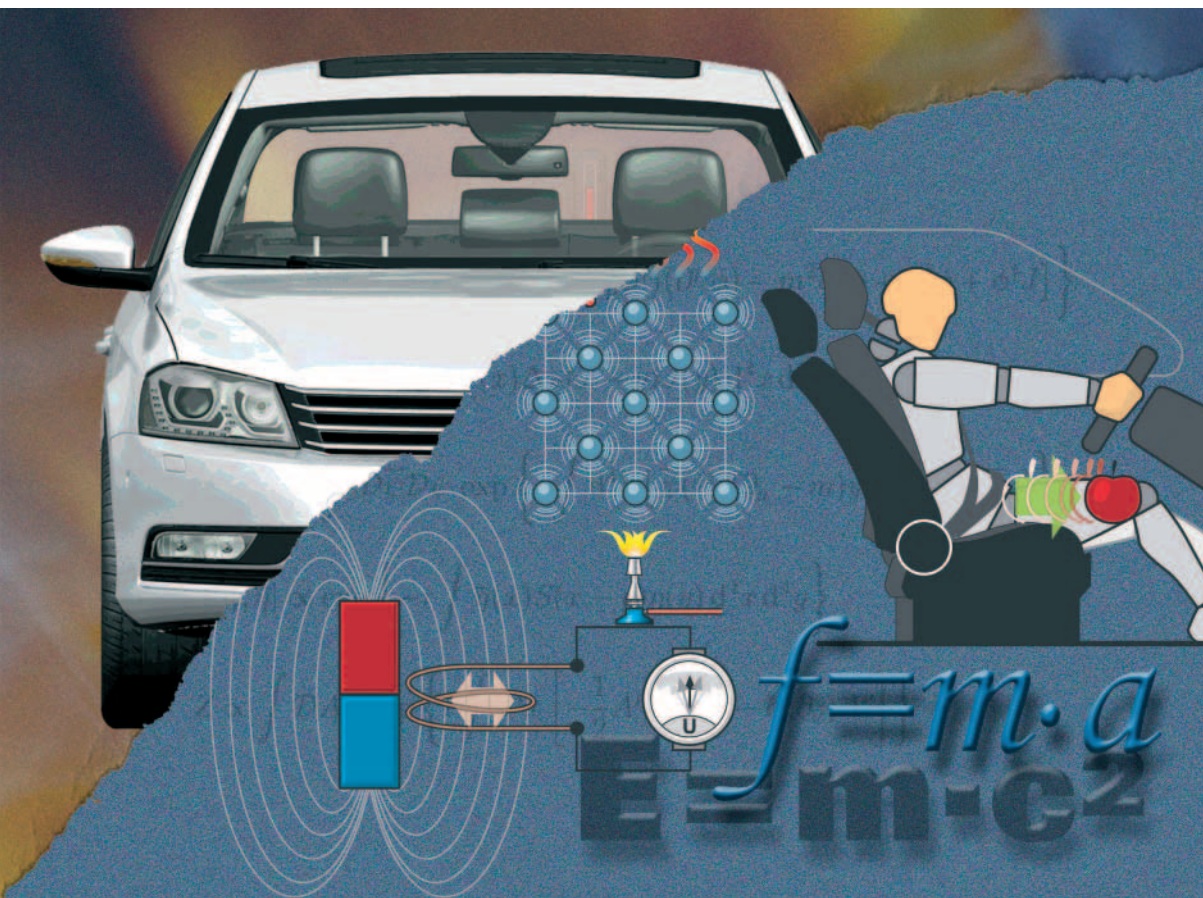




Selbststudienprogramm Technik 501

Fahrzeugsensorik
Physikalische Grundlagen



Immer höhere Ansprüche an Sicherheit, Bedienung und Komfort führen im Fahrzeugbau zu immer komplexeren Systemen. Je nach Aufgabe benötigen diese Systeme eine Vielzahl von Informationen, die ihnen durch Sensoren geliefert werden. Folge ist eine fast unüberschaubare Vielfalt an unterschiedlichen Sensortypen und Sensorbezeichnungen.

Alle diese Sensoren und ihre Wirkungsweise beruhen jedoch auf einer begrenzten Anzahl von physikalischen Grundlagen und physikalischen Messverfahren.

Die Selbststudienprogramme zur Fahrzeugsensorik haben zum Ziel, diese unterschiedlichen Messverfahren und ihre physikalischen Grundlagen einfach und anschaulich zu vermitteln und sie den verschiedenen Sensortypen zuzuordnen. Die Systematik dieser Hefte soll es Ihnen erleichtern, die in den Fahrzeugsystemen verbauten Sensoren zu erkennen und zu beurteilen, welche Informationen sie dem System auf Basis der unterschiedlichen physikalischen Gesetze liefern. Die Selbststudienprogramme zur Fahrzeugsensorik sind damit als zentrales Nachschlagewerk gedacht, das Sie bei dem Verstehen komplexer Fahrzeugsysteme und in der Fehlersuche unterstützen soll.

Mit diesem Selbststudienprogramm zu den physikalischen Grundlagen in der Fahrzeugsensorik kann das zu Schulzeiten schon einmal Gewusste entstaubt werden. Dabei tauchen unter anderem wiederholt Begriffe zu zentralen Theorien der Physik auf, wie Quantenmechanik oder Relativität, die in der Schule, wenig oder nicht berücksichtigt werden. Es geht hier jedoch nicht darum, diese Theorien mathematisch exakt zu erläutern, denn dieses würde sowohl den Umfang als auch den Sinn dieses Heftes sprengen. Es geht darum, das Wissen zu vermitteln, dass es diese wichtigen Theorien gibt und welche zentralen Bedeutungen diese oft sehr abstrakten Gedankengebäude für die Technik, die uns umgibt, haben.

Das Selbststudienprogramm stellt die Konstruktion und Funktion von Neuentwicklungen dar!
Die Inhalte werden nicht aktualisiert.

Aktuelle Prüf-, Einstell- und Reparaturanweisungen entnehmen Sie bitte der dafür vorgesehenen Service-Literatur.



Einleitung	4
Was sind Bewegungen?	6
Was ist Energie?	14
Was ist Materie?	20
Was ist Magnetismus?	26
Was sind elektromagnetische Wellen?	30
Was ist Schall?	34
Was bedeuten U, I, R und C?	35
Glossar	41





Der Aufbau der Reihe Fahrzeugsensorik

Die Selbststudienprogramme zur Fahrzeugsensorik werden voraussichtlich drei Hefte umfassen:

- Fahrzeugsensorik - Physikalische Grundfragen
- Fahrzeugsensorik - Messmethodik
- Fahrzeugsensorik - Sensortechnik

Diese drei Hefte bauen aufeinander auf und bilden in ihrer Gesamtheit ein Nachschlagewerk zum Thema Fahrzeugsensorik bzw. Sensoren in der Kfz-Technik.

Die Dreiteilung erfolgte, um die Seitenzahl eines Heftes auf einen überschaubaren Umfang zu beschränken.

Zu den Inhalten der Reihe Fahrzeugsensorik

In diesem ersten Heft der Reihe Fahrzeugsensorik werden physikalische Grundlagen vermittelt, die zum Verstehen der Funktionsweise der unterschiedlichen Sensoren unverzichtbar sind. Es wird versucht, dies möglichst bildlich zu vermitteln und auf eine Wiedergabe der der Physik zugrunde liegenden Mathematik soweit wie möglich zu verzichten. Die dabei verwendeten Modellvorstellungen beschreiben die aktuellen Erkenntnisse in der Physik größtenteils stark vereinfacht und damit unvollständig. Wer bereits über ein umfassendes physikalisches Grundwissen verfügt, mag diesen ersten Teil überspringen oder zum Auffrischen des vorhandenen Wissens verwenden.

Das Heft „Fahrzeugsensorik - Messmethodik“ befasst sich mit den unterschiedlichen Messverfahren, die von den Sensoren angewendet werden.

Die Beschreibungen in dem zweiten Heft setzen die Kenntnis der Grundlagen aus diesem Heft voraus.

Das Heft „Fahrzeugsensorik - Sensortechnik“ schließlich gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Sensortypen, die zur Zeit im Fahrzeugbau verwendet werden und ordnen diese den im zweiten Heft vorgestellten Messverfahren zu. Für jeden Sensor wird beschrieben, wofür sein Signal verwendet werden kann, wie der Sensor aufgebaut ist und wie er bezogen auf das Messverfahren funktioniert.

Was bedeutet Sensorik?

Sensorik ist aus technischer Sicht das Wissen und die Anwendung von Sensoren, um technische Systeme zu kontrollieren und zu regeln. Ein Sensor ist ein Messfühler, um bestimmte physikalische Eigenschaften zu erfassen und in ein elektronisch verwertbares Signal umzuwandeln. Ein Sensor ist damit die Schnittstelle zwischen der äußeren Welt und dem Systeminneren für eine bestimmte Messgröße.



Die Sinne des Autos

Um sich die Bedeutung von technischer Sensorik im Automobilbau zu verdeutlichen, ist ein Vergleich mit der physiologischen Sensorik eines biologischen Systems, wie dem Menschen, vertretbar. Wir nennen u. a. sechs Sinne unser eigen und besitzen für jeden dieser Sinne spezifische Messfühler.

