Beobachtungen kann die Vermutung aufgestellt werden,</p> <ul style="list-style-type: none"> – dass die Verformung bzw. Verlängerung eines Körpers umso größer ist, je größer die einwirkende Kraft ist, – dass dieser Zusammenhang bei allen elastisch verformten Körpern gilt. <p>Welcher Zusammenhang existiert zwischen der Verformung bzw. Verlängerung eines elastischen Körpers und der einwirkenden Kraft?</p>

2. Um die Vermutungen zu prüfen und die Fragen zu beantworten, werden die Erscheinungen noch genauer untersucht. Dazu führt man in der Regel **Experimente** an einer Reihe von einzelnen Objekten durch, um die vermuteten Zusammenhänge exakt zu erfassen und die Wirkungsbedingungen besser zu erkennen. Vorher werden **experimentelle Fragen** gestellt. Es werden Messwerte aufgenommen und mit mathematischen Mitteln ausgewertet (grafisch oder rechnerisch).

Häufig wird versucht, den Zusammenhang zwischen den Größen bzw. Eigenschaften von Objekten mit mathematischen Mitteln, z. B. als Diagramm, als Proportionalität oder als Gleichung, zu beschreiben. Dazu werden die Messwertereihen rechnerisch ausgewertet und die Diagramme interpretiert.



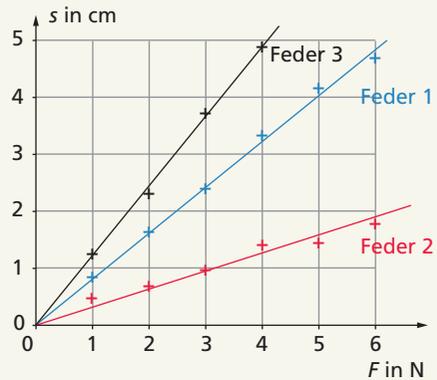
Der Zusammenhang, der zunächst nur an einzelnen Objekten gefunden wurde, wird auf eine ganze Klasse von Objekten **verallgemeinert**. Dabei ist man häufig zunächst auf Vermutungen in Bezug auf die Gültigkeitsbedingungen des Zusammenhangs angewiesen.

In Experimenten an verschiedenen Federn aus unterschiedlichsten Materialien wird folgende **experimentelle Frage** untersucht: Welcher Zusammenhang existiert zwischen der Verlängerung s einer elastischen Feder und der an ihr angreifenden Kraft F ?

Feder 1 als Beispiel

F in N	s in cm	$\frac{F}{s}$ in $\frac{\text{N}}{\text{cm}}$
0	0	–
1	0,8	1,25
2	1,7	1,18
3	2,4	1,25
4	3,3	1,21
5	4,1	1,22
6	4,7	1,28

Analoge Messwertereihen werden für weitere Federn aufgenommen und können grafisch dargestellt werden.



Aus den Messwertereihen und aus den Diagrammen kann man erkennen:

$$s \sim F \quad \text{oder}$$

$$\frac{F}{s} = \text{konstant} \quad \text{oder}$$

$$F = D \cdot s$$

Das so vermutlich existierende Gesetz muss vor allem hinsichtlich seiner Gültigkeitsbedingungen weiter überprüft werden. Manchmal erscheint es im Zusammenhang mit dem Erkennen neuer Gesetze sinnvoll, auch neue Begriffe zu **definieren** bzw. **Größen** einzuführen.

Häufig nutzt man beim Aufstellen bzw. Überprüfen von Vermutungen auch **Modelle** (↗ S. 29). Modelle sind zwar Vereinfachungen der Wirklichkeit, sie stimmen aber in wichtigen Eigenschaften mit dem Original überein, in anderen nicht.

3. Das gefundene Gesetz muss **überprüft** werden. Vor allem muss überprüft werden, ob die vorgenommene Verallgemeinerung des Zusammenhangs tatsächlich für die beschriebene Klasse von Objekten gilt.

Mithilfe des Gesetzes werden neue Erscheinungen bzw. Erkenntnisse vorausgesagt und in Experimenten bzw. in der Praxis überprüft.

Das entdeckte Gesetz wird zur **Erklärung** von Erscheinungen der Natur genutzt. Es können mit dem Gesetz Größen berechnet werden, die man in der Praxis überprüfen kann.

Unter Nutzung des Gesetzes kann man technische Geräte konstruieren, z. B. Federkraftmesser.

Jede erfolgreiche Anwendung eines Gesetzes in der Praxis ist ein Beleg für die Gültigkeit des gefundenen Gesetzes unter den gegebenen Bedingungen.

Man verallgemeinert den Zusammenhang zu folgendem **Gesetz**:

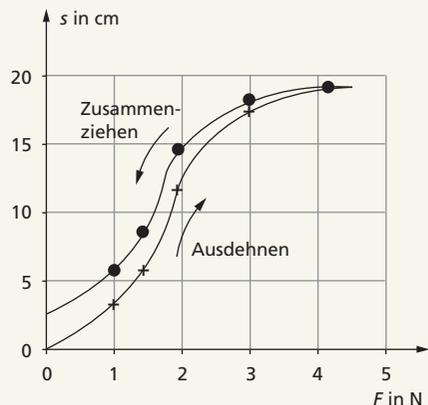
Für alle elastisch verformten Körper gilt unter Bedingung nicht zu großer Kräfte:

$$F = D \cdot s$$

Man hat festgestellt, dass bei zu großen Kräften zunächst elastisch verformte Körper dann plastisch verformt werden und das Gesetz nicht mehr gilt.

Der Faktor D im gefundenen Gesetz erhält den Namen „Federkonstante“ und wird als neue **Größe** eingeführt. Die Federkonstante ist ein Maß für die Härte einer Feder.

Mithilfe des gefundenen Gesetzes wird vorausgesagt, dass auch für die Verlängerung eines Gummibandes $s \sim F$ gilt. In Experimente kann man jedoch folgende Messwerte aufnehmen und grafisch darstellen:



Für ein Gummiband gilt das oben gefundene Gesetz nicht. Das Gummiband wird auch nicht vollständig elastisch verformt. Die Gültigkeit des gefundenen Gesetzes muss also für Gummibänder ausgeschlossen werden.

Manchmal führt die Anwendung eines Gesetzes zur Erkenntnis, dass das Gesetz nicht in allen Fällen so wirkt, wie es vorausgesagt wird. Dann müssen die Gültigkeitsbedingungen eingeschränkt oder der Zusammenhang und die Bedingungen noch weiter untersucht werden.

Mithilfe des erkannten Gesetzes kann z. B. ein *Federkraftmesser* konstruiert werden. Seine Wirkungsweise beruht auf diesem Gesetz. Bei der Nutzung des Federkraftmessers ist jedoch zu beachten, dass er nicht überdehnt wird, da die Feder sonst plastisch verformt wird und das zugrunde liegende Gesetz dann nicht mehr gilt. Das Gesetz wird ebenfalls bei Stoßdämpfern in Kraftfahrzeugen oder bei Puffern an Eisenbahnwaggons genutzt. Auch bei vielen anderen elastischen Verformungen von Körpern kann das Gesetz angewendet werden.

Das im Beispiel dargestellte Gesetz wurde 1675 von dem englischen Wissenschaftler ROBERT HOOKE (1635–1703) entdeckt und wird nach ihm *hookesches Gesetz* genannt.

Das Anwenden physikalischer Gesetze

Ein wichtiges Ziel der Physik ist das Anwenden physikalischer Gesetze zum Lösen von Aufgaben und Problemen, z. B. zum Erklären und Vorausagen von Erscheinungen, zum Berechnen von Größen, zum Konstruieren technischer Geräte. Auch beim Anwenden physikalischer Gesetze gibt es immer wieder bestimmte Schritte, die durchlaufen werden müssen.

Weg der Anwendung von physikalischen Gesetzen

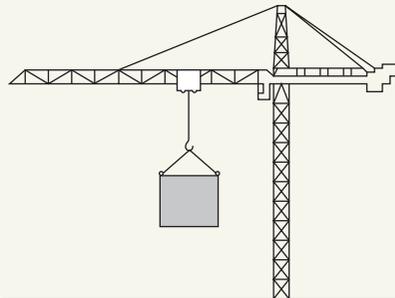
1. Zunächst geht es darum, den Sachverhalt der Aufgabe genau zu erfassen. Man muss sich den Sachverhalt in der Aufgabe gut vorstellen können. Dabei kann eine anschauliche Skizze helfen.



Ein Beispiel aus der Technik

Aufgabe: An einen Kranhaken wird eine Last der Masse 850 kg angehängt und angehoben. Um welche Länge wird das Seil des Krans gedehnt, wenn seine „Federkonstante“ 3200 N/cm beträgt?

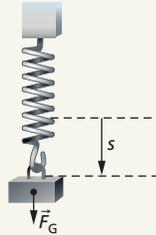
Analyse:



2. Der Sachverhalt der Aufgabe wird aus physikalischer Sicht vereinfacht. Unwesentliches wird weggelassen. Wesentliche Seiten werden mit Fachbegriffen beschrieben.

Zum Sachverhalt der Aufgabe kann eine vereinfachte, schematisierte Skizze angefertigt werden.

Das Seil eines Kranes ist in einem bestimmten Bereich ein elastischer Körper. Das bedeutet, dass das Seil bei Einwirkung einer Kraft verlängert wird und sich bei Wegfall dieser Kraft wieder zusammenzieht. Die einwirkende Kraft ist die Gewichtskraft der angehängten Last. Das Kranseil kann man sich vereinfacht als Feder vorstellen.



Gesuchte und gegebene Größen und Fakten werden zusammengestellt.

Gesucht: s
 Gegeben: $m = 850 \text{ kg}$
 $D = 3200 \frac{\text{N}}{\text{cm}}$

3. Wesentliche Seiten des Sachverhalts der Aufgabe werden mit physikalischen Gesetzen beschrieben. Dazu muss man gesetzmäßig wirkende Zusammenhänge und Bedingungen für das Wirken bekannter physikalischer Gesetze im Sachverhalt erkennen.

Lösung:
 Unter der Bedingung, dass sich das Kranseil ausschließlich elastisch verformt, gilt das Hookesche Gesetz:

$$F = D \cdot s$$

Die angreifende Kraft ist die Gewichtskraft der angehängten Last, die aus deren Masse berechnet werden kann.

Es gilt: $F_G = m \cdot g$

4. Die physikalischen Gesetze werden angewendet um die Aufgabe zu lösen, z. B. eine gesuchte Größe zu berechnen, eine Erscheinung zu erklären oder vorauszusagen. Dazu kann man verschiedene Mittel und Verfahren nutzen, z. B.
- das inhaltlich-logische Schließen,
 - Verfahren und Regeln der Gleichungslehre,
 - grafische Mittel,
 - geometrische Konstruktionen,
 - experimentelle Mittel.

Mit $g \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ ist

$$F_G = 8500 \text{ N.}$$

$$F = D \cdot s \quad | :D$$

$$s = \frac{F}{D}$$

$$s = \frac{8500 \text{ N} \cdot \text{cm}}{3200 \text{ N}}$$

$$s = \underline{\underline{2,66 \text{ cm}}}$$

Ergebnis:

Unter der Bedingung, dass sich ein Kranseil elastisch verformt, wird es beim Anhängen und gleichförmigem Heben einer Last von 850 kg um 27 mm gedehnt.

Die induktive Methode

Die induktive Methode ist dadurch gekennzeichnet, dass man von bisherigen Erfahrungen, Beobachtungen und begründeten Überlegungen ausgeht und dann mithilfe teils umfangreicher experimenteller Untersuchungen und Verallgemeinerungen zu neuen Gesetzen gelangt.

Das grundsätzliche Herangehen ist in der Übersicht rechts dargestellt.



Es soll untersucht werden, wovon die Kraft abhängt, mit der man einen Körper mit konstanter Geschwindigkeit auf einer Kreisbahn hält.

Aus Beobachtungen und Erfahrungen ist bekannt:

- Je größer die Masse eines Balls ist, den man auf einer Kreisbahn herumschleudern will, desto größer ist die erforderliche Kraft.
- je schneller man den Ball herumschleudert, desto mehr Kraft muss man aufwenden.
- Je enger eine Kurve ist, die man durchfahren will, desto mehr muss man die Geschwindigkeit verringern.

Aus diesen und weiteren Erfahrungen kann man ableiten: Die Kraft F_r die einen Körper auf eine Kreisbahn zwingt, hängt von der Masse m des Körpers, von seiner Geschwindigkeit v und von seinem Bahnradius r ab.

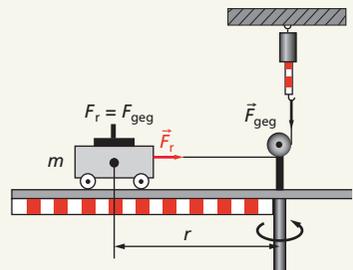
Im nächsten Schritt plant und realisiert man Experimente, mit denen man die vermuteten Zusammenhänge genauer untersuchen kann. Eine mögliche Experimentanordnung ist unten angegeben.

Dabei ist zu beachten: Wenn man den Zusammenhang zwischen zwei Größen untersucht, müssen alle anderen Größen und Bedingungen konstant gehalten werden. Wird die Kraft F in Abhängigkeit von der Masse m untersucht, dann müssen Bahnradius r und Geschwindigkeit v immer gleich groß sein.

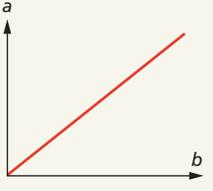
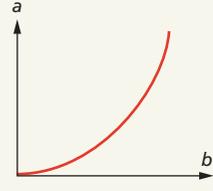
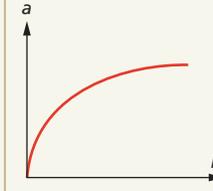
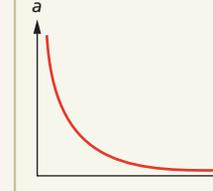
Man erhält damit Messreihen für zwei Größen. Ist der Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen nicht sofort erkennbar, so stellt man die Wertepaare in einem Diagramm dar oder wendet mathematische Methoden an, um die Art des Zusammenhangs zu erfassen (↗ Übersicht S. 37 oben). In unserem Beispiel findet man folgende Zusammenhänge:

- $F \sim m$ bei konstantem v und r
- $F \sim \frac{1}{r}$ bei konstantem v und m
- $F \sim v^2$ bei konstantem m und r

Da der Proportionalitätsfaktor 1 ist, erhält man die Gleichung $F = m \cdot \frac{v^2}{r}$.



Einige typische Diagramme und die möglichen mathematischen Zusammenhänge.
Beachte: Aus einem Diagramm kann man nur eine Vermutung ableiten.

			
$a \sim b$	$a \sim b^2$	$a \sim \sqrt{b}$	$a \sim \frac{1}{b}$
$\frac{a}{b} = \text{konstant}$	$\frac{a}{b^2} = \text{konstant}$	$\frac{a}{\sqrt{b}} = \text{konstant}$	$a \cdot b = \text{konstant}$

Die deduktive Methode

Bei der deduktiven Methode geht man von bekannten Zusammenhängen und Gesetzen und deren Gültigkeitsbedingungen aus (↗ Übersicht rechts). Unter Nutzung mathematischer Verfahren leitet man daraus ein neues Gesetz ab.

Wir betrachten als Beispiel wiederum die Kraft, die man benötigt, um einen Körper auf einer Kreisbahn zu halten.

Die auf S.36 genannte Formel $F = m \cdot \frac{v^2}{r}$ kann man auch mit der

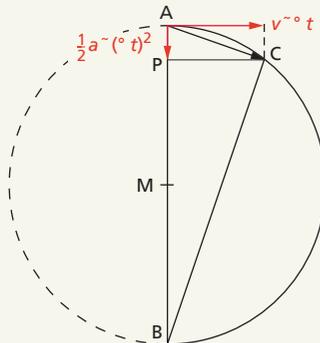
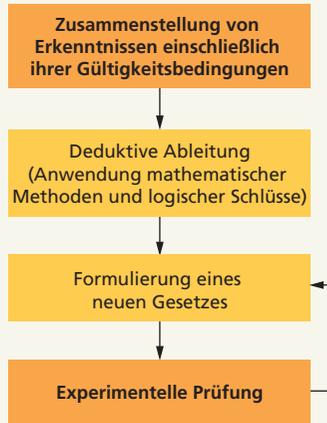
deduktiven Methode herleiten. Dabei gehen wir davon aus, dass die Bewegungsgesetze für gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen sowie das newtonsche Grundgesetz bekannt sind.

Die Kreisbewegung wird in zwei voneinander unabhängige Bewegungen zerlegt: eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit tangential zur Kreisbahn und eine Bewegung mit konstanter Beschleunigung in Richtung des Mittelpunkts der Kreisbahn.

Beide Teilbewegungen sind in der Abbildung rechts rot eingezeichnet.

Das Dreieck ABC ist nach dem Satz des THALES rechtwinklig. Dann gilt nach dem Höhensatz:

$$\overline{AP} \cdot \overline{PB} = (\overline{PC})^2$$



Setzt man die in der Abbildung auf S. 37 unten genannten physikalischen Größen ein, so erhält man:

$$\frac{1}{2} a \cdot (\Delta t)^2 \cdot \left(2r - \frac{1}{2} a \cdot (\Delta t)^2 \right) = (v \cdot \Delta t)^2$$

Die Umformung ergibt:

$$r \cdot a \cdot (\Delta t)^2 - \frac{1}{4} a^2 \cdot (\Delta t)^4 = v^2 \cdot (\Delta t)^2 \quad r \cdot a - \frac{1}{4} a^2 \cdot (\Delta t)^2 = v^2$$

Lässt man Δt immer kleiner werden, dann kann bei $\Delta t \rightarrow 0$ der Term $\frac{1}{4} a^2 \cdot (\Delta t)^2$ vernachlässigt werden und es gilt:

$$r \cdot a = v^2 \quad \text{oder} \quad a = \frac{v^2}{r}$$

Setzt man diese Beschleunigung a in das newtonsche Grundgesetz $F = m \cdot a$ ein, so erhält man:

$$F = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

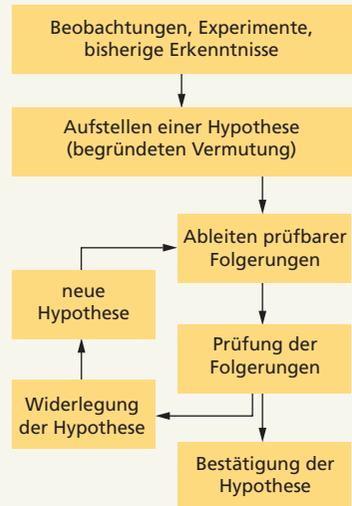
Wir haben auf diese Weise aus bekannten Gesetzen durch mathematische Überlegungen ein neues Gesetz hergeleitet. Es ist allerdings nicht selbstverständlich, dass das newtonsche Grundgesetz auch für Kreisbewegungen gilt. Das muss experimentell geprüft werden.

Die experimentelle oder galileische Methode

Ein weiteres typisches Herangehen an das Finden von Gesetzen wurde von GALILEO GALILEI in die Wissenschaft eingeführt.

G. GALILEI verband theoretische Überlegungen und experimentelle Untersuchungen eng miteinander und entwickelte eine Methode, die heute als **experimentelle oder galileische Methode** bezeichnet wird.

Auf der Grundlage bisheriger Erkenntnisse, aber auch durch Beobachtungen oder Experimente, kann man begründete Vermutungen ableiten. In der Physik spricht man von einer **Hypothese**. Durch Experimente wird der Wahrheitswert einer Hypothese bestätigt oder widerlegt.



► Beachte: Im Unterschied zur Bestätigung einer Hypothese ist zur Widerlegung einer Hypothese ein einziges Experiment ausreichend.

■ Eine solche Hypothese ist z. B.: Bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung wächst der Weg mit dem Quadrat der Zeit.

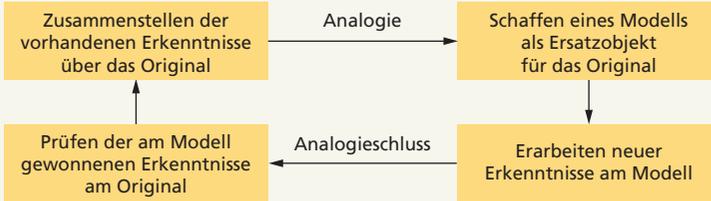
Untersucht man experimentell für verschiedene gleichmäßig beschleunigte Bewegungen den Zusammenhang zwischen Weg s und Zeit t , dann zeigt sich: Bei einer beliebigen gleichmäßig beschleunigten Bewegung ist der Quotient $\frac{s}{t^2}$ immer konstant. Es gilt also $s \sim t^2$.

Die Hypothese ist damit als richtig bestätigt.

Die Modellmethode

Modelle (S. 29) können genutzt werden, um zu neuen Erkenntnissen zu gelangen. Grundlage der Modellmethode sind Analogien und Analogieschlüsse.

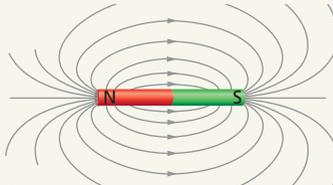
In einer Übersicht lässt sich die Modellmethode so darstellen:



Betrachten wir als Beispiel ein magnetisches Feld. Experimente zeigen:

- Körper aus Eisen, Nickel und Cobalt werden von einem Magneten angezogen.
- Zwischen Magneten wirken anziehende oder abstoßende Kräfte.
- Eisenfeilspäne richten sich in einem Magnetfeld in charakteristischer Weise aus.

Diese Erkenntnisse führen schließlich zu einem Modell, dass in der Physik **Feldlinienbild** genannt wird.



Im Modell Feldlinienbild kann man z. B. ermitteln, wie sich eine Magnethöhle in diesem Feld ausrichtet oder in welche Richtung eine Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter wirkt.

Diese Voraussagen können experimentell für das betreffende Feld (Original) geprüft werden.

Heuristische Methoden

In Physik und Technik werden neben den beschriebenen Methoden auch **heuristische Methoden** angewendet. Abgeleitet ist dieser Begriff vom griechischen „heuriskein“ = finden, entdecken. Dabei spielen neben Erkenntnissen und Erfahrungen auch Intuition und Zufall eine Rolle. Solche heuristischen Methoden lassen sich kaum in eindeutigen Schritten erfassen. Typische Herangehensweisen sind z. B.

- das Problemlösen mit Versuch und Irrtum (trial and error),
- die intuitive Formulierung von Zusammenhängen,
- das Ausprobieren von begründeten Varianten.

Modellbildung mit einem Computer

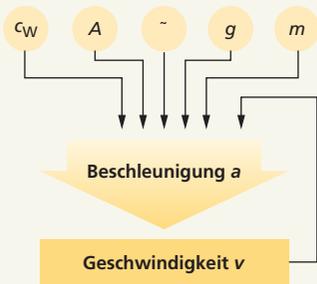
Häufig braucht man für technische Anwendungen quantitative Voraussetzungen. Wenn man die geeigneten physikalischen Gesetze anwendet, stößt man oft auf mathematische Gleichungen, die nicht so ohne weiteres aufzulösen sind. So können in einer Gleichung Größen auftreten, die gegenseitig voneinander abhängen.

Betrachtet man z. B. den Fall eines Körpers in Luft, dann hängt die Geschwindigkeit des Körpers zu einem bestimmten Zeitpunkt von der Beschleunigung ab, die er vorher hatte. Die Beschleunigung wiederum hängt aber von der momentanen Geschwindigkeit ab, weil der bewegungshemmende Luftwiderstand mit zunehmender Geschwindigkeit größer wird.

Solche komplexen Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen können wir im Allgemeinen mit den Mitteln der Schulmathematik nicht auflösen.

Die moderne Rechentechnik ermöglicht es aber, auch solche komplexen Zusammenhänge zu bearbeiten. Dazu verwendet man **Modellbildungssysteme**.

Das Grundprinzip besteht darin, dass man alle für den jeweiligen Fall wichtigen Größen eingibt, der Computer in kleinen Zeitschritten Zwischenlösungen berechnet und diese zu einer Gesamtlösung zusammenfügt.