Für den optischen Sinn (Sehen) haben wir zwei Augen mit photoempfindlichen Sensoren, die das Erkennen von Farben und Helligkeiten ermöglichen. Die einzelnen Sensoren sind dabei bereits im Auge so verschaltet, dass sie sich hervorragend zur Mustererkennung eignen. Eine altersabhängige, erfahrungsbasierte Auswertung der optischen Daten im Gehirn ermöglicht es uns, Entfernungen, Geschwindigkeiten und Bewegungen von Objekten in unserer Umgebung grob abzuschätzen. Unser akustischer Sinn (Hören) erfasst Schallwellen. Der Gleichgewichtssinn ermöglicht es uns, u. a. aufrecht zu gehen und liefert uns als Nebenprodukt ein Empfinden von Beschleunigung. Mit den druckempfindlichen Messfühlern des Tastsinns erfassen wir im wahrsten Sinne des Wortes unsere Umgebung. Temperaturfühler in unserem Inneren sowie in unserer Haut bilden unseren Temperatursinn und warnen uns vor zu hohen oder zu niedrigen Temperaturen, die unseren Organismus schädigen können.

Für elektromagnetische Wellen außerhalb des infraroten oder sichtbaren Lichts haben wir kein Empfinden und auch für Elektrizität, Radiaktivität oder Luftdruck, um nur einige physikalische Größen zu nennen, fehlen uns die erforderlichen Sensoren. Viele Sinneseindrücke unserer Umwelt erhalten wir indirekt als Interpretationsleistung unseres Gehirns, ohne diese konkret quantifizieren zu können. Wir können unser Empfinden als stark, weniger stark oder schwach einstufen, konkrete und damit vergleichbare Messdaten haben wir nicht. Die Aussagekraft der physiologischen Sensorik eines biologischen Systems ist also sehr individuell geprägt und schwer mit anderen zu vergleichen.

Ganz anders sieht es in der technischen Sensorik aus.

Ein modernes Automobil mit seiner Vielzahl von Regelsystemen und Fahrassistenzsystemen verfügt über erheblich mehr Sinne, als sie uns in die Wiege gelegt sind. Es werden Temperaturen, Drehzahlen, Abstände, Geschwindigkeiten, Drehmomente, Drücke, Strecken, Stoffmengen und vieles mehr über technische Sensoren erfasst und in konkrete, vergleichbare Messergebnisse gewandelt. Sie ermöglichen es den Systemen, Messgrößen auszuwerten und daraus Regelvorgänge abzuleiten.

Was sind Bewegungen?

Neben der einfach erscheinenden Frage, was Bewegung denn eigentlich sei, ist vor allem der Grund oder Anlass für eine Bewegung von Bedeutung. Hier kommen die Begriffe Kraft, Beschleunigung und Drehmoment ins Spiel.

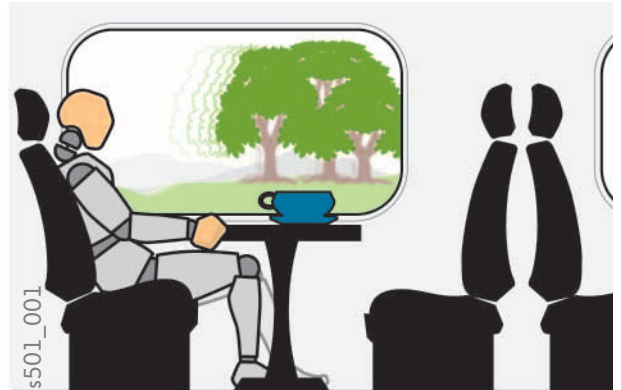


Absolute und relative Bewegungen

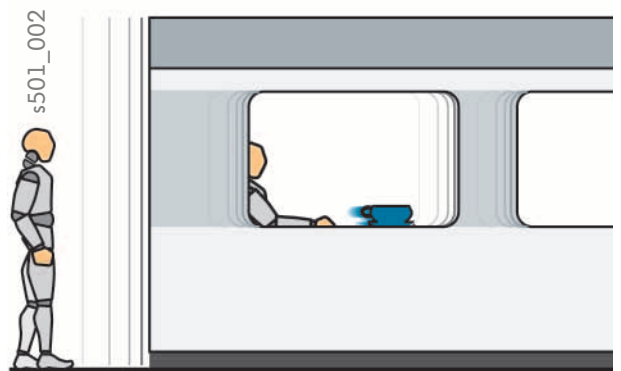
Von einer absoluten Bewegung spricht man im physikalischen Sinn heute nicht mehr. Man verstand darunter die Bewegung eines Objektes bezogen auf den umgebenden, absoluten Raum (Universum). Aber auch das ist nach heutiger Anschauung eine relative Bewegung: die eines Objektes relativ zum Bezugssystem Universum.

Bewegung lässt sich aber nicht nur durch den Bezug auf den umgebenden Raum, sondern auch bezogen auf den Beobachter oder relativ zu einem anderen Objekt beschreiben. Je nachdem, welches Bezugssystem (Inertialsystem) man verwendet, ergeben sich unterschiedliche Beobachtungen der Bewegung.

Eine auf dem Tisch in einem fahrenden Zug stehende Kaffeetasse befindet sich für den Zugpassagier im Zug in Ruhe, für einen Beobachter auf dem Bahnsteig befindet sie sich in Bewegung. Für einen weiteren Beobachter im Zentrum der Milchstraße sind Tasse, Passagier und erster Beobachter ziemlich flott (mit ca. 961.200km/h) in unserer Galaxie unterwegs. Auf die Frage, welche Geschwindigkeit die Tasse hat, würde der erste mit 0km/h, der zweite z. B. mit 250km/h und der dritte mit ca. 961.200km/h antworten. Das sind drei unterschiedliche Aussagen, die alle überprüfbar und gleichzeitig wahr sind. Deshalb ist es wichtig, bei der Beschreibung einer Bewegung das Bezugssystem mit zu nennen.



Für den Beobachter im Bezugssystem „Zug“ bleibt die Tasse in Relation zum Beobachter und zum Bezugssystem in Ruhe.



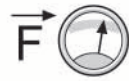
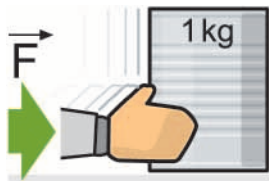
Für den Beobachter auf dem Bahnsteig ist die Tasse samt Zug und Zugpassagieren in Relation zu ihm und einem anderen Bezugssystem „Bahnhof“ in Bewegung.

Kraft und Drehmoment



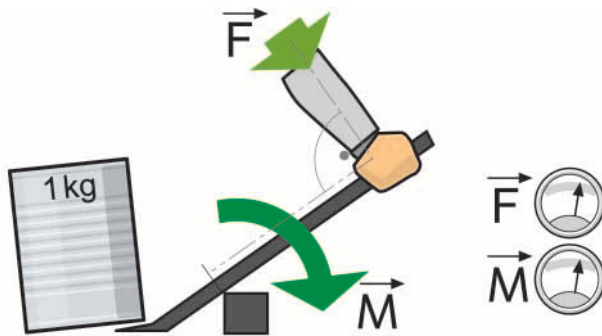
s501_003

Der Körper befindet sich in Ruhe und es wirkt keine Kraft (F).



s501_004

Durch eine lineare Kraft (F), die auf den Körper wirkt, kann dieser beschleunigt und/oder verformt werden.



s501_005

Wirkt eine Kraft (F) über einen Hebelarm, entsteht ein Drehmoment (M).

Es gibt eine Reihe von Kräften, die als feste Begriffe verwendet werden und bei der Beschreibung von Sensoren eine Rolle spielen.

Im Folgenden wollen wir:

- die Gravitationskraft,
- die Trägheitskraft,
- die Zentrifugalkraft,
- die Zentripetalkraft und
- die Corioliskraft kurz betrachten.

Als Ursache für eine Bewegung treten u. a. Kräfte oder Drehmomente auf. Eine Kraft ist eine gerichtete physikalische Größe, die einen Körper verformen oder beschleunigen kann. Erfolgt die Krafteinwirkung an einem Hebelarm, also bezogen auf einen Drehpunkt, erhält man als physikalische Größe das Drehmoment.

Bilden Krafrichtung und Hebelarm dabei einen rechten Winkel, so lässt sich das Drehmoment vereinfacht als Produkt aus Kraft und Länge des Hebelarms beschreiben.

Die Beschleunigung durch eine Kraft bzw. ein Drehmoment bewirkt, dass sich der Bewegungszustand, also seine Geschwindigkeit oder seine Richtung ändert.

Mathematisch wird eine Kraft beschrieben als das Produkt aus der Masse des Körpers, auf den sie wirkt und der Beschleunigung, die dieser durch die Kraft erfährt (2. Newtonsche Gesetz).



Was sind Bewegungen?

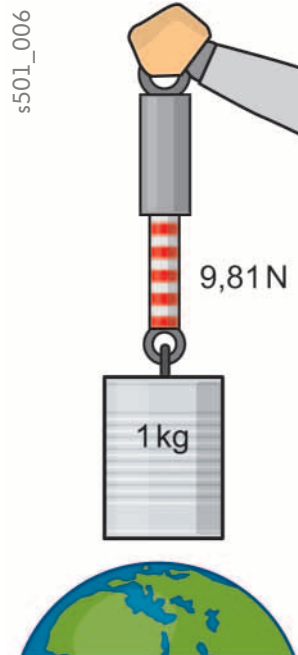
Gravitationskraft

Für uns auf der Erde wird die Gravitationskraft vorwiegend von der Masse unseres Planeten verursacht. Die Gravitation wirkt in Richtung auf den Erdmittelpunkt. Jedes Objekt, dass sich im Einflussbereich der Erde befindet, erfährt diese Kraft. Allerdings nimmt sie mit dem Quadrat des Abstandes von der Erde ab.