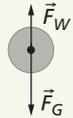
Für den Fall eines Körpers in Luft muss man zunächst zusammenstellen, von welchen Größen die Beschleunigung a des Körpers abhängt.

Auf einen solchen Körper wirken Erdanziehungskraft (Gewichtskraft F_G) und Luftwiderstandskraft F_W . Die jeweilige Beschleunigung hängt von der beschleunigenden Kraft ab:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{F_G - F_W}{m}$$

Für die Gewichtskraft gilt $F_G = m \cdot g$, für die Luftwiderstandskraft:

$$F_W = \frac{1}{2} c_W \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$



Für die Beschleunigung ergibt sich daraus die Formel:

$$a = g - \frac{1}{2m} \cdot c_W \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

Die Beschleunigung ist demzufolge von folgenden Größen abhängig:

- Fallbeschleunigung g
- Masse m des fallenden Körpers
- Luftwiderstandszahl c_W , eine von Form und Oberflächenbeschaffenheit des Körpers abhängige Zahl
- Querschnittsfläche A des Körpers
- Dichte ρ der Luft
- Geschwindigkeit v

Die Beschleunigung bewirkt eine zeitliche Veränderung der Geschwindigkeit v des Körpers. Umgekehrt hängt die Beschleunigung rückgekoppelt wieder von der Geschwindigkeit ab. Diese Zusammenhänge sind in der Skizze dargestellt.

In einem nächsten Schritt gibt man die oben genannte Formel für die Beschleunigung ein. Den Rest übernimmt der Computer. Er berechnet Zeitschritt für Zeitschritt die Geschwindigkeit, ermittelt daraus die Beschleunigung, daraus wiederum die Geschwindigkeit usw.

Die Rechenweise des Computers können wir nachvollziehen. Er rechnet in vielen kleinen Zeitschritten, indem er während des Zeitintervalls Δt annimmt, dass die Beschleunigung konstant sei:

$$a = g - \frac{1}{2m} \cdot c_W \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 \quad v_{\text{neu}} = v + a \cdot \Delta t \quad t_{\text{neu}} = t + \Delta t$$

Diese Schritte werden viele hundertmal wiederholt.

Wir beginnen zur Zeit $t = 0$ mit der Geschwindigkeit $v = 0$ und können die Rechnung des Computers in einer Tabelle darstellen. Dabei müssen wir kleine Zeitschritte Δt wählen, weil sonst die Näherung, dass während dieser Zeit die Beschleunigung konstant sei, zu ungenau wäre.

Für $\Delta t = 0,01$ s, $c_W = 0,45$, $A = 1$ m², $\rho = 1,25$ kg/m³ und $m = 1$ kg sieht der Anfang der Tabelle unter Berücksichtigung sinnvoller Genauigkeit so aus, wie es unten links dargestellt ist.

Die Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Zeit wird dann z.B. in einem Diagramm erfasst (Abb. unten rechts).

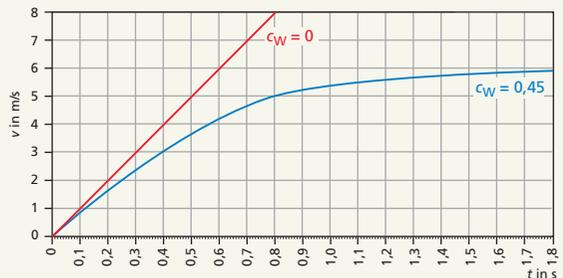
Daraus ist erkennbar: Ohne Luftwiderstand ($c_W = 0$) nimmt die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers proportional zur Zeit zu (rot eingezeichnete Gerade).

Mit Luftwiderstand nimmt die Geschwindigkeit am Anfang ähnlich wie ohne Luftwiderstand zu, da sich dieser wegen der geringen Geschwindigkeit kaum auswirkt. Dann nimmt sie nicht mehr so stark zu, bis sie endlich konstant bleibt. Das ist dann der Fall, wenn die Luftwiderstandskraft genauso groß wie die Gewichtskraft ist. Die Resultierende der beiden Kräfte ist dann null. Damit ist auch die Beschleunigung null.

Mit solchen Modellbildungssystemen kann man die Frage „Was wäre, wenn?“ untersuchen. Dabei ist aber ein zentrales Problem der Modellbildung zu beachten: Der Mensch kann beliebige mathematische Modelle aufstellen. Ihre Bedeutung ergibt sich erst, wenn man mit ihnen Voraussagen machen kann, die mit der Beobachtung der realen Vorgänge übereinstimmen.

In der Technik hat man früher Experimente an Originalen (↗ Foto oben) oder an maßstäblichen Modellen durchgeführt. So wurde z.B. der Luftwiderstand eines Autos an einem Modell im Maßstab 1:20 in einem Windkanal bestimmt und dann geschlossen, wie groß er am realen Auto sein wird. Heute werden die Berechnungen zum überwiegenden Teil mit Computermodellen durchgeführt.

t in s	a in $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	v in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
0	9,8	0
0,01	9,81	0,10
0,02	9,81	0,20
0,03	9,80	0,29
0,04	9,79	0,39
0,05	9,74	0,49



1.2.4 Tätigkeiten in der Physik

Vor allem im Zusammenhang mit dem Erkennen und Anwenden physikalischer Gesetze, mit dem Definieren von Begriffen und dem Arbeiten mit Größen gibt es eine Reihe von wichtigen Tätigkeiten, die immer wieder durchgeführt werden.

Beschreiben

Beim Beschreiben wird mit sprachlichen Mitteln zusammenhängend und geordnet dargestellt, wie ein Gegenstand oder eine Erscheinung in der Natur beschaffen ist, z.B. welche Eigenschaften ein Körper besitzt, wie ein Vorgang abläuft, wie ein technisches Gerät aufgebaut ist. Dabei werden in der Regel äußerlich wahrnehmbare Eigenschaften der Erscheinung dargestellt.

Im Zusammenhang mit der Erklärung einer Erscheinung beschränkt man sich bei der Beschreibung häufig auf die Darstellung wesentlicher äußerlich wahrnehmbarer Seiten der Erscheinung.



■ Beschreibe den Ablauf des Experiments!

Das Glas wird randvoll mit Wasser gefüllt. Anschließend wird eine Karteikarte so aufgelegt, dass keine Luft zwischen Wasser und Karteikarte gelangt.

Dann dreht man das Glas vorsichtig um und hält dabei die Karte fest. Beim Loslassen fällt die Karte nicht herunter.

Erklären

Beim Erklären wird zusammenhängend und geordnet dargestellt, *warum* eine Erscheinung in der Natur so und nicht anders auftritt. Dabei wird die Erscheinung auf das Wirken von Gesetzen zurückgeführt, indem man darstellt, dass die Wirkungsbedingungen bestimmter Gesetze in der Erscheinung vorliegen. Diese Wirkungsbedingungen sind wesentliche Seiten in der Erscheinung.

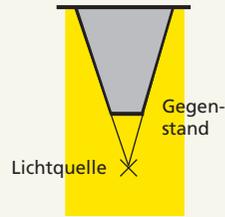
Auch Modelle können zum Erklären herangezogen werden.

■ Wenn ein lichtundurchlässiger Gegenstand in das Licht einer Glühlampe gehalten wird, erhält man einen scharf begrenzten Schatten. Bringt man den Gegenstand in das Licht einer langen Leuchtstofflampe, so sieht man einen unscharfen Schatten.

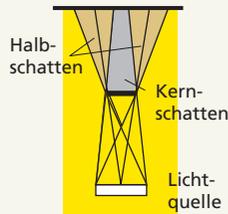
Für die Lichtausbreitung gilt das Gesetz, dass sich Licht von einer Lichtquelle *nach allen Seiten geradlinig ausbreitet*. Zur Veranschaulichung der Lichtausbreitung können Lichtstrahlen als Modell für den Weg des Lichts genutzt werden.

Bei einer fast punktförmigen Lichtquelle breitet sich Licht nur von einem Punkt geradlinig nach allen Seiten aus. Diese Lichtausbreitung

wird durch den undurchsichtigen Körper behindert. Das Schattengebiet wird durch die Randstrahlen scharf begrenzt.



Bei zwei Lichtquellen oder einer ausgedehnten Lichtquelle breitet sich das Licht von *jedem* Punkt der Lichtquelle nach allen Seiten geradlinig aus. So erzeugt jeder Punkt der Lichtquelle einen scharfen Schatten des Körpers. Die verschiedenen Schattengebiete überlagern sich jedoch, sodass der Schatten insgesamt unscharf wird.



► Gehe beim Erklären folgendermaßen vor:

- Beschreiben wesentlicher Seiten der Erscheinung,
- Nennen von Gesetzen und Modellen, die der Erscheinung zugrunde liegen,
- Zurückführen der Erscheinung auf Gesetze oder Modelle.

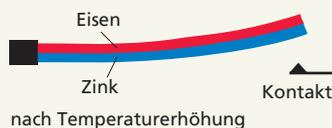
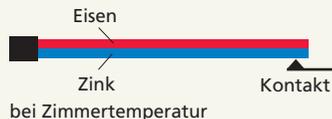
Beschreiben des Aufbaus und Erklären der Wirkungsweise technischer Geräte

Die Wirkungsweise technischer Geräte lässt sich auf das Wirken physikalischer Gesetze, deren Wirkungsbedingungen im Aufbau realisiert sind, zurückführen.

Bei vielen technischen Geräten (z. B. Bügeleisen, Heizkissen, Kühlschrank) darf sich die Temperatur nur innerhalb bestimmter Grenzen verändern. Für diese Temperaturregung werden Bimetallschalter benutzt.

Beschreibe den Aufbau und erkläre die Wirkungsweise eines Bimetallschalters!

Ein Bimetallschalter dient dem Öffnen und Schließen eines elektrischen Stromkreises beim Über- bzw. Unterschreiten einer bestimmten Temperatur. Wesentlicher Teil dieses Schalters ist ein Bimetallstreifen. Er besteht aus zwei verschiedenen Metallen, die fest miteinander verschweißt, verklebt oder vernietet sind.



► Gehe folgendermaßen vor:

- Nennen des Verwendungszwecks des Geräts,
- Beschreiben der für das Wirken der Gesetze wesentlichen Teile des Geräts,
- Zurückführen der Wirkungsweise auf Gesetze.

Ändert sich die Temperatur, so ändert sich auch die Länge des Bimetallstreifens, denn für alle festen Körper gilt das Gesetz:
Wenn sich die Temperatur des Körpers ändert, so ändert sich auch seine Länge.

Die beiden Metalle des Bimetallstreifens (z. B. Eisen und Zink) dehnen sich bei gleicher Temperaturänderung unterschiedlich stark aus. Da beide Metallstreifen fest miteinander verbunden sind, biegt sich der Bimetallstreifen bei Temperaturänderung und öffnet bzw. schließt einen elektrischen Kontakt.

Voraussagen

Beim Voraussagen wird auf der Grundlage von Gesetzen und Modellen unter Berücksichtigung entsprechender Bedingungen eine Folgerung in Bezug auf eine Erscheinung abgeleitet und zusammenhängend dargestellt.

- ▶ Gehe beim Voraussagen folgendermaßen vor:
 - Beschreiben wesentlicher Seiten der Erscheinung,
 - Nennen von Gesetzen und Modellen, die der Erscheinung zugrunde liegen,
 - Ableiten von Folgerungen für die Erscheinung.

- ▶ Voraussagen werden in der Praxis (durch Experimente) überprüft.

- Ein Mädchen steht auf einem Skateboard und wirft einen schweren Medizinball so weg, wie es skizziert ist.

Sage voraus, was passieren wird!

- Zunächst steht das Mädchen mit dem Medizinball auf dem Skateboard. Beide befinden sich in Ruhe. Dann wirft das Mädchen den Medizinball nach hinten weg. Dazu muss das Mädchen eine Kraft in Bewegungsrichtung des Medizinballs aufwenden.

Nach dem *Wechselwirkungsgesetz* muss es zu *jeder Kraft eine gleich große und entgegengesetzt gerichtete Gegenkraft* geben, wenn Körper aufeinander einwirken. Deshalb wirkt eine Kraft entgegen der Bewegungsrichtung des Medizinballs. Diese Kraft führt nach dem newtonschen Grundgesetz zu einer Beschleunigung des Mädchens mit dem Skateboard. Das Mädchen bewegt sich nach dem Abwurf des Medizinballs mit dem Skateboard in entgegengesetzter Richtung weg.



Eine wissenschaftliche Voraussage beruht immer auf der Grundlage von Gesetzen und Modellen und hat nichts mit Spekulationen zu tun. Der Wahrheitswert einer Voraussage oder Prognose kann trotzdem unterschiedlich sein.

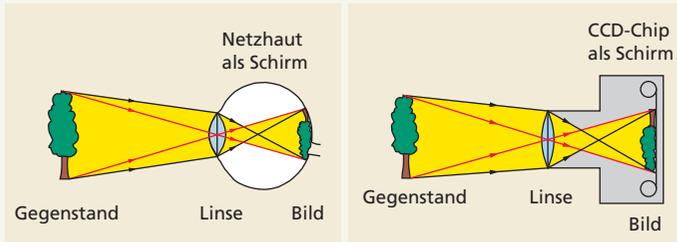
Wird z. B. die Voraussage auf der Grundlage eines bekannten und vielfach bestätigten Gesetzes getroffen, so ist die Voraussage mit hoher Wahrscheinlichkeit wahr. Sind alle zugrunde liegenden Gesetze sehr komplex und nicht alle Wirkungsbedingungen bekannt, so kann die Voraussage auch unsicher sein. Das ist nicht selten bei Wettervorhersagen der Fall.

Vergleichen

Beim Vergleichen werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede von zwei oder mehreren Vergleichsobjekten (z. B. Körper, Stoffe, Vorgänge) ermittelt und dargestellt.

Da ein Vergleich in der Regel einen Zweck verfolgt, kann man aus den zusammengestellten Fakten meist eine Schlussfolgerung ableiten.

Vergleiche den Aufbau des menschlichen Auges mit dem eines Fotoapparats!



Mit Auge und Fotoapparat werden Bilder von Gegenständen erzeugt. Der *Aufbau* weist Gemeinsamkeiten und Unterschiede auf.

Gemeinsamkeiten:

Prinzipiell besitzen Auge und Fotoapparat als optische Systeme eine Linse und einen Schirm. Mit der Linse werden jeweils reelle Bilder auf dem Schirm erzeugt.

Unterschiede:

Die Unterschiede bestehen

- in der Zusammensetzung der Linsen bzw. des Linsensystems und
- in der Art des Schirms (Netzhaut, CCD-Chip).

Auge und Fotoapparat besitzen aus optischer Sicht einen analogen physikalischen Aufbau.

► Gehe beim Vergleichen folgendermaßen vor:

- Wählen geeigneter Kriterien für den Vergleich,
- Nennen von Gemeinsamkeiten und Unterschieden,
- Ableiten von Schlussfolgerungen.

Vergleichen bedeutet immer das Herausarbeiten von Gemeinsamkeiten oder Unterschieden bezüglich bestimmter Aspekte. Beim oben genannten Beispiel des Vergleichs von Auge und Fotoapparat wird der Aufbau miteinander verglichen. Mögliche andere Aspekte sind der Vergleich der Wirkungsweise oder der Vergleich bestimmter Eigenschaften.

Vergleiche die elektrische Leitfähigkeit verschiedener Metalle miteinander!

Die *Gemeinsamkeit* besteht darin, dass alle Metalle den elektrischen Strom relativ gut leiten.

Die Unterschiede bestehen darin, dass z. B. Silber, Kupfer, Gold oder Aluminium den elektrischen Strom sehr gut leiten, die Leitfähigkeit von Eisen, Blei, Konstantan oder Quecksilber dagegen deutlich geringer ist.

Klassifizieren

Beim Klassifizieren werden verschiedene Objekte aufgrund gemeinsamer und unterschiedlicher Merkmale in Klassen eingeteilt. Alle Objekte, die bestimmte gemeinsame Merkmale besitzen, werden zu einer Klasse zusammengefasst. Dazu ist ein Vergleich der Objekte notwendig. Die Klassen werden benannt und es entstehen Begriffssysteme.

- ▶ Gehe beim Klassifizieren folgendermaßen vor:
- Untersuchen und Vergleichen der Eigenschaften von Objekten,
 - Zusammenfassen der Objekte mit gemeinsamen Eigenschaften,
 - Bezeichnen der Gruppen bzw. Klassen von Objekten.

■ *Klassifiziere die verschiedenen Stoffe hinsichtlich ihrer elektrischen Leitfähigkeit!*

Untersucht man experimentell verschiedene Stoffe danach, wie gut sie den elektrischen Strom leiten, so kann man gute und schlechte elektrische Leiter unterscheiden.

Man kann deshalb die Stoffe in zwei große Gruppen einteilen und als „elektrische Leiter“ bzw. „elektrische Nichtleiter“ (Isolatoren) bezeichnen.

Elektrische Leiter	Elektrische Nichtleiter
Metalle leuchtende Gase wässrige Lösungen von Säuren, Basen und Salzen	Keramik Kunststoffe Glas Gummi nicht leuchtende Gase

Definieren

Beim Definieren wird ein Begriff durch die Festlegung wesentlicher, gemeinsamer Merkmale eindeutig bestimmt und von anderen Begriffen unterschieden.

- ▶ Beim Definieren kann man häufig folgendermaßen vorgehen:
- Nennen des Oberbegriffs,
 - Nennen artbildender Merkmale.

■ *Definiere den Begriff „mechanische Schwingung“!*

Eine mechanische Schwingung ist eine zeitlich periodische Bewegung eines Körpers um eine Ruhelage.

Oberbegriff: Bewegung

- artbildende Merkmale:
- zeitlich periodisch
 - um eine Ruhelage

Das Definieren von Begriffen kann z. B. auch durch Aufzählen erfolgen. Um den Begriff „elektrische Bauelemente“ zu definieren, kann man aufzählen, welche Bauelemente man dazu zählt.

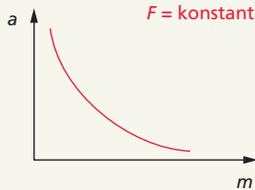
■ *Elektrische Bauelemente* sind elektrische Quellen, Widerstände, Glühlampen, Schalter, Spulen, Kondensatoren, Dioden und Transistoren.

Manchmal unterscheidet man auch zwischen elektrischen und elektronischen Bauelementen.

Erläutern

Beim Erläutern wird versucht, einem anderen Menschen einen naturwissenschaftlichen Sachverhalt (z.B. Vorgänge, Gesetze, Begriffe, Arbeitsweisen) verständlich, anschaulich, begreifbar zu machen.

Für alle Körper, die mit einer konstanten Kraft beschleunigt werden, gilt das unten stehende Diagramm.



Erläutere den gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen der Beschleunigung eines Körpers und seiner Masse an einem praktischen Beispiel!

Das Diagramm zeigt, dass bei einer konstanten Kraft die Beschleunigung eines Körpers umso größer ist, je kleiner seine Masse ist. Das ist z.B. beim Anfahren eines beladenen und eines unbeladenen Lkw mit gleicher Antriebskraft festzustellen. Da die Masse des unbeladenen Lkw kleiner ist als die des beladenen Lkw, ist die Beschleunigung des unbeladenen Lkw größer als die des beladenen Lkw. Der unbeladene Lkw kann z.B. an einer Kreuzung schneller anfahren.

Begründen

Beim Begründen wird ein Nachweis geführt, dass eine Aussage richtig oder zweckmäßig ist. Dazu müssen Argumente, z.B. Beobachtungen, Gesetze, Eigenschaften von Körpern und Stoffen, angeführt werden.

Begründe, warum man einen Pkw, der defekte Bremsen hat, nicht mit einem Seil abschleppen darf!

Beim Abschleppen eines Pkw mit defekten Bremsen durch einen anderen Pkw muss die Bremskraft dieses abschleppenden Pkw auf das defekte Fahrzeug übertragen werden, sonst würde der defekte Pkw beim Anhalten aufgrund des Trägheitsgesetzes weiterrollen. Ein Seil kann diese Kraft nicht übertragen. Dafür ist eine Abschleppstange oder ein spezielles Abschleppfahrzeug notwendig.

▶ Beim Erläutern kann man folgendermaßen vorgehen:

- Darstellen des Sachverhalts (z.B. des Gesetzes),
- Nennen von Beispielen,
- Darstellen, wie allgemeine Sachverhalte (z.B. Gesetze) in den Beispielen wirken.

▶ Beim Begründen kann man folgendermaßen vorgehen:

- Darstellen eines Sachverhalts, einer Maßnahme, einer Vorschrift u.Ä.,
- Nennen naturwissenschaftlicher Argumente.

Im Unterschied zum Erklären (S. 42) werden stets Aussagen begründet. Während beim Erklären immer auf Gesetze oder Modelle zurückgegriffen wird, können Begründungen objektiv oder subjektiv sein.

Interpretieren

Beim Interpretieren wird einer verbalen Aussage, einem Zeichensystem (z. B. einer mathematischen Gleichung oder Proportionalität) oder einer grafischen Darstellung (z. B. einem Diagramm) eine auf die Natur bezogene inhaltliche Bedeutung gegeben.

Insbesondere beim **Interpretieren von Gleichungen und Diagrammen** wird den Zeichen und Symbolen sowie den dargestellten Sachverhalten eine physikalische Bedeutung zugeordnet.

In der Physik ist es häufig erforderlich, eine gegebene Gleichung zu interpretieren. Dabei geht es darum, die in der Gleichung enthaltenen Zusammenhänge zu erfassen und eventuell auch Folgerungen daraus abzuleiten.

► Gehe beim Interpretieren einer Gleichung folgendermaßen vor:

- Nennen der physikalischen Größen und Bedingungen für die Gültigkeit,
- Ableiten von Zusammenhängen aus der mathematischen Struktur,
- Ableiten praktischer Folgerungen.

■ *Interpretiere die Gleichung $W = F \cdot s$ zur Berechnung der mechanischen Arbeit!*

Die Gleichung $W = F \cdot s$ beschreibt Zusammenhänge zwischen der mechanischen Arbeit W , der wirkenden Kraft F und dem zurückgelegten Weg s . Die Gleichung gilt unter der Bedingung, dass die Kraft konstant ist und in Richtung des Wegs wirkt.

Unter der Bedingung, dass die Kraft konstant ist, gilt:

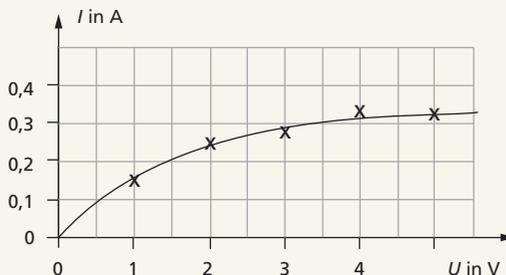
$W \sim s$, d. h., je größer der Weg ist, desto größer ist die verrichtete mechanische Arbeit. Dies tritt z. B. auf, wenn man mit einer Einkaufstasche statt in den 2. Stock in den 5. Stock eine Treppe hochsteigt.

Unter der Bedingung, dass der Weg konstant ist, gilt:

$W \sim F$, d. h., je größer die Kraft ist, desto größer ist die Arbeit. Dies tritt z. B. auf, wenn man statt mit einer mit zwei Einkaufstaschen in den 2. Stock eine Treppe hochsteigt.

Physikalische Zusammenhänge werden häufig in Form von Diagrammen dargestellt. Beim Interpretieren von Diagrammen kommt es vor allem darauf an, den Zusammenhang zwischen den beiden auf den Achsen aufgetragenen Größen zu erfassen.

■ In einem Experiment wurde die I - U -Kennlinie einer Glühlampe aufgenommen.