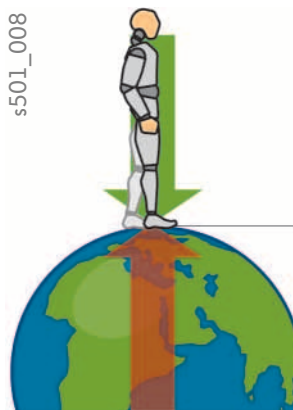
Aus der Gravitationskraft lässt sich nach dem zweiten Newtonschen Gesetz mathematisch die Beschleunigung ableiten, die ein fallender Körper erfährt.

Diese Beschleunigung ist $9,81 \text{ m/s}^2$. Im freien Fall zur Erde werden wir also in jeder Sekunde um eine Geschwindigkeit von $9,81 \text{ m/s}$ schneller, wenn wir andere Einflussgrößen wie Reibung oder Auftrieb unberücksichtigt lassen.

Nach Newton spüren wir die Gravitationskraft, wenn wir auf der Erde stehen, weil eine gleich große entgegengerichtete Kraft von unten gegen unsere Füße drückt. Dieses formulierte er als „actio = reactio“ bzw. „lex tertia“ (drittes Newtonsche Gesetz). Mit Hilfe der Newtonschen Mechanik lässt sich die Gravitation, so wie wir sie erfahren, mit einer ausreichenden Genauigkeit beschreiben und mathematisch herleiten. Erst bei der Beschreibung des Verhaltens von sehr großen Massen, wie sie bei Neutronensternen oder schwarzen Löchern auftreten, lassen sich die Beobachtungen nicht mehr hinreichend genau mit der Newtonschen Auffassung beschreiben. Newton konnte auch nichts darüber aussagen, wie Gravitation entsteht und nach welchen Regeln sie funktioniert.



Nach dem Newtonschen Gravitationskraftbegriff wirkt auf der Erde auf einen Körper mit 1 kg Masse eine Gravitationskraft von $9,81 \text{ N}$.



Nach dem 3. Newtonschen Gesetz treten Kräfte immer in entgegengesetzten Paaren auf. Da wir (normalerweise) nicht in den Boden einsinken oder grundlos zu schweben anfangen, muss der Gravitationskraft (grüner Pfeil) eine gleich große Kraft (roter Pfeil) entgegenwirken.

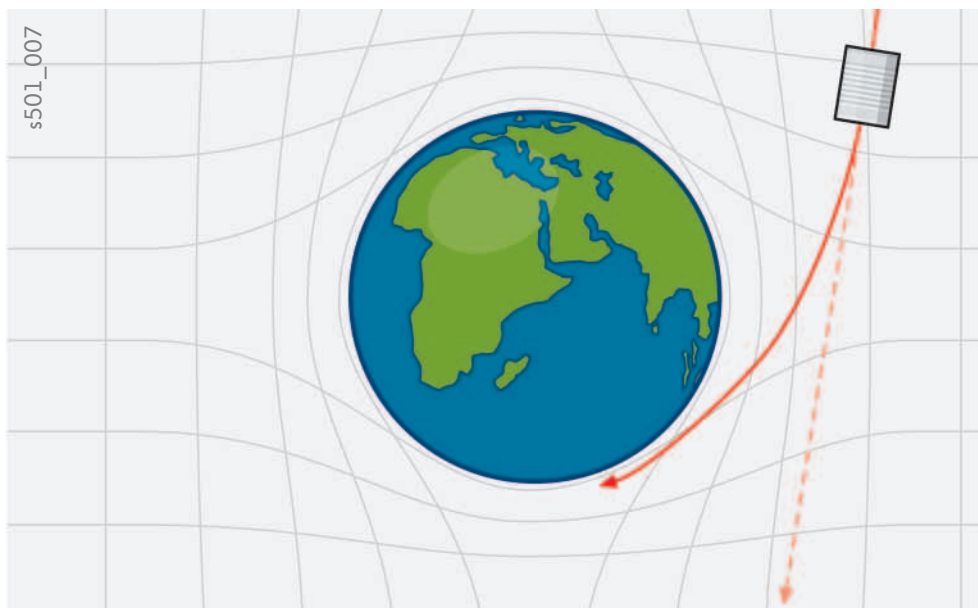
Auf Basis der allgemeinen Relativitätstheorie von Albert Einstein betrachtet man die Gravitation nicht als Kraft, die auf einen Körper im freien Fall wirkt, sondern als geometrische Eigenschaft des vierdimensionalen Raumes (Raumzeit). Diese Modellvorstellung von der grundlegenden Struktur des Universums wird durch die drei Raumrichtungen und die Zeit gebildet. Neu an dieser Betrachtungsweise war, dass nicht alle Objekte untereinander auf einer unveränderlichen statischen Bühne, d. h. dem uns umgebenden Raum, wechselwirken, sondern, dass die Objekte auch die Bühne beeinflussen, so wie auch die Bühne die Objekte beeinflusst.

Sehr stark vereinfacht bedeutet dies: Alle Objekte, die eine Masse besitzen, erzeugen an ihrem Aufenthaltsort eine Störung bzw. Krümmung in der Struktur dieser Raumzeit. Je größer die Masse, desto stärker wird die Raumzeitstruktur „verbogen“. Ist der Masseunterschied zwischen zwei Objekten sehr groß, so fällt der Einfluss des Leichtereren auf den Schwereren kaum messbar ins Gewicht.

Das bedeutet, gegenüber dem Einfluss, den die Erde auf ein Flugzeug ausübt, ist der des Flugzeuges auf die Erde vernachlässigbar klein.

Erreicht ein anderes Objekt bei seinem Weg durch das Universum solch einen gekrümmten Bereich, so wird es durch die Krümmung der Raumzeitstruktur zu dem massereichen Objekt hin abgelenkt.

Reichen Stärke und Richtung der Eigenbewegung des Objektes aus, um die Krümmung zu durchlaufen, so kann das Objekt den gekrümmten Bereich wieder verlassen. Reichen Stärke und Richtung der Eigenbewegung nicht aus, so stürzt das leichtere Objekt in das massereichere Objekt. Bei diesem freien Fall wirken, anders als in der Newtonschen Definition, keine Kräfte auf den Körper. Er ist schwerelos.



Die „Krümmung“ der Raumzeitstruktur durch ein massereiches Objekt bewirkt, dass ein sich geradlinig bewegendes leichtes Objekt von seiner Bahn abweicht.

Was sind Bewegungen?

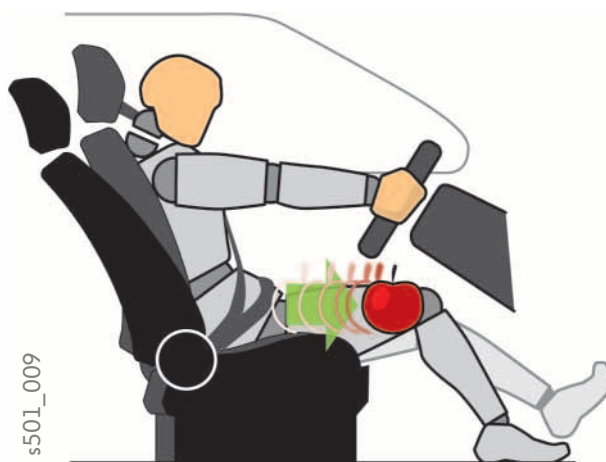
Trägheitskraft

Trägheitskräfte werden auch als Scheinkräfte bezeichnet. Zentrifugal-, Zentripetalkraft und Corioliskraft gehören ebenfalls zu den Trägheits- oder Scheinkräften. Der Begriff Scheinkraft bezieht sich darauf, dass die Beschreibung der Kraftwirkung davon abhängt, ob sich Beobachter und beobachtetes Objekt im gleichen Bezugssystem befinden.

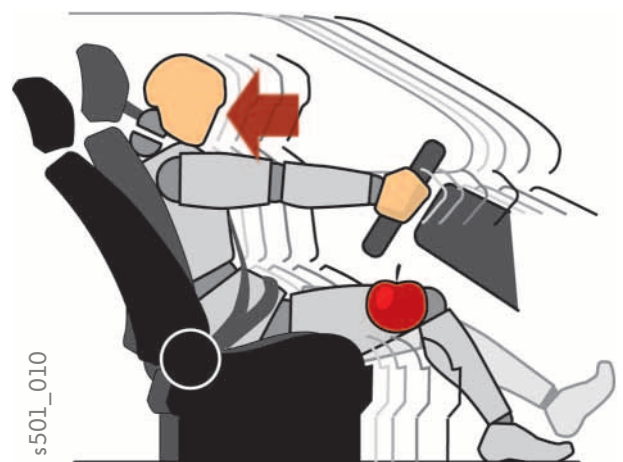
Nehmen wir als Beispiel einen Apfel, der neben Ihnen im Auto auf dem Beifahrersitz liegt. Sie fahren mit konstanter Geschwindigkeit und der Apfel befindet sich, genau wie Sie, in Bezug auf das Auto in Ruhe. Sie sehen, dass sich der Apfel auf dem Sitz nicht bewegt. Wenn Sie nun abrupt bremsen, fliegt der Apfel in Fahrtrichtung davon, während Sie vom Sicherheitsgurt zurückgehalten werden. Aus Ihrer Sicht ändert der Apfel seinen Bewegungszustand, während Sie den Ihren nicht verändern.

Es muss also eine Kraft wirken, die dazu führt, dass sich der Apfel im Bezugssystem Auto bewegt. Das ist die Trägheitskraft. Man sagt dazu auch Trägheit oder das Bestreben eines Körpers seinen Bewegungszustand beizubehalten.

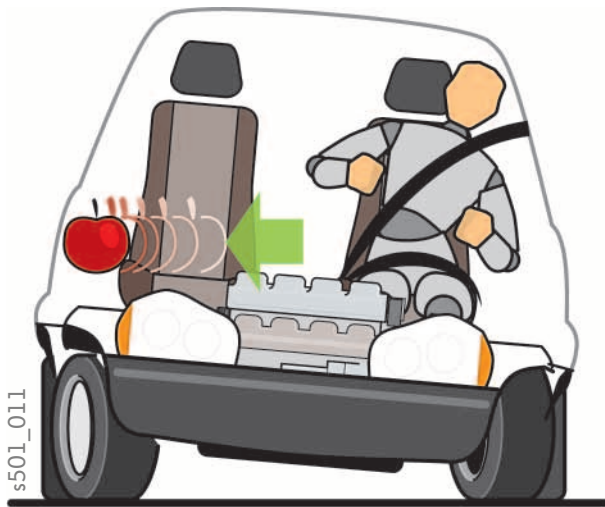
Aus der Sicht eines Betrachters auf der Straße, an dem Sie vorbeifahren als Sie bremsen, stellt sich der Vorgang anders dar: Sie werden durch eine Kraft, die Bremskraft, negativ beschleunigt, weil sie über die Sicherheitsgurte fest mit dem Auto, das abbremst, verbunden sind. Der Apfel fliegt währenddessen mit konstanter Geschwindigkeit weiter, weil keine Bremskraft auf ihn wirkt. Aus dieser Sichtweise ändern Sie Ihren Bewegungszustand, während der Apfel den Seinen beibehält. Der Beobachter benötigt keine Trägheitskraft, um das Verhalten des Apfels zu erklären.



Aus Sicht des Fahrers wird der Apfel beim Bremsen durch seine Trägheitskraft beschleunigt.



Für einen außen stehenden Beobachter werden Fahrer und Auto durch die Bremskraft verzögert (negativ beschleunigt), während der Apfel seinen Bewegungszustand nahezu kräftefrei beibehält.

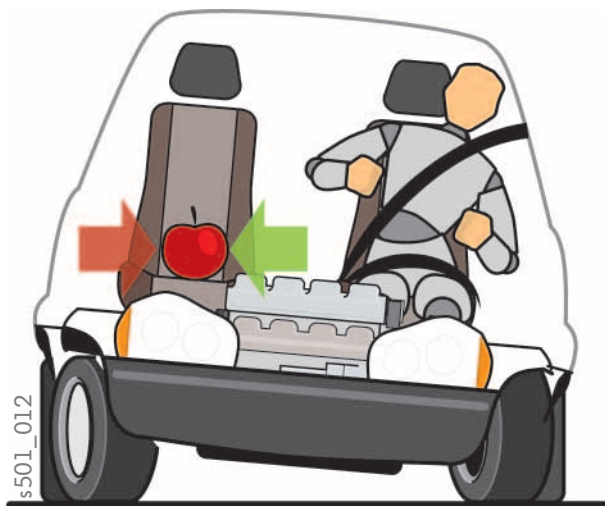


Aus Sicht des Fahrer, der sich mit dem Apfel im gleichen Bezugssystem befindet, muss es bei der Kurvenfahrt eine Kraft geben, die den Apfel nach außen beschleunigt.

Zentrifugalkraft

Betrachtet man ein rotierendes Bezugssystem aus einer Position innerhalb des Systems, so scheint es eine Kraft zu geben, die ein Objekt, das sich mit dem Beobachter im Bezugssystem befindet, nach außen zieht.

Wir bleiben als Beispiel bei dem Apfel auf dem Beifahrersitz in Ihrem Auto. Sobald Sie in eine Kurve fahren, bewegt sich der Apfel auf dem Sitz in Richtung vom Kurvenmittelpunkt nach außen, während Sie diesem Zug durch die Sicherheitsgurte und ihrer Körperhaltung entgegenwirken. Der Apfel wird aus Ihrer Sicht durch die Zentrifugalkraft nach außen beschleunigt.



Damit der Apfel bei einer Kurvenfahrt aus Sicht eines Beobachters in Ruhe bleiben kann, muss es zu der nach außen ziehenden Zentrifugalkraft (grün) eine gleich große, entgegen gerichtete Zentripetalkraft geben (rot).

Zentripetalkraft

Ein Grundprinzip der Newtonschen Mechanik ist es, dass sich ein Körper in Ruhe befindet, wenn die Summe aller an ihm wirkenden Kräfte gleich null ist. Zu jeder wirkenden Kraft muss es für diesen Fall also eine Gegenkraft geben.

Wenn sich ein Körper in einem rotierenden Bezugssystem befindet, so wirkt eine Zentrifugalkraft auf ihn, die ihn nach außen beschleunigt, so dass er sich relativ zum Bezugssystem bewegt.

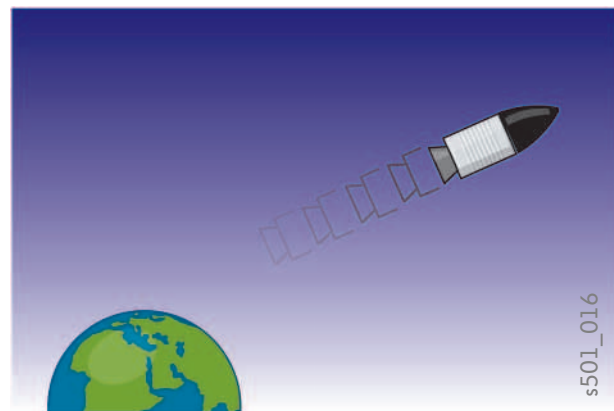
Diese Kraft wirkt, solange das Bezugssystem die Rotation ausführt. Bleibt der Körper aber relativ zum Beobachter in Ruhe, muss eine gleich große Gegenkraft zur Zentrifugalkraft vorhanden sein. Dies ist die Zentripetalkraft.

Gleichförmige und ungleichförmige Bewegungen

Von einer gleichförmigen Bewegung spricht man, wenn sich ein Körper mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Findet eine weitere Beschleunigung statt, so dass der Körper seine Geschwindigkeit ändert, liegt eine ungleichförmige Bewegung vor. Ist dabei die Beschleunigung konstant, wird die resultierende Bewegung gleichmäßig beschleunigte, ungleichförmige Bewegung genannt.



Solange der Raketenmotor läuft, wird die Rakete weiter beschleunigt. Ihre Geschwindigkeit nimmt zu. Dies ist eine ungleichförmige Bewegung.



Nach dem Abschalten des Raketenmotors gleitet die Rakete ohne weitere Beschleunigung durch das All. Sie fliegt nun in einer gleichförmigen Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit, sofern man andere Effekte wie Gravitationseinflüsse unberücksichtigt lässt.



Zur Beschreibung aller Vorgänge auf der Erde, die sich in der Größenskala unseres alltäglichen Lebens ereignen, genügt in der Regel die Newtonsche Mechanik, um genügend genaue Ergebnisse zu erzielen. Erst bei sehr großen sowie sehr kleinen Massen (schwarze Löcher, Elementarteilchen) und bei sehr hohen Geschwindigkeiten (Nähe Lichtgeschwindigkeit) reicht die Newtonsche Betrachtungsweise nicht mehr aus, um Ergebnisse zu erhalten, die mit den Beobachtungen übereinstimmen. Für große Massen und hohe Geschwindigkeiten wird dann die Einsteinsche Allgemeine bzw. Spezielle Relativitätstheorie herangezogen und für sehr kleine Massen und hohe Geschwindigkeiten eine quantenmechanische Beschreibung.

Was ist Energie?

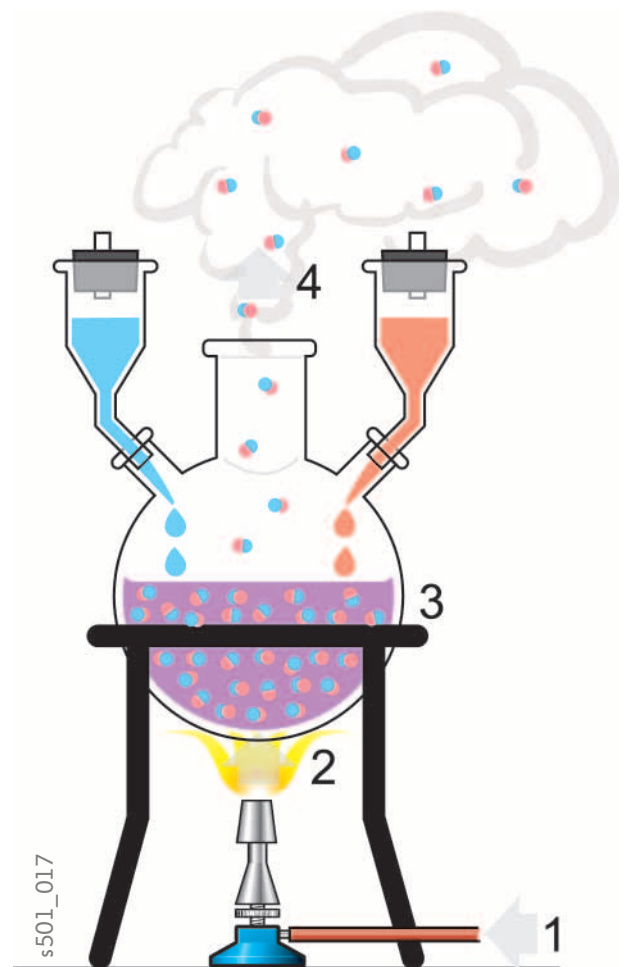
Spätestens mit den ersten Atomwaffentests wurde klar, welche ungeheure Energie in Materie gebunden ist. Und mit Einsteins weltbekannter Gleichung $E=mc^2$ werden für jeden sichtbar Masse und Energie als äquivalent gleichgesetzt.