■ *Interpretiere dieses Diagramm!*

Die Kennlinie der Glühlampe stellt den Zusammenhang zwischen der elektrischen Stromstärke I und der Spannung U dar. Mit größerer Spannung steigt die Stromstärke durch die Glühlampe, jedoch liegt *keine* direkte Proportionalität vor. Die Spannung steigt stärker als die Stromstärke. Daraus kann man ableiten, dass der Widerstand der Lampe mit steigender Spannung größer wird. Das hängt damit zusammen, dass mit steigender Stromstärke auch die Temperatur des Glühfadens steigt. Das hat folgende Konsequenz: Im Moment des Einschaltens hat der Glühfaden Zimmertemperatur. Sein Widerstand ist klein. Damit ist beim Einschalten einer Glühlampe die Stromstärke wesentlich größer als im Betriebszustand. Das ist eine Ursache dafür, dass Glühlampen meist beim Einschalten kaputtgehen.

- Gehe beim Interpretieren eines Diagramms folgendermaßen vor:
- Nennen der physikalischen Größen, die auf den Achsen abgetragen sind,
 - Beschreiben des Zusammenhangs unter Beachtung der Bedingungen,
 - Ableiten praktischer Folgerungen.

Beobachten

Beim Beobachten werden gezielt Erscheinungen in der Natur mit Sinnesorganen wahrgenommen, um deren Eigenschaften, Merkmale, räumliche Beziehungen oder zeitliche Abfolgen sowie Veränderungen in den Erscheinungen zu erkennen. Zum Teil werden auch technische Geräte (z. B. Fernrohr, Mikroskop) als Hilfsmittel für die Beobachtung genutzt.

- Das Beobachten ist in der Regel mit dem Beschreiben des Beobachteten verbunden.

Beobachte den Ablauf einer Sonnenfinsternis!



Die Fotografie zeigt das, was man beobachten kann. Die Beobachtung kann man mit Worten beschreiben, z. B. in folgender Weise: Bei einer Sonnenfinsternis fällt der Schatten des Mondes auf die Erdoberfläche. Der Mond befindet sich dabei zwischen Sonne und Erde. Je nach der Stellung des Mondes sieht man nur noch einen Teil der Sonne, oder er verdeckt sie ganz. Wegen der Bewegung des Mondes und der Erde ändert sich die Form des sichtbaren Teils der Sonne ständig. Der gesamte Vorgang dauert mehrere Stunden.

Beim Beobachten kann man zwischen **unmittelbaren** und **mittelbaren** sowie **direkten** und **indirekten** Beobachtungen unterscheiden.

Unmittelbare Beobachtung	Mittelbare Beobachtung
Beobachtung nur mithilfe der Sinnesorgane des Menschen	Beobachtung mit Hilfsmitteln wie Lupe, Mikroskop, Fernrohr, Messgeräten
Direkte Beobachtung	Indirekte Beobachtung
Der Mensch nimmt Eigenschaften mit oder ohne Hilfsmittel direkt wahr.	Der Mensch nimmt Eigenschaften nur über spezielle Verfahren, z. B. Nachweisreaktionen, wahr.

Messen

Beim Messen wird der Wert einer Größe, d. h. der Ausprägungsgrad einer Eigenschaft, mithilfe eines Messgeräts dadurch bestimmt, dass die zu messende Größe mit einer festgelegten Einheit verglichen wird.

Dazu wird in der Regel eine Messvorschrift festgelegt.

Miss das Volumen einer Flüssigkeit mit einem Messzylinder!



Messvorschrift für die Volumenmessung mit Messzylindern:

1. Schätze das Volumen des Körpers! Wähle einen geeigneten Messzylinder aus!
2. Fülle die Flüssigkeit in den Messzylinder, stelle ihn auf eine waagerechte Unterlage!
3. Bringe deine Augen in Höhe der Flüssigkeitsoberfläche! Lies den Stand an der tiefsten Stelle der Oberfläche ab!

Werden z. B. 8 ml Flüssigkeit gemessen, bedeutet das, dass der Wert der Größe Volumen das Achtfache der Einheit 1 ml, also $8 \cdot 1 \text{ ml}$, beträgt.

Messgeräte haben einen bestimmten **Messbereich** und eine bestimmte **Messgenauigkeit**. Die Messgenauigkeit gibt an, mit welchem **Messfehler** der Messwert behaftet ist. Messwerte sind stets nur Näherungswerte für den wahren Wert der Größe.

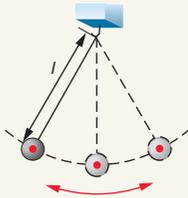
Um Messfehler möglichst gering zu halten, nimmt man häufig eine ganze Reihe von Messwerten – eine **Messwertereihe** – auf und bildet den Mittelwert der Größe.

Dadurch können zufällige Schwankungen der Messwerte um den wahren Wert der Größe berücksichtigt werden.

► Hinweise zu Messfehlern sind auf S. 63 ff. gegeben.

1

In einem Experiment zur Bestimmung der Fallbeschleunigung mit einem Fadenpendel soll die Zeit für jeweils 10 Schwingungen bestimmt werden.



t für 10 Schwingungen

Dazu werden fünf Messungen durchgeführt und der Mittelwert gebildet: $\bar{t} = 1,62$ s.

► Den Mittelwert berechnet man, indem man alle Messwerte addiert und durch die Anzahl der Messungen dividiert.

Messung Nr.	t für 10 Schwingungen
1	16,4 s
2	16,1 s
3	16,2 s
4	16,0 s
5	16,3 s

Experimentieren

Das Experimentieren ist eine sehr komplexe Tätigkeit, die in verschiedenen Etappen beim Erkennen und Anwenden von Naturgesetzen auftritt. Das Ziel eines Experiments besteht darin, eine Frage an die Natur zu beantworten. Dazu wird eine Erscheinung der Natur unter ausgewählten, konkreten, kontrollierten und veränderbaren Bedingungen beobachtet und ausgewertet. Die Bedingungen und damit das gesamte Experiment müssen wiederholbar sein.

Beim Experimentieren wird eine Erscheinung der Natur unter ausgewählten, kontrollierten, wiederholbaren und veränderbaren Bedingungen beobachtet und ausgewertet.

Mit Experimenten werden z. B. Zusammenhänge zwischen Größen untersucht. Das dient dem Erkennen von Naturgesetzen. Andererseits können bei Experimenten Gesetze angewendet werden, um z. B. den Wert von Größen (Konstanten) zu bestimmen.

Ablauf eines Experiments

1. Vorbereiten des Experiments

Zunächst ist zu überlegen,

- welche Größen zu messen sind,
- welche Größen verändert und welche konstant gehalten werden,
- welche Gesetze angewendet werden können.

Dann ist eine Experimentieranordnung zu entwerfen, mit der die gewünschten Größen gemessen und Beobachtungen gemacht werden können. Dabei sind auch die zu nutzenden Geräte und Hilfsmittel festzulegen. In der Planungsphase ist auch zu überlegen, wie das Experiment ausgewertet werden soll, da das mitunter Einfluss auf die Experimentieranordnung und die Messgeräte hat. Mögliche Fehlerquellen sollten schon in der Planungsphase bedacht werden, weil dies Einfluss auf die Durchführung und Auswertung hat.

2. Durchführen des Experiments

Die Experimentieranordnung ist nach der Planung aufzubauen.

Die gewünschten Messwerte und Beobachtungen werden registriert und protokolliert. Dazu werden häufig Messwertetabellen angefertigt.

3. Auswerten des Experiments

Die protokollierten Messwerte und Beobachtungen werden ausgewertet. Dazu werden häufig Diagramme angefertigt und Berechnungen durchgeführt.

In Bezug auf die experimentelle Frage wird ein Ergebnis formuliert.

Häufig werden Fehlerbetrachtungen zur Genauigkeit der Messungen und Beobachtungen durchgeführt.

Das experimentelle Ergebnis wird unter Berücksichtigung der Fehlerbetrachtungen bewertet.

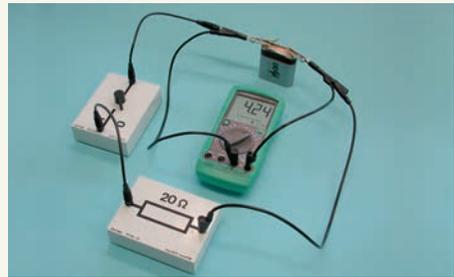
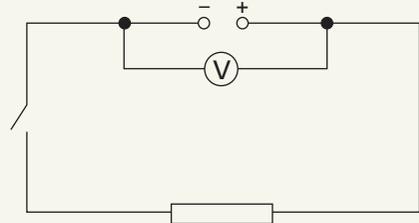
Ein Beispiel aus der Physik

Untersuche experimentell Unterschiede zwischen der Leerlaufspannung und der Klemmenspannung von elektrischen Quellen!

Zu messende Größen:

- Leerlaufspannung U_L
- Klemmenspannung U_K

Es werden Leerlaufspannung und Klemmenspannung für verschiedene elektrische Quellen gemessen und miteinander verglichen. Als Bauelement wird ein ohmscher Widerstand verwendet.



Elektrische Quelle	U_L in V	U_K in V
Monozelle	1,5	1,3
Flachbatterie	4,5	4,0
Stromversorgungsgerät	8,0	7,5

Bei allen im Experiment untersuchten elektrischen Quellen ist die Klemmenspannung kleiner als die Leerlaufspannung:

$$U_K < U_L$$

Protokoll des Experiments

Name: *Tobias Musterschüler*

Klasse: 7a

Datum: 15.11....

Aufgabe:

Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Verlängerung s einer Feder und der an ihr angreifenden Kraft F ?

Vorbereitung:

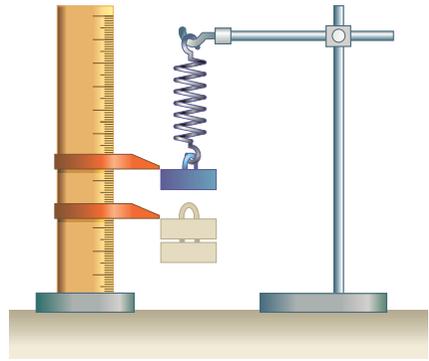
Größe 1: Kraft F
Größe 2: Verlängerung s

Messgerät 1: Federkraftmesser
Messgerät 2: Lineal

Weitere Geräte und Hilfsmittel:

- eine Schraubenfeder
- verschiedene Hakenkörper
- Stativmaterial

Experimentieranordnung



Durchführung und Auswertung:

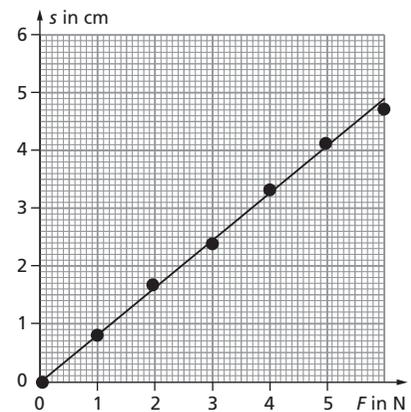
Messwertetabelle:

F in N	s in cm	$\frac{F}{s}$ in $\frac{\text{N}}{\text{cm}}$
0	0	–
1	0,8	1,25
2	1,7	1,18
3	2,4	1,25
4	3,3	1,21
5	4,1	1,22
6	4,7	1,28

Aus der Messwertereihe und aus dem Diagramm kann man für die Feder erkennen:

$$s \sim F \text{ oder } \frac{F}{s} = \text{konstant}$$

Diagramm:



Ergebnis:

Zwischen der Verlängerung der Feder s und der an ihr angreifenden Kraft F besteht ein direkt proportionaler Zusammenhang.

Auswertung von Messreihen mit dem Computer

► Genutzt werden kann ein Tabellenkalkulationsprogramm, z. B. das Programm **MS Excel**.

Für zwei verschiedene Federn und ein Gummiband wird die Verlängerung in Abhängigkeit von der wirkenden Kraft untersucht. Die Messwerte sind in der folgenden Messwertetabelle erfasst:

F in N	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
s₁ in cm	0	0,9	1,7	2,4	3,1	4,1
s₂ in cm	0	0,35	0,75	1,15	1,55	1,95
s₃ in cm	0	0	0,25	0,5	0,75	0,8

Gilt für die beiden Federn und für das Gummiband das hookesche Gesetz $F = D \cdot s$? Um zu erkennen, ob das hookesche Gesetz gilt, gibt es zwei Möglichkeiten:

- Es wird der Quotient aus der wirkenden Kraft und der Verlängerung der Feder bzw. des Gummibands gebildet. Ist dieser Quotient konstant, so gilt das hookesche Gesetz.
- Es wird ein Dehnungsdiagramm gezeichnet. Ist der Graph eine Gerade, die durch den Koordinatenursprung verläuft, so gilt das hookesche Gesetz.

Beide Möglichkeiten kannst du mit einem Computer in einem **Tabellenkalkulationsprogramm** realisieren.

Darstellen der Messwerte in einer Tabelle und Berechnen der jeweiligen Federkonstanten

► Der Quotient aus der **Kraft F** und der **Dehnung s** ist die **Federkonstante D**:

$$D = \frac{F}{s}$$

Bei einer elastischen Feder ist die Federkonstante *D* immer gleich groß.

- Öffne das Tabellenkalkulationsprogramm.
- Trage in die erste Zeile den Kopf der Tabelle ein. Der Tabellenkopf kann farbig, die Schrift fett gestaltet werden. Dazu musst du die jeweiligen Zellen markieren und im Menü „Format“ die entsprechenden Einstellungen vornehmen.
- Speichere die Daten, z. B. unter dem Dateinamen „Feder 1“.
- Gib die Messwerte für die Kraft und die Dehnung ein.
- Wenn du die Berechnung vornehmen willst, kannst du so vorgehen:
 - Markiere das Feld C3.
 - Klicke im Menü auf das Gleichheitszeichen und gib die Rechenoperation A3/B3 ein. Drücke „Enter“.
 - Wiederhole das für die Felder C4 bis C7.

Als Ergebnis erhältst du eine Tabelle, so wie sie rechts dargestellt ist.

Analog erhältst du die entsprechenden Tabellen für Feder 2 und für das Gummiband.

	A	B	C
1	Kraft F in N	Dehnung s in cm	Federkonstante D in N/cm
2	0	0	0
3	0,5	0,9	0,56
4	1,0	1,7	0,59
5	1,5	2,4	0,63
6	2,0	3,1	0,65
7	2,5	4,1	0,61

Darstellen der Messwerte in einem Diagramm

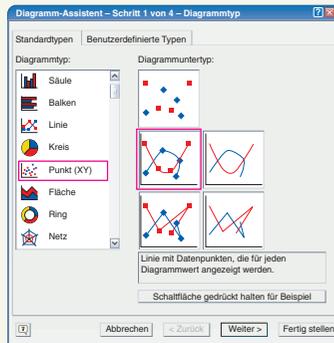
Die Messwerte können auch in einem Diagramm dargestellt werden, wenn man ein Tabellenkalkulationsprogramm nutzt. Dabei kann man den Graphen für eine oder auch für mehrere Messreihen in einem Diagramm darstellen. Dabei ist folgendes Herangehen zweckmäßig:

► **Beachte:** Programme zum Erstellen von Diagrammen gibt es in unterschiedlichen Varianten.

1. Trage die Messwerte so in die Tabelle ein, wie es rechts dargestellt ist. Der Tabellenkopf kann farbiger gestaltet werden.
2. Markiere alle Messwerte (Felder A2 bis D7).

	A	B	C	D
1	Kraft F in N	Dehnung Feder 1 in cm	Dehnung Feder 2 in cm	Dehnung Gummi in cm
2	0	0	0	0
3	0,5	0,9	0,35	0
4	1,0	1,7	0,75	0,25
5	1,5	2,4	1,15	0,5
6	2,0	3,1	1,55	0,75
7	2,5	4,1	1,95	0,8

3. Rufe den Diagrammassistenten durch Klicken auf das entsprechende Symbol in der Menüleiste auf. Wähle „Punkt (X,Y)“ und dort das Diagramm „Punkte mit interpolierten Linien“. Drücke auf „Weiter“.
4. Kannst du dem Diagramm eine Überschrift geben (Diagrammtitel) und die beiden Achsen beschriften. Drücke dann auf „Weiter“.

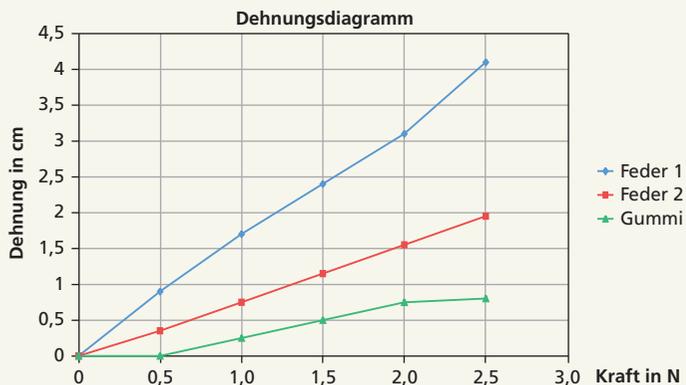


► Der Diagrammassistent hat das Symbol:



Man erhält dann ein Diagramm, so wie es unten dargestellt ist. Die Farben der Graphen und der Flächen können beliebig verändert werden. Aus dem Diagramm ist erkennbar:

- Beide Federn genügen näherungsweise dem Hookeschen Gesetz: Dehnung s und Kraft F sind zueinander proportional.
- Feder 1 ist weicher als Feder 2, da sie bei einer bestimmten Kraft stärker gedehnt wird.
- Für das Gummiband gilt das Hookesche Gesetz nicht.



1.2.5 Lösen physikalischer Aufgaben

Viele Gesetze in der Physik werden mithilfe von mathematischen Mitteln (Proportionalität, Gleichung, Diagramm, ↗ S.28) beschrieben. Deshalb können auch viele physikalische Aufgaben unter Nutzung mathematischer Mittel gelöst werden. Das prinzipielle Vorgehen beim Lösen verschiedener physikalisch-mathematischer Aufgaben ist gleich und entspricht dem Vorgehen beim Anwenden physikalischer Gesetze (↗ S.34). Lediglich in der Phase, in der mit mathematischen Mitteln das Ergebnis ermittelt wird, unterscheidet sich das Vorgehen.

Lösen physikalischer Aufgaben durch inhaltlich-logisches Schließen

Beim Lösen physikalischer Aufgaben durch inhaltlich-logisches Schließen werden die Eigenschaften proportionaler Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen zum Berechnen genutzt. Häufig müssen auch noch die Werte physikalischer Größen unter Nutzung der physikalischen Bedeutung der Größe interpretiert werden.

Eine Gruppe von Wanderern trifft sich um 9.00 Uhr zu einer Wanderung. Um 12.00 Uhr hat man in einer 10 km entfernten Raststätte Mittagessen bestellt.

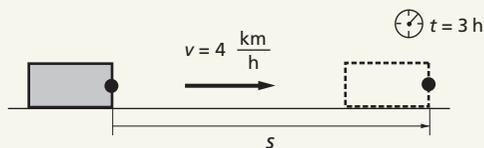
Können die Wanderer rechtzeitig zum Mittagessen an der Raststätte sein, wenn sie mit einer Geschwindigkeit von 4 km/h wandern?



► Das Erste und Wichtigste bei der Lösung jeder physikalischen Aufgabe ist die physikalische Analyse des Sachverhalts.

Analyse:

Die Wanderer werden physikalisch als Körper betrachtet, der sich mit einer konstanten Geschwindigkeit von 4 km/h bewegt. Um die Frage zu beantworten, kann der Weg ermittelt werden, den der Körper von 9.00 Uhr bis 12.00 Uhr, also in 3 Stunden, zurücklegt.



Gesucht: s
 Gegeben: $t = 3 \text{ h}$
 $v = 4 \text{ km/h}$

Lösung:

Eine Geschwindigkeit von 4 km/h bedeutet, dass der Körper in jeder Stunde einen Weg von 4 km zurücklegt. In 3 Stunden kann die Gruppe einen Weg von

$$s = 3 \cdot 4 \text{ km}$$

$$s = 12 \text{ km}$$

zurücklegen, denn $s \sim t$.

Ergebnis:

Die Wanderer können rechtzeitig zum Mittagessen die Raststätte erreichen, denn mit einer Geschwindigkeit von 4 km/h können sie in den zur Verfügung stehenden 3 Stunden einen Weg von 12 km zurücklegen.

Da die Raststätte nur 10 km entfernt ist, erreichen sie die Wanderer auf jeden Fall noch vor 12.00 Uhr.

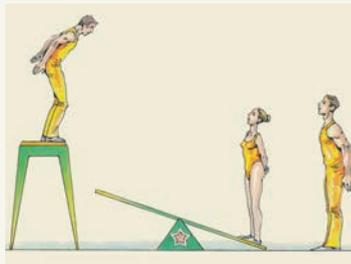
Lösen physikalischer Aufgaben durch Nutzung von Verfahren und Regeln der Gleichungslehre

Beim Lösen solcher Aufgaben werden physikalische Gesetzesaussagen in Form von Gleichungen genutzt und Verfahren und Regeln der Gleichungslehre angewendet. Dies betrifft insbesondere Verfahren zum Lösen von Gleichungssystemen und zum Umformen von Gleichungen.

Ein Artist springt aus 2,0 m Höhe auf ein Schleuderbrett. Welche Geschwindigkeit hat er beim Auftreffen auf das Schleuderbrett?

Analyse:

Der Sprung aus 2,0 m Höhe wird als freier Fall betrachtet. Deshalb kann die Geschwindigkeit mithilfe der Gesetze des freien Falls berechnet werden.



Gesucht: v

Gegeben: $h = 2,0 \text{ m}$

$$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Lösung:

Es werden das Weg-Zeit-Gesetz und das Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz des freien Falls angewendet:

$$v = g \cdot t \quad \text{und} \quad s = \frac{g}{2} \cdot t^2$$

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & & \downarrow \\ v^2 = g^2 \cdot t^2 & & t^2 = \frac{2s}{g} \end{array}$$

$$v^2 = g^2 \cdot \frac{2s}{g}$$

$$v^2 = 2g \cdot s$$

$$\underline{v = \sqrt{2g \cdot s}}$$

► Um solche Aufgaben zu lösen, sollte man sich folgende Fragen überlegen:

1. Wie kann man den Wert einer physikalischen Größe interpretieren?
2. Was für ein Zusammenhang besteht zwischen jeweils zwei Größen im Sachverhalt der Aufgabe?
3. Was folgt aus der Art des Zusammenhangs für die eine Größe, wenn von der anderen Größe Vielfache oder Teile gebildet werden?
4. Auf das Wievielfache bzw. den wievielten Teil ändert sich der Wert einer Größe?
5. Was folgt daraus für die andere Größe?

► Um solche Aufgaben zu lösen, sollte man folgendermaßen vorgehen:

- Notiere die geltenden Gesetze als Größengleichungen!
- Löse bei mehreren Größengleichungen das Gleichungssystem durch die Substitutions- oder Additionsmethode!
- Forme die Größengleichung dann nach der gesuchten Größe um!
- Setze die Werte für die gegebenen Größen ein und berechne die gesuchte Größe! Rechne, wenn notwendig, Einheiten um!
- Beachte die Regeln für das Rechnen mit Näherungswerten!

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

$$v = \sqrt{39,2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}$$

$$\underline{v = 6,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

Die gerade betrachtete Aufgabe ist ein Beispiel dafür, dass es für die Lösung einer Aufgabe manchmal völlig unterschiedliche Wege gibt. Die genannte Aufgabe lässt sich auch mit einem energetischen Ansatz lösen, so wie das nachfolgend dargestellt ist.

■ Ein Artist springt aus 2,0 m Höhe auf ein Schleuderbrett.

Welche Geschwindigkeit hat er beim Auftreffen auf das Schleuderbrett?

Analyse:

Es wird davon ausgegangen, dass der Artist in 2,0 m Höhe eine bestimmte potenzielle Energie hat. Beim Herabspringen wird diese potenzielle Energie vollständig in kinetische Energie umgewandelt.

Gesucht: v

Gegeben: $h = 2,0 \text{ m}$

$$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Lösung:

Es ergibt sich der folgende energetische Ansatz:

Die ursprüngliche potenzielle Energie ist genauso groß wie die kinetische Energie beim Auftreffen auf das Schleuderbrett.

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

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

$$2 g \cdot h = v^2$$

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

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

$$\underline{v = 6,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

Ergebnis:

Der Artist trifft mit einer Geschwindigkeit von $6,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ auf das Schleuderbrett auf.