In der klassischen Mechanik versteht man unter Energie eine physikalische Größe, die in der Lage ist, Arbeit zu verrichten. Je nachdem, in welchem Zweig der Naturwissenschaften man sich befindet, werden unterschiedliche Definitionen für Energie oder Energieformen benutzt.



Energieformen

Unterschiedliche Energiebegriffe können daher rühren, dass unterschiedliche Dinge untersucht werden. Die Bewegungsenergie, die ein Körper aufgrund einer Beschleunigung inne hat, wird eine andere Definition oder physikalische Herleitung erforderlich machen, als eine Beschreibung für die Energie, die aufgebracht werden muss, um eine chemische Verbindung herzustellen oder zu lösen. Aber egal, wie im Einzelnen die Definition einer Energieform auch aussieht: letztendlich lassen sich alle Energien (zumindest mathematisch) ineinander überführen. Sie sind also wie Masse und Energie aus Einsteins Formel äquivalent. In der praktischen Nutzbarkeit sind dieser Äquivalenz jedoch Grenzen gesetzt, da es in der Regel dabei durch Nebeneffekte oder Wechselwirkungen zu einer „Energie-Entwertung“ (scheinbare Energieverluste) kommt, bzw. eine Überführung in eine andere Energieform technisch nicht möglich oder zu aufwendig ist.

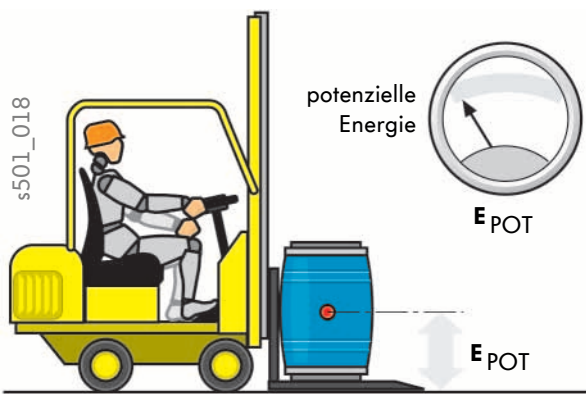


- Beispiele für unterschiedliche Energieformen:
1. im Brenngas gebundene chemische Energie
 2. Wärmenergie in der Brennerflamme
 3. Bewegungs- und Bindungsenergie bei der chemischen Reaktion der beiden Reaktionspartner
 4. Bewegungsenergie der Dampfmoleküle

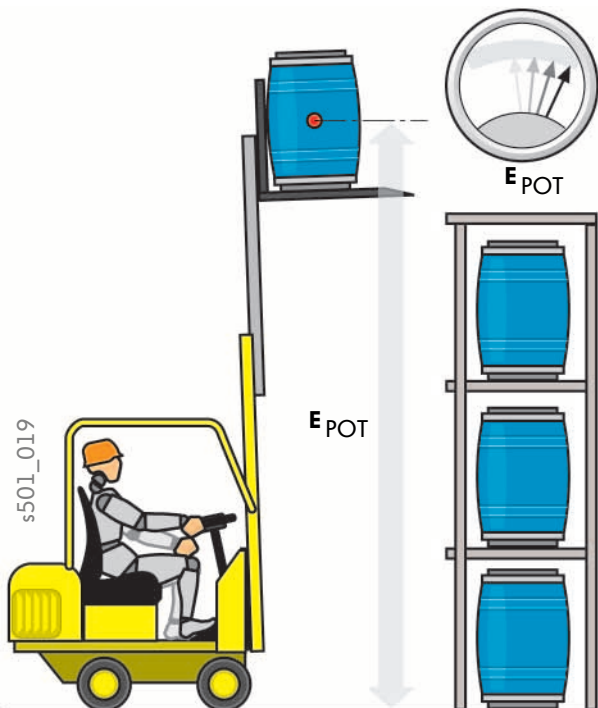
Die potenzielle Energie & ihre Schwestern

Hier sollen nur kurz einige Energiebegriffe genannt werden, die bei der Beschreibung von Messtechniken oder von physikalischen Grundbegriffen in dieser Reihe Verwendung finden. Es sind:

- potenzielle Energie
- kinetische Energie
- thermische Energie
- chemische Energie



Die potenzielle Energie (E_{POT}) des Körpers ist klein.



Durch die Arbeit, die der Gabelstapler beim Heben des Körpers verrichtet, steigt dessen potenzielle Energie um einen, der Arbeit äquivalenten, Betrag.

Potenzielle Energie

Wenn man einen auf dem Fußboden in Ruhe stehenden Körper z. B. mit einem Gabelstapler hoch hebt und in ein Regal stellt, wo er wieder in Ruhelage verbleibt, so hat sich sein Betrag an potenzieller Energie um die Energie erhöht, die der Gabelstapler als Arbeit beim Hochheben aufgebracht hat. Man nennt diese Energieform auch Lageenergie und beschreibt sie als Energiebetrag, der einem Körper aufgrund seiner Lage bezogen auf ein umgebendes Kraftfeld (i. d. R. Schwerfeld/Erdgravitation) zukommt.

Verändert der Körper seine Lage in Wirkrichtung der Gravitation, fällt also herunter, so nimmt seine potenzielle Energie ab. Gewinnt er entgegen der Schwerkraft an Höhe, nimmt sie zu. Verändert der Körper seine Lage senkrecht zur Gravitation, also auf „gleicher Höhe“ auf der Erdoberfläche, bleibt seine potenzielle Energie konstant. Fällt der Körper aus dem Regal herunter, so geht seine potenzielle Energie im freien Fall nach und nach in kinetische Energie über.

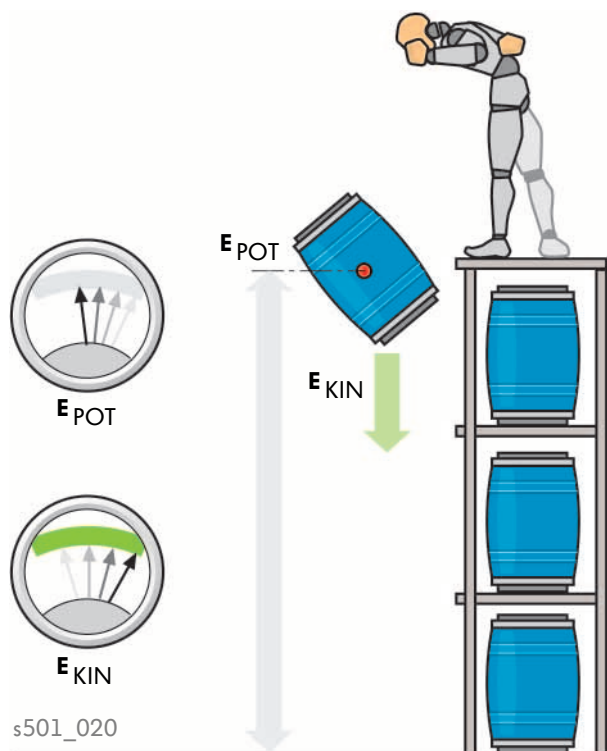
Was ist Energie?

Kinetische Energie

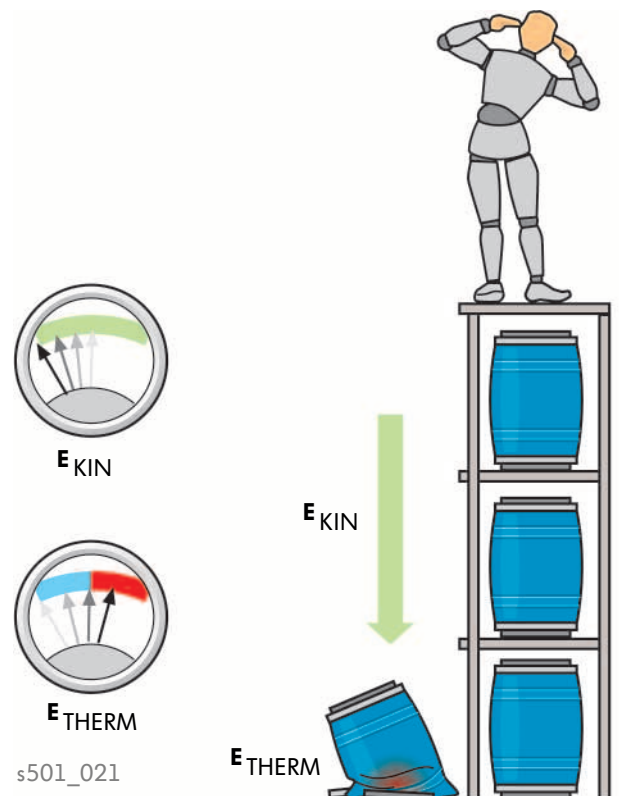
Sie ist die Energie, die in einem Bewegungszustand „steckt“. Je stärker ein Körper beschleunigt wird und um so höher damit seine Geschwindigkeit wird, desto größer wird seine Bewegungsenergie. Wirken keine weiteren Kräfte auf den Körper ein und treten keine Energieverluste auf, wie z. B. durch die Reibung, so bleibt seine kinetische Energie konstant.



Er bewegt sich in diesem Fall weiter, ohne seine Geschwindigkeit zu verändern. Verliert er jedoch an Geschwindigkeit aufgrund von z. B. Reibung, so wird ein Teil seiner Bewegungsenergie in thermische Energie umgewandelt.



In dem Maße, in dem die kinetische Energie (E_{KIN}) im freien Fall aufgrund der Erdbeschleunigung zunimmt, verringert sich die potenzielle Energie (E_{POT}) des Körpers.



Durch die beim Aufprall auftretenden Verformungskräfte wird ein Teil der kinetischen Energie (E_{KIN}) in thermische Energie (E_{THERM}) umgewandelt.

Thermische Energie

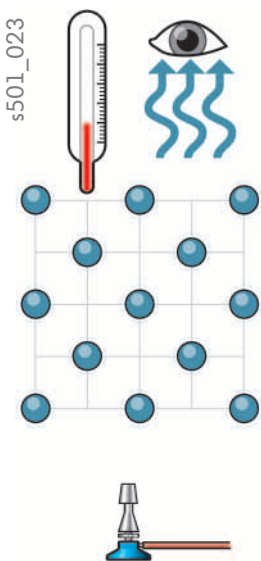
Die thermische Energie oder Wärmeenergie beruht, grob vereinfacht ausgedrückt, auf der Bewegung der Atome bzw Moleküle eines Körpers.

Je mehr thermische Energie auf den Körper übertragen wird, desto mehr beginnen die Atome (Moleküle) auf ihrer Position im Strukturgitter des Körpers zu schwingen. Jeder erwärmte Körper ist bestrebt, die thermische Energie, die ihm zugeführt worden ist, wieder „loszuwerden“, um wieder in einen energieärmeren und damit thermodynamisch stabileren Zustand zurückzukehren.

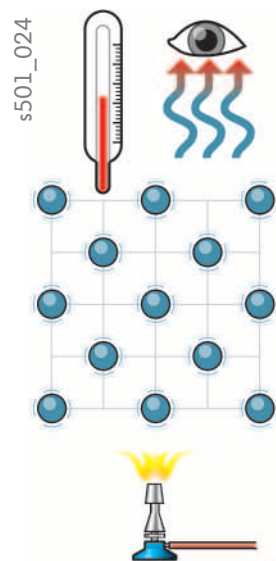
Dies geschieht u. a. dadurch, dass die Atome die überschüssige Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung in die Umgebung abgeben.

Dies können wir je nach Stoffeigenschaft als Wärmestrahlung fühlen und ggf. als Glühen sehen.

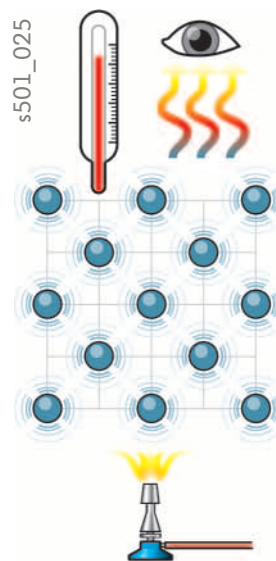
Überschreitet die zugeführte Energie einen für das Material, aus dem der Körper besteht, spezifischen Wert, so lösen sich die Atome (Moleküle) aus der Struktur des Körpers. Das Material schmilzt bzw. verdampft. Wird einem Gemisch von Atomen (oder Molekülen), neben anderen Bedingungen, ein genügend hoher Betrag an thermischer Energie zugeführt, so können sie sich zu neuen Molekülen verbinden. Dabei wird thermische Energie in chemische Bindungsenergie umgewandelt.



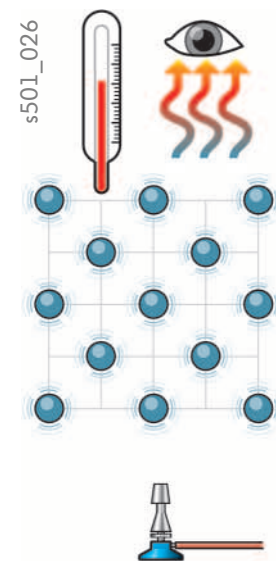
Ohne Energiezufuhr besitzt der Körper Umgebungs-Temperatur.
Die Gitterbausteine (Moleküle/Atome) schwingen nur leicht an ihren Gitterplätzen. Erst bei einer Temperatur von 0K (-273,15°C) treten keine Bewegungen der Gitterbausteine auf.



Der Körper wird erwärmt, seine Temperatur steigt. Die Bewegungen der Gitterbausteine nehmen zu. Der Körper beginnt elektromagnetische Strahlung in Form von infraroter Strahlung (Wärme) und ggf. Licht (Glühen) abzugeben.



Mit steigender Energiezufuhr und Bewegung der Gitterbausteine wird auch die Abgabe von elektromagnetischer Strahlung intensiver.

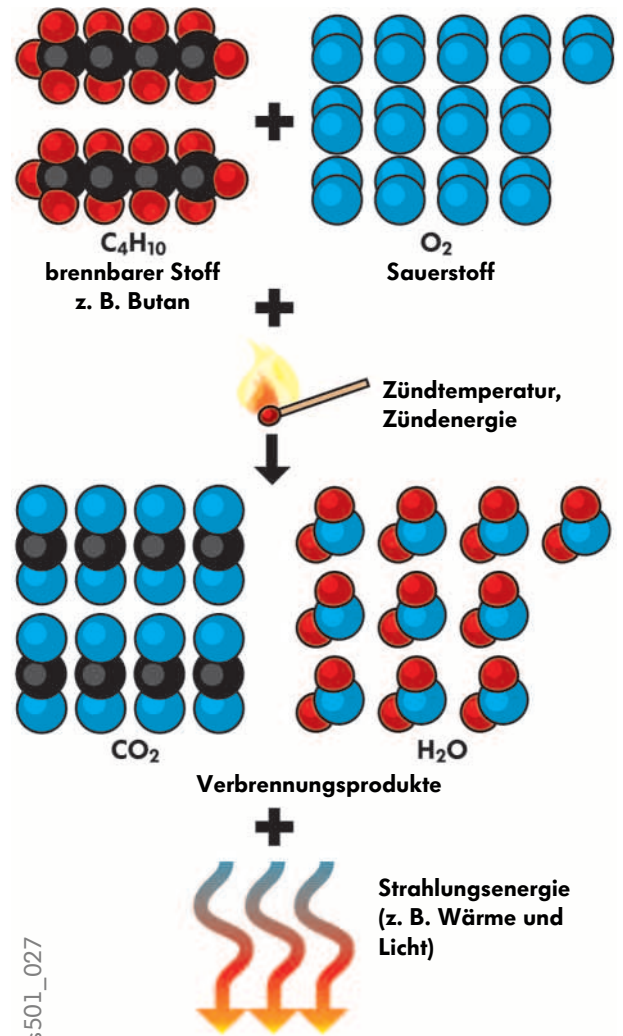


Nach Wegfall der Energiezufuhr strahlt der Körper weiter elektromagnetische Strahlung ab, bis er wieder Umgebungs-Temperatur erreicht hat.

Was ist Energie?

Chemische Energie

Die chemische Energie oder Bindungsenergie entspricht dem Energiebetrag, der aufgewendet werden muss, um die beteiligten Stoffe (Atome oder Moleküle) miteinander zu verbinden. Werden diese Bindungen z. B. beim Verbrennen von Kraftstoffmolekülen aufgebrochen, wird diese Bindungsenergie zum Teil als thermische Energie wieder freigesetzt und kann zum Verrichten von Arbeit (z. B. im Verbrennungsmotor) verwendet werden.



Durch die Verbrennung (Oxidation) eines brennbaren Stoffes wird ein Teil der in dem Stoff gespeicherten chemischen Bindungsenergie als Wärme frei gesetzt.

Umwandlung von Energien und Energieerhalt

Wie beschrieben, lassen sich Energien mehr oder minder vollständig ineinander umwandeln. Wichtig ist die Aussage, dass dabei keine Energie verloren gehen kann. Die Umwandlung von chemischer Energie aus Kraftstoff in kinetische Energie im Verbrennungsmotor erfolgt oberflächlich betrachtet nicht zu 100%. Es geht scheinbar Energie verloren. Doch dies scheint nur so, da von der freiwerdenden chemischen Energie auch Anteile in Wärmeenergie und andere Energieformen gewandelt werden.

Die Summe all dieser Energien muss aber wieder dem Betrag der chemischen Energie entsprechen.

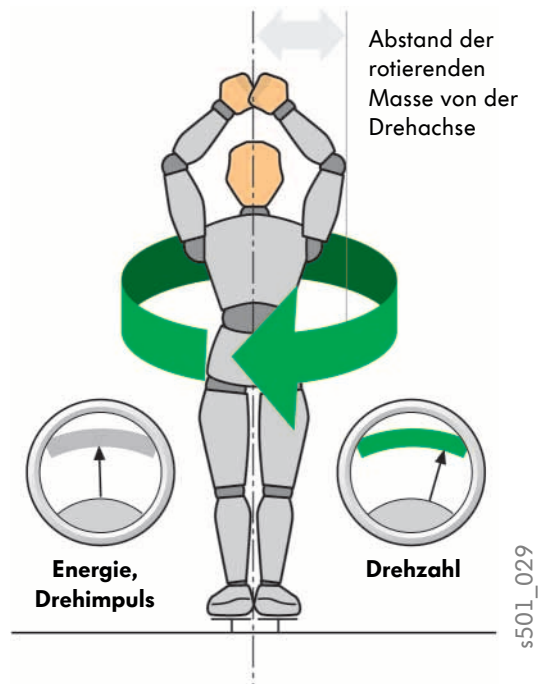
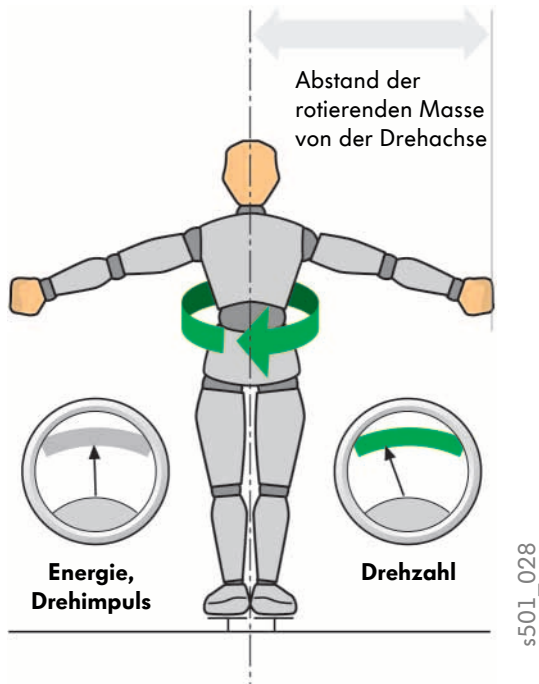
Grundsätzlich gilt, dass in einem abgeschlossenen System, d. h. einem System, aus dem keine Energie durch Wechselwirkungen entweichen kann, die Summe aller enthaltenen Energien konstant ist. Es geht keine Energie verloren. Es kann aber auch keine hinzugewonnen werden (Energieerhaltungssatz).

Beispiel Drehimpuls

Der Energieerhalt kann auch dazu führen, dass sich das Verhalten oder die Bewegung eines Körpers ohne äußeren Einfluss zu ändern scheint. Als Beispiel kann hierzu ein Eiskunstläufer betrachtet werden, der eine Pirouette dreht. Dabei wird für dieses Beispiel der Drehimpuls als eine Form von kinetischer Energie aufgefasst.

Beginnt der Läufer die Pirouette mit ausgebreiteten Armen und zieht dann die Arme an den Körper, so wird seine Rotationsgeschwindigkeit größer, ohne dass von außen weitere Kräfte beschleunigend wirken.

Der Eiskunstläufer gibt sich selbst einen bestimmten Drehimpuls, wenn er die Pirouette beginnt. Dieser Drehimpuls ist abhängig von der Masse des Läufers, der Drehgeschwindigkeit und dem Abstand der rotierenden Masse von der Drehachse. Verringert der Eiskunstläufer den Abstandswert zur Drehachse, indem er die Arme anzieht, müssen sich, um den Energieerhalt bzw. den Erhalt des Gesamtdrehimpulses zu gewährleisten, demnach die beiden anderen Einflussgrößen ändern. Das Gewicht des Eiskunstläufers bleibt gleich, also muss sich seine Rotationsgeschwindigkeit (Drehzahl) erhöhen, um die Abnahme des Abstandes auszugleichen.



Damit der Energieerhaltungssatz erfüllt ist, muss sich die Drehzahl an Pirouetten erhöhen, wenn der Abstand der rotierenden Masse zur Drehachse verringert wird.

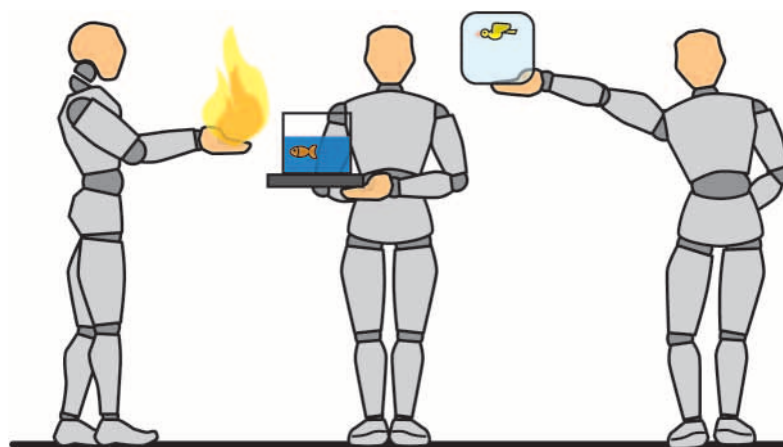
Was ist Materie?

Materie kann, folgt man der Einsteinschen Gleichung $E=mc^2$, als „erstarrte“, greifbare Energie aufgefasst werden. Dies erklärt aber nicht, was Materie nun eigentlich ist.

Schon die Philosophen des Altertums gingen davon aus, dass alle Dinge, die uns umgeben, aus bestimmten gleichartigen Grundstoffen aufgebaut sind. Zweifel und Uneinigkeit hingegen herrschte darüber, welche Grundstoffe diese seien. Heraklit meinte, alles sei aus Feuer entstanden, Thales entschied sich für Wasser als Grund- oder Urstoff, Anaximenes führte alles auf Gas (Luft) zurück. Empedokles vertrat die versöhnliche Theorie, alle Dinge bestünden aus Feuer, Wasser, Erde und Luft. Die Anschauung von Empedokles hielt bis weit ins Mittelalter an und führte in der Alchemie u. a. zu dem Versuch, Gold oder den Stein der Weisen aus diesen Grundstoffen zu gewinnen. Nach unserem heutigen Kenntnisstand war Demokrit, ebenfalls ein Philosoph des Altertums, „am Dichtesten dran“. Er vertrat zusammen mit seinem Lehrer Leukip die Meinung, alles sei aus gleichartigen Atomen, nicht weiter teilbaren Materieeinheiten, aufgebaut. Dies entspricht so halbwegs auch unserer heutigen Vorstellung von Materie.

Die Atome des Demokrit erwiesen sich jedoch durchaus als weiter zerlegbar, so dass die heutigen Theorien über den Aufbau der Materie weit in das Atom hineinschauen und neue, kleinste Elementarteilchen definieren.

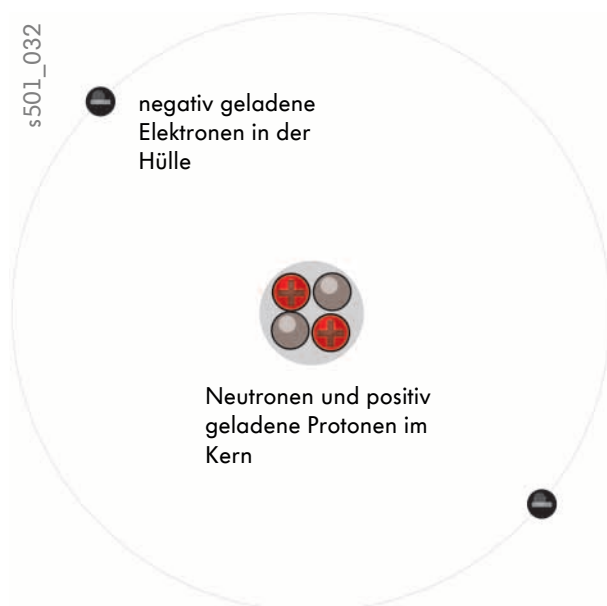
Es gibt jedoch nicht nur eine „Atomart“ (Element), aus der die Materie mit Hilfe der Elementarteilchen aufgebaut ist, sondern inzwischen 118 Elemente von denen allerdings nur die ersten 83 stabil sind. Die übrigen 35 Elemente sind radioaktiv, zerfallen also unter Abgabe von Strahlung und/oder subatomaren Elementarteilchen in andere Atomarten. Viele dieser radioaktiven Elemente können nur im Labor (Teilchenbeschleuniger) für sehr kurze Zeitspannen künstlich erzeugt werden.



s501_059

Die unterschiedlichen Naturphilosophen der Antike führten die Bausteine der Materie auf unterschiedliche Grundstoffe, wie z. B. Feuer, Wasser oder Luft zurück.

Grundaufbau der Elemente



Aufbau eines Atoms am Beispiel Helium

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1.	1 H 1,0079							2 He 4,0026
2.	3 Li 6,941	4 Be 9,0122	5 B 10,811	6 C 12,011	7 N 14,007	8 O 15,999	9 F 18,988	10 Ne 20,180
3.	11 Na 22,990	12 Mg 24,305	13 Al 26,982	14 Si 28,086	15 P 30,974	16 S 32,065	17 Cl 35,453	18 Ar 39,948
4.	19 K 39,098	20 Ca 40,078	31 Ga 69,723	32 Ge 72,64	33 As 74,922	34 Se 78,96	35 Br 79,904	36 Kr 83,798
5.	37 Rb 85,468	38 Sr 87,62	49 In 114,82	50 Sn 118,71	51 Sb 121,76	52 Te 127,60	53 J 126,90	54 Xe 131,29

s501_031

Ausschnitt aus dem Periodensystem der Elemente
Dargestellt sind die Elemente der achten Hauptgruppe bis zur 5. Periode.

In jedem Kasten werden je nach Ausführung des Periodensystems u. a. die international gültige Abkürzung (z. B. Be für Beryllium), die Ordnungszahl (hier im Kasten oben links) und das Atomgewicht (hier unten mittig) angegeben.

Jedes Atom besteht aus den elementaren Bausteinen Elektronen, Protonen und Neutronen und diese wiederum aus noch kleineren Elementarteilchen (Quarks, Bosonen, Myonen, etc), die hier jedoch unberücksichtigt bleiben müssen.

Protonen und Neutronen bilden den Kern und damit das im Vergleich zum Atomdurchmesser sehr, sehr kleine Massezentrum eines Atoms. Die sehr viel kleineren und leichteren Elektronen bilden die Hülle des Atoms. Sie nimmt den Hauptteil des Atomvolumens ein. Ein Atom ist also ein ausgesprochen winziger und schwerer Kern mit sehr viel „Nichts“ drum herum.

Protonen tragen eine positive Elementarladung, Elektronen eine negative Elementarladung. Neutronen haben keine elektrische Ladung. Damit ein Atom elektrisch neutral sein kann, besitzt es die gleiche Anzahl von Protonen und Elektronen.