Bei der Analyse von Aufgaben sollte man stets prüfen, ob es verschiedene Lösungswege gibt, und den rationellsten wählen.

Lösen physikalischer Aufgaben mithilfe grafischer Mittel

Beim Lösen solcher Aufgaben werden physikalische Zusammenhänge in **Diagrammen** dargestellt und diese Diagramme unter physikalischen Gesichtspunkten ausgewertet.

Bei Überholvorgängen ist wichtig, dass der Kraftfahrer den Weg, den er beim Überholen zurücklegt, richtig einschätzt.

Ein roter und ein blauer Pkw fahren zunächst mit 80 km/h . Ab 10 m Abstand beschleunigt der hinten fahrende rote Pkw mit $1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ und überholt den blauen Pkw, bis er 10 m vor diesem wieder einbiegt.

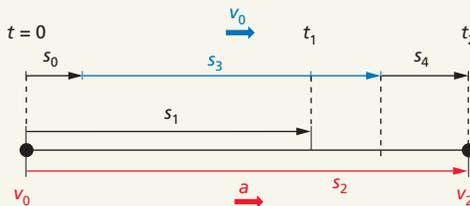
Nach welchem Weg hat der rote den blauen Pkw eingeholt? Welchen Weg hat der rote Pkw beim Überholen insgesamt zurückgelegt?

Analyse:

Die Pkws werden vereinfacht als Massepunkte dargestellt. Die Länge der Fahrzeuge wird dabei zunächst nicht berücksichtigt. Außerdem wird angenommen, dass der blaue Pkw sich gleichförmig geradlinig und der rote Pkw sich gleichmäßig beschleunigt geradlinig bewegt.

Der blaue Pkw hat zu Beginn des Überholvorgangs einen Vorsprung von 10 m , der als Anfangsweg s_0 betrachtet wird. Zum Zeitpunkt t_1 hat der rote Pkw den blauen Pkw eingeholt und den Weg s_1 zurückgeschlossen. Der gesamte Überholvorgang ist zum Zeitpunkt t_2 abgeschlossen.

► Bei dieser Aufgabe muss der Sachverhalt stark vereinfacht werden, um zu einer Lösung zu kommen.



Der rote Pkw legt während des gesamten Überholvorgangs den Weg s_2 zurück. Der blaue Pkw legt in dieser Zeit den Weg s_3 zurück. Der rote Pkw muss außerdem noch einen Vorsprung von $s_4 = 10 \text{ m}$ herausfahren, um den Überholvorgang zu beenden. Damit ergibt sich für die Wege:

$$s_2 = s_0 + s_3 + s_4$$

Gesucht: s_1

s_2

Gegeben: $s_0 = 10 \text{ m}$

$s_4 = 10 \text{ m}$

$$v_0 = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 22,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

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

► Beim Nutzen grafischer Mittel zum Lösen von Aufgaben sollte man folgendermaßen vorgehen:

- Stelle physikalische Zusammenhänge zwischen Größen in einem **Diagramm** dar!
- Lies aus dem Diagramm wichtige Wertepaare ab!
- Interpretiere den Kurvenverlauf des Diagramms!

► Beachte, dass in Diagrammen auch die Fläche unter einer Kurve oder der Anstieg der Kurve eine physikalische Bedeutung haben können!

Lösung:

Für die **grafische Lösung** wird die Bewegung der Fahrzeuge in einem s - t -Diagramm dargestellt.

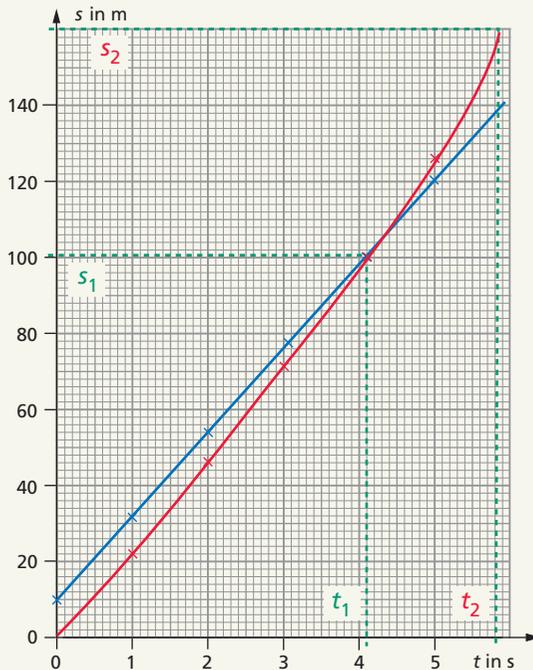
Für den blauen Pkw gilt das Weg-Zeit-Gesetz:

$$s = v_0 \cdot t + s_0$$

Für den roten Pkw gilt das Weg-Zeit-Gesetz:

$$s = \frac{a}{2} t^2 + v_0 \cdot t$$

Für das Zeichnen des Diagramms ist es günstig, die Wege der Pkws nach einzelnen Zeiten zu berechnen, die Punkte darzustellen und zu verbinden.



Der Schnittpunkt beider Kurven ist der Punkt, an dem der rote Pkw den blauen eingeholt hat. Bei diesem Punkt befinden sich beide Fahrzeuge zum selben Zeitpunkt nebeneinander. Aus dem Diagramm kann man ablesen:

$$t_1 \approx 4,1 \text{ s} \quad \underline{s_1 \approx 100 \text{ m}}$$

Der Überholvorgang ist dann beendet, wenn der Abstand beider Kurven 10 m beträgt. Man kann aus dem Diagramm dafür ablesen:

$$t_2 \approx 5,8 \text{ s} \quad \underline{s_2 \approx 150 \text{ m}}$$

Ergebnis:

Nach 100 m Weg hat der rote Pkw den blauen Pkw eingeholt und nach 150 m überholt.

Lösen physikalischer Aufgaben durch geometrische Konstruktionen

Zum Lösen solcher Aufgaben werden die physikalischen Sachverhalte in maßstäblichen Zeichnungen dargestellt. Aus diesen können dann durch geometrische Konstruktionen Schlussfolgerungen gezogen werden.

Bei einem Surfer wirkt senkrecht auf das Segel der Wind und führt zu einer gleichförmigen Bewegung mit der Geschwindigkeit von $5,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Der Wind weht von West nach Ost. Gleichzeitig gibt es eine Wasserströmung nach Südost mit einer Strömungsgeschwindigkeit von $2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Mit welcher Geschwindigkeit bewegt sich der Surfer?

In welche Richtung bewegt er sich?

Analyse:

Die Bewegung des Surfers ergibt sich aus der Überlagerung der gleichförmigen Bewegungen aufgrund des Windes und der Wasserströmung.

Mithilfe eines maßstäblichen Parallelogramms können der Betrag der Gesamtgeschwindigkeit und die Richtung der Bewegung ermittelt werden.

Gesucht: \vec{v}

Gegeben: $v_1 = 5,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

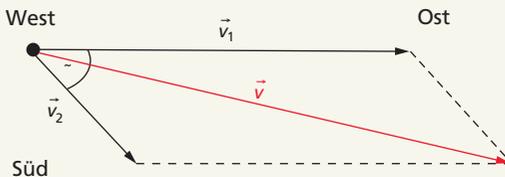
$v_2 = 2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$\alpha = 45^\circ$

Lösung:

Für die maßstäbliche Zeichnung wird vereinbart:

$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \hat{=} 1 \text{ cm}$



Der Pfeil für die Gesamtgeschwindigkeit ist $6,5 \text{ cm}$ lang. Die Gesamtgeschwindigkeit beträgt also ca. $6,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Die Richtung der Bewegung entspricht der Richtung des roten Pfeils.

Ergebnis:

Der Surfer bewegt sich mit $6,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ in Richtung Ostsüdost (OSO).

Um solche Aufgaben zu lösen, gehe folgendermaßen vor:

- Lege einen geeigneten Maßstab für die Größe fest!
- Rechne die physikalischen Größen in Längen um!
- Stelle den Sachverhalt grafisch dar! Beachte dabei die Richtungen vektorieller Größen!
- Bestimme aus der Konstruktion physikalische Größen oder ziehe Schlussfolgerungen!

► Prinzipiell sollte man sein Vorgehen wie bei jedem Experiment wählen (↗ S. 52 ff.).

- Gehe bei der Analyse des Sachverhalts auch hier von physikalischen Gesetzen aus.
- Bestimme die zu messenden Größen!
- Berechne mit den experimentellen Werten die gesuchte Größe!

Lösen physikalischer Aufgaben mit experimentellen Mitteln

In einer Reihe von Fällen ist es erforderlich, den Wert von Größen experimentell zu ermitteln.

Bestimme experimentell die Fallbeschleunigung!

Vorbereitung:

Mithilfe des Weg-Zeit-Gesetzes der gleichmäßig beschleunigten Bewegung kann der Wert für die Fallbeschleunigung experimentell bestimmt werden:

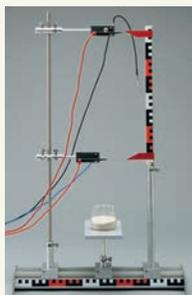
$$s = \frac{g}{2} t^2 \quad | \cdot \frac{2}{t^2}$$

$$g = \frac{2s}{t^2}$$

Weg und Zeit für den freien Fall eines Körpers müssen gemessen werden, um anschließend die Fallbeschleunigung berechnen zu können. Um einen möglichst genauen Wert für g zu erhalten, sollte die zu messende Fallzeit nicht zu klein sein. Deshalb ist ein möglichst großer Fallweg zu wählen. Die Fallzeit wird mehrmals gemessen und anschließend ein Mittelwert berechnet. Die Auslösung des freien Falls erfolgt mit einem Magnetschalter, die Zeitmessung mit einer elektronischen Uhr.

Durchführung:

Der Fallweg beträgt $s = 0,95 \text{ m}$.



Messung Nr.	Zeit t in s
1	0,43
2	0,42
3	0,46
4	0,44
5	0,45
6	0,42
7	0,44
8	0,43
9	0,46
10	0,45

Auswertung:

Aus der Messreihe kann folgender Mittelwert berechnet werden:

$$\bar{t} = \frac{4,4 \text{ s}}{10} = 0,44 \text{ s}$$

Für die Fallbeschleunigung erhält man damit:

$$g = \frac{2 \cdot 0,95 \text{ m}}{(0,44)^2 \cdot \text{s}^2}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Der experimentell ermittelte Wert stimmt gut mit dem Tabellenwert ($9,81 \text{ m/s}^2$) überein.

► Zur Abschätzung der Genauigkeit von Messungen führt man eine **Fehlerbetrachtung** durch (↗ S. 63 ff.).

Messabweichungen bei physikalischen Messungen

Jede Messung einer physikalischen Größe ist aus den verschiedensten Gründen mit Fehlern behaftet. Der **Messwert** x_i einer physikalischen Größe weicht vom tatsächlichen Wert der Größe, dem wahren Wert x , mehr oder weniger stark ab.

Um möglichst genaue Messungen durchführen zu können bzw. um die Genauigkeit bereits durchgeführter Messungen einschätzen zu können, muss man die Ursachen für Messfehler, die Größen solcher Fehler und ihre Auswirkungen auf die Genauigkeit des Ergebnisses kennen. Darüber hinaus muss man wissen, wie man in der Formulierung des Ergebnisses die Genauigkeit kenntlich macht.

► Die Abweichung eines Messwerts vom wahren Wert wird **Messabweichung** oder **Messfehler** genannt.

Jede Messung ist mit Fehlern behaftet. Die Messwerte x_i weichen vom wahren Wert x der betreffenden Größe ab.

In der folgenden Übersicht sind Fehlerursachen und Beispiele genannt.