Atome eines Elements mit gleicher Protonen- aber unterschiedlicher Neutronenzahl werden Isotope genannt, da sie sich am gleichen Ort im Periodensystem der Elemente befinden (iso = gleich, topos = Ort). Das Periodensystem der Elemente ordnet alle Atomsorten nach der Anzahl ihrer Protonen im Kern (Ordnungszahl) und nach ihrem chemischen Bindungsverhalten, dass durch die äußeren Elektronen (Valenzelektronen) des Atoms bestimmt wird. Elemente können durch chemische Vorgänge nicht weiter zerlegt werden, entsprechen damit also weitgehend Demokrits Vorstellung von Atomen als die kleinsten Bausteine der Materie.



Was ist Materie?

Es gab und gibt verschiedene Modelle bzw. Theorien über den genauen subatomaren Aufbau der Elemente. Sehr anschaulich ist ein Schalen- oder Planetenmodell, das auf den Arbeiten von Ernest Rutherford und Niels Bohr basiert. Hierbei stellt man sich die Protonen und Neutronen zusammen in einem sonnenähnlichen Kern vor, der von den Elektronen, wie Planeten auf festen Bahnen, umkreist wird. Diese Vorstellung kann jedoch einen speziellen Effekt, bzw. besser dessen Ausbleiben, nicht erklären:

Nach der klassischen Elektrodynamik gibt ein auf einer Kreisbahn laufender Ladungsträger elektromagnetische Strahlung ab, verliert also an Energie. Das müsste aufgrund des Impulserhaltungssatzes dazu führen, dass das Elektron in den Kern stürzt, was aber offensichtlich nicht passiert, denn sonst würde es uns nicht geben.

Daher entwickelte Niels Bohr die Vorstellung, dass es besondere Energieniveaus oder Schalen für die Elektronen geben müsse, auf denen sie keine Strahlung emittieren. Dieser nichtlineare Aspekt über den Aufbau der Materie wurde von Max Planck, dem Begründer der Quantentheorie, durch Experimente bestätigt und weiterentwickelt.

Die Quantentheorie beschreibt Elementarteilchen, wie z. B. Elektronen, nicht mehr als konkrete Teilchen unter Angabe eines Ortes und einer Geschwindigkeit, sondern in Form von sehr komplexen Wahrscheinlichkeitsfunktionen, weil sich Ort und Geschwindigkeit auf dieser Größenskala nicht mehr gleichzeitig bestimmen lassen (Heisenbergsche Unschärferelation). Die Aussage lautet also nicht mehr: „Hier ist ein Elektron und es hat diese Geschwindigkeit“, sondern: „Hier ist vielleicht ein Elektron und falls dies sein Ort ist, kann ich dort seine Geschwindigkeit nicht bestimmen“.

Auch für uns klare Beziehungen, wie Ursache und Wirkung, verlieren auf Quantenebene ihre Eindeutigkeit. Deshalb entzieht sich diese Theorie dem Verständnis fast aller Menschen. Von der Quantentheorie meinte ihr Mitbegründer Niels Bohr: „Wer über die Quantentheorie nicht entsetzt ist, der hat sie nicht verstanden.“ Und selbst Albert Einstein, der durch seine Forschung um den photoelektrischen Effekt wesentlich zum Entstehen der Quantentheorie beigetragen hat, meinte zu bestimmten Aspekten der Quantenmechanik: „Gott würfeln nicht.“



Nach dem Schalen- bzw. Planetenmodell umkreisen die Elektronen eines Atoms den Kern wie Planeten das Zentralgestirn. Als Beispiel ist hier das Modell des Kohlenstoffatoms abgebildet mit 6 Protonen und 6 Neutronen im Kern sowie 6 Elektronen in der Hülle. Dabei nehmen jeweils eine bestimmte Anzahl von Elektronen eine definierte, „stabile“ Elektronenbahn (Elektronenschale) ein, auf denen die Elektronen den Kern umkreisen können, ohne Strahlung abzugeben. Die innerste Schale ist die K-Schale mit max. 2 Elektronen, dann folgt die L-Schale mit max. 8 Elektronen (beim Kohlenstoff mit 4 von 8 möglichen Elektronen gefüllt). Bei Elementen aus höheren Perioden (z. B. Natrium) kommen weitere Schalen hinzu.

Und trotzdem: Sehr viele elektrische und elektronische Geräte (Computer, Sensoren, Chipkarten, etc.), die für uns heute eine Selbstverständlichkeit sind und im Automobilbau Verwendung finden, funktionieren auf der subatomaren Ebene nach Regeln, die von der Quantentheorie besser beschrieben werden als von den klassischen Theorien. Deshalb sollte man zumindest wissen, dass es diese Theorie gibt und dass sie besonders gut zur Beschreibung von Prozessen im subatomaren Größenbereich geeignet ist.

Schon vor Einstein ging die Entwicklung in der physikalischen Grundlagenforschung dahin, alle elementaren Größen in einer vereinheitlichten Feldtheorie oder „Weltformel“ zusammenzufassen. Vielleicht entspricht dieses Streben dem alten Traum der Alchemisten, nach dem alles erklärenden und ewiges Leben schenkenden Stein der Weisen.

Ein vielversprechender Ansatz für eine vereinheitlichte Feldtheorie ist aus heutiger Sicht die String- bzw. Superstring-Theorie (M-Theorie). Mit ihr wird es vielleicht gelingen, auch die Gravitation in eine neue Theorie mit einzubinden und so Quantenmechanik und Relativitätstheorie auf eine gemeinschaftliche mathematische Basis zu stellen.

Es bleibt also spannend beim Wissen um den genauen Aufbau der Materie und deren Ursprung.



Grob vereinfachte Übersicht der unterschiedlichen physikalischen Theorien.

Was ist Materie?

Subatomare Einflussgrößen für die Sensortechnik

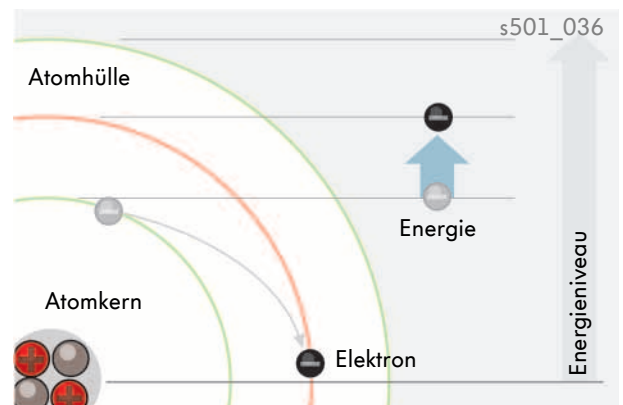
Einige der in dieser Reihe beschriebenen Messverfahren beruhen auf Eigenschaften der subatomaren Bausteine der Materie, der Elektronen, Protonen, Quarks, etc. Man spricht hierbei auch von quantenmechanischen Eigenschaften der Materie, wie zum Beispiel dem Elektronenspin. Diese Eigenschaften in all ihren Facetten hier darzustellen und zu erläutern, würde den Rahmen dieser Reihe bei weitem sprengen. Daher sei hier nur folgende grobe Vereinfachung gegeben.

Unter normalen Umständen versuchen alle physikalischen Systeme (wie z. B. Atome oder deren Bestandteile), einen möglichst energiearmen Zustand einzunehmen, da dies thermodynamisch stabiler ist, als ein Zustand höherer Energie. Dieses Verhalten macht man sich bei einigen Messmethoden, wie z. B. der Tomografie zu nutze, indem man Teilchen künstlich Energie zuführt, so dass sie in einen angeregten, energetisch höher liegenden Zustand übergehen. Um wieder in den stabileren Zustand zu gelangen, versuchen diese Teilchen dann, ihre „überschüssige“ Energie durch Abgabe von z. B. Strahlung oder Änderung ihrer Quanteneigenschaften wieder los zu werden.

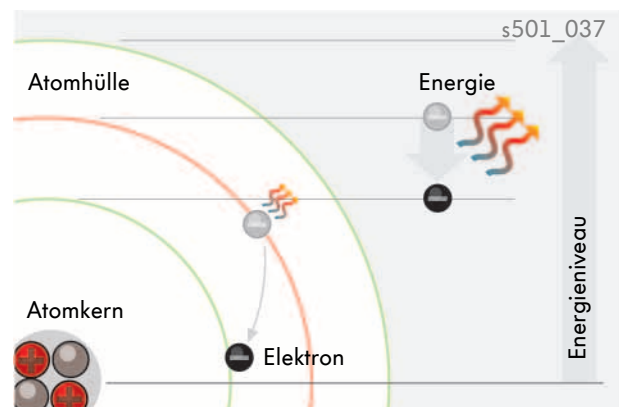
Dies kann dann mit Hilfe dafür geeigneter Sensoren gemessen werden.

Beispiel Elektron:

Wenn wir beim Schalenmodell des Atomaufbaus bleiben, verteilen sich die Elektronen eines Atoms auf bestimmten „stabilen“ Energieniveaus oder Schalen. Damit sind jene, man sagt dazu auch „erlaubte“ Energieniveaus, gemeint, auf denen nach Bohr die Elektronen umlaufen können, ohne in den Kern zu stürzen. Durch eine geeignete Energiezufuhr, kann man die Elektronen dazu anregen, auf ein höheres, „erlaubtes“ Energieniveau zu springen. Da dieser, als Quantensprung bezeichnete Vorgang das Elektron in einen energiereicheren und damit thermodynamisch ungünstigeren Zustand versetzt hat, versucht das angeregte Elektron, möglichst schnell die Energie durch Abgabe von elektromagnetischer Strahlung wieder „los zu werden“ und dadurch auf das niedrigere und damit stabilere Energieniveau zurückzukehren. Die abgegebene Strahlung kann man dabei mit geeigneten Sensoren qualitativ und quantitativ bestimmen und mit den gewonnenen Daten Rückschlüsse auf