Fehlerursache	Beispiele
Experimentieranordnung	<ul style="list-style-type: none"> – unzureichende Isolierung bei kalorimetrischen Messungen und damit unkontrollierter Wärmeaustausch mit der Umgebung – Verwendung einer stromrichtigen statt einer spannungsrichtigen Schaltung oder umgekehrt bei der Messung von Spannung und Stromstärke – Vernachlässigung der Widerstände von Zuleitungen bei elektrischen Schaltungen – unzureichende Kompensation der Reibung bei der Untersuchung von Bewegungsabläufen in der Mechanik – Verzögerungen beim Auslösen von Abläufen, die durch die Experimentieranordnung bedingt sind
Messgeräte, Messmittel	<ul style="list-style-type: none"> – Jedes Messgerät hat nur einen bestimmten Messbereich und eine bestimmte Genauigkeitsklasse bzw. Fertigungstoleranz. – Messmittel wie Wägestücke, Hakenkörper, Widerstände haben ebenfalls Fertigungstoleranzen.
Experimentator	<ul style="list-style-type: none"> – Ablesefehler bei Messgeräten – Auslösefehler bei Zeitmessungen (Reaktionszeit des Menschen) – Fehler durch eine nicht exakte Handhabung von Messgeräten (z. B. ungenaues Anlegen eines Lineals) – Fehler durch Verwendung unzureichender Messgeräte (z. B. kleine Wassermenge in großem Messzylinder, Thermometer mit 1°-Teilung bei der Messung kleiner Temperaturunterschiede) – Fehler durch Ablesen an falschen Bezugspunkten (z. B. wird statt des Schwerpunkts eines Körpers seine Unter- oder Oberkante als Bezugspunkt für Entfernungsmessungen gewählt)
Umgebung	<ul style="list-style-type: none"> – Nichtbeachtung der Temperatur oder von Temperaturschwankungen – Nichtbeachtung des Drucks oder von Druckschwankungen – Schwankungen der Netzspannung, Erschütterungen

Messgerät	Maximaler systematischer Fehler
Thermometer 1°-Teilung $\frac{1}{10}$ °-Teilung	± 1 K $\pm 0,1$ K
Lineal, Winkelmesser, Messuhren, Uhren, Präzisionswaagen	± 1 % (meist vernachlässigbar)
Brennweite von Linsen, Gitterkonstante eines optischen Gitters	± 1 % (meist vernachlässigbar)
Federkraftmesser	meist Genauigkeitsklasse 2,0 (2,0 %)
Spannungsmesser, Stromstärkemesser	aufgedruckte Genauigkeitsklasse

Je nach ihrem Charakter unterscheidet man zwischen groben, systematischen und zufälligen Fehlern.

► Grobe Fehler werden bei Fehlerbetrachtungen nicht berücksichtigt.

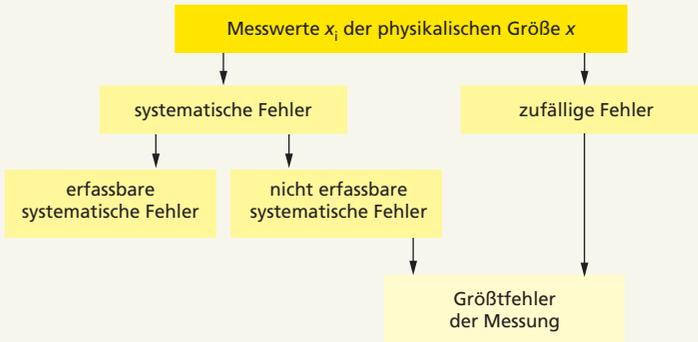
Grobe Fehler sind Fehler, die aufgrund eines falschen Aufbaus, ungeeigneter Messgeräte, falschen Ablesens, defekter Messgeräte oder Unachtsamkeit auftreten. Bei sorgfältiger und planmäßiger Arbeit sind grobe Fehler grundsätzlich vermeidbar.

Systematische Fehler sind Fehler, die vor allem durch die Experimentieranordnung oder durch die Messgeräte verursacht werden, aber auch vom Experimentator selbst hervorgerufen werden können. Sie sind teilweise erfassbar (z. B. Gerätefehler), teilweise aber nicht. Die Fehler von Messgeräten werden über die Genauigkeiten oder die Toleranz erfasst. So bedeutet z. B. bei einem Spannungsmesser die **Genauigkeitsklasse** 2,5 bei einem Messbereich von 10 V: Der maximale systematische Fehler beträgt bei allen Messungen in diesem Messbereich 2,5 % vom Messbereichsendwert, also 2,5 % von 10 V und damit $\pm 0,25$ V. Entsprechend lassen sich auch für andere Messgeräte die maximalen systematischen Fehler angeben (s. Übersicht oben).

► Zufällige Fehler haben statistischen Charakter. Bei mehrfacher Messung streuen sie um einen **Mittelwert**.

Zufällige Fehler sind Fehler, die vor allem durch den Experimentator und durch Umwelteinflüsse zustande kommen. Dazu gehören z. B. Ablesefehler bei Messgeräten, Ablesefehler bei Zeitmessungen, ungenaues Einstellen der Schärfe eines Bilds in der Optik u. Ä. Solche zufälligen Fehler lassen sich teilweise abschätzen, aber nie vollständig erfassen. Für einige dieser Fehler sind in der Übersicht unten Werte angegeben.

Art des zufälligen Fehlers	Größe des zufälligen Fehlers
Ungenaues Ablesen bei Messgeräten mit analoger Anzeige (Skalen)	Hälfte des kleinsten Skalenwertes (z. B. bei einem Lineal mit mm-Teilung: $\pm 0,5$ mm, bei einem Thermometer mit $\frac{1}{2}$ °-Teilung: $\pm 0,25$ K)
Ungenauigkeit bei Messgeräten mit digitaler Anzeige (Ziffern)	Abweichung um 1 von der letzten Ziffer (z. B. bei einem elektronischen Thermometer mit der Anzeige 22,8 °C: $\pm 0,1$ K)
Auslösefehler bei handgestoppter Zeit	$\pm 0,25$ s (Mittelwert)



Die Summe aller nicht erfassbaren systematischen und zufälligen Fehler ergibt den Größtfehler der Messung.

Die Angabe des Fehlers erfolgt in Form eines Fehlerintervalls.

Bei einer Spannungsmessung erhält man einen Messwert von 21 V. Aufgrund der Genauigkeitsklasse des Messgeräts beträgt der Fehler $\pm 1,25$ V. Er wird dann so angegeben:

$$U = 21 \text{ V} \pm 1,25 \text{ V} \quad \text{oder} \quad U = (21 \pm 1,25) \text{ V}$$

Sind zwei Größen mit Fehlern behaftet und werden diese beiden Größen miteinander verknüpft, so hat auch eine daraus berechnete dritte Größe einen Fehler. Der Fehler der einzelnen Größen pflanzt sich fort.

An einem Bauelement werden Spannung und Stromstärke gemessen. Dabei erhält man folgende Werte:

$$U = 15 \text{ V} \pm 0,8 \text{ V}$$

$$I = 0,32 \text{ A} \pm 0,02 \text{ A}$$

Wie groß ist dann der Fehler, den man für den elektrischen Widerstand des Bauelements erhält?

Lösung:

Für den elektrischen Widerstand gilt $R = \frac{U}{I}$. Den größtmöglichen Wert für R erhält man unter Berücksichtigung der Fehler von U und I , wenn man für U den maximalen Wert ($U = 15 \text{ V} + 0,8 \text{ V} = 15,8 \text{ V}$) und für I den minimalen Wert ($I = 0,32 \text{ A} - 0,02 \text{ A} = 0,30 \text{ A}$) wählt:

$$R_{\max} = \frac{15,8 \text{ V}}{0,30 \text{ A}} = 53 \Omega$$

Den kleinstmöglichen Wert erhält man mit $U = 15 \text{ V} - 0,8 \text{ V} = 14,2 \text{ V}$ und $I = 0,32 \text{ A} + 0,02 \text{ A} = 0,34 \text{ A}$:

$$R_{\min} = \frac{14,2 \text{ V}}{0,34 \text{ A}} = 42 \Omega$$

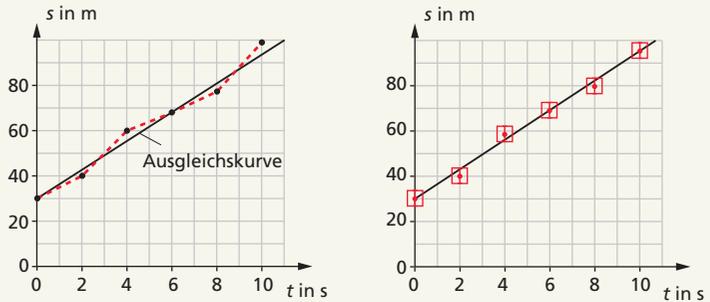
Das bedeutet: Der wahre Wert des Widerstands liegt zwischen 42Ω und 53Ω . Mit $U = 15 \text{ V}$ und $I = 0,32 \text{ A}$ erhält man $R = 47 \Omega$.

Das bedeutet: Der wahre Wert der Spannung liegt zwischen $19,75 \text{ V}$ und $22,25 \text{ V}$.

Das Fehlerintervall kann man auch so schreiben: $42 \Omega \leq R \leq 53 \Omega$

Messfehler und grafische Darstellungen

Häufig werden Messreihen grafisch dargestellt, wobei auch hier die Messfehler zu berücksichtigen sind. Nachfolgend ist als Beispiel ein Weg-Zeit-Diagramm betrachtet.



Da alle Messwerte fehlerbehaftet sind, ist es nicht sinnvoll, die einzelnen Punkte miteinander zu verbinden. Vielmehr wird eine **Ausgleichskurve** gezeichnet (linkes Bild). Der Verlauf der Ausgleichskurve ergibt sich aus den jeweiligen Bedingungen. Ist nur eine Größe fehlerbehaftet, so kann man in jedem Punkt den Größtfehler des Wegs in Form eines **Fehlerbalkens** markieren. Sind beide Größen fehlerbehaftet, so ergeben sich **Fehlerkästchen**. Die Ausgleichskurve verläuft dann durch die Fehlerkästchen hindurch (↗ Bild rechts).

Fehlerbetrachtungen vor und nach Messungen

► Die Genauigkeit von Messungen kann nur vor oder während des Messens beeinflusst werden. Hinterher kann man nur noch die Größe der Messfehler ermitteln, aber nicht beeinflussen. Dazu müssen die zufälligen und nicht erfassbaren systematischen Fehler abgeschätzt und eine Fehlerrechnung durchgeführt werden.

Fehlerbetrachtungen vor der Messung haben das Ziel zu erkennen, welche Messfehler auftreten können und wie man sie minimieren kann. Zu entscheiden sind u. a.:

- Welches Messverfahren wähle ich?
- Wodurch können Messfehler verursacht werden?
- Gibt es Möglichkeiten, Fehler zu korrigieren, zu kompensieren oder zu minimieren?
- Welche Größen müssen besonders genau gemessen werden, weil ihr Fehler den Fehler des Gesamtergebnisses besonders stark beeinflusst.
- Ist es sinnvoll, eine Probemessung oder eine Kontrollmessung durchzuführen?
- Wie können zufällige Fehler von Größen durch mehrfache Messungen und deren statistische Auswertung ermittelt und später in der Fehlerrechnung berücksichtigt werden?
- Ist es sinnvoll und möglich, systematische Fehler durch die Wahl genauer Messgeräte zu verkleinern?
- Wie kann man systematische Fehler erfassen und beim Ergebnis der Messungen durch Korrektur berücksichtigen?

Fehlerbetrachtungen nach der Messung ermöglichen eine Fehlerabschätzung und die Angabe des Messergebnisses mit Fehlerintervall.



**Komplett
lückenlos:**

- > Alle Themen
- > Zahlreiche Beispiele
- > Erklärende Grafiken

**Geprüftes Wissen –
verlässlich gut!**

BASISWISSEN PHYSIK umfasst alle Inhalte des Physikunterrichts der Sekundarstufe I und liefert darüber hinaus Anregungen zur gezielten Referatsvorbereitung.

Der vollständige Lernstoff:

- Grundlagen der Mechanik
- Wärmelehre
- Elektrizitätslehre
- Optik
- Kernphysik
- Physikalische Arbeitsmethoden

Angereichert durch zahlreiche Schaubilder, Grafiken und Fotos.

Für alle weiterführenden Schulformen. Berücksichtigt die aktuellen Bildungspläne aller Bundesländer.

ISBN 978-3-411-71466-7
15 € (D) · 15,50 € (A)



9 783411 714667

www.duden.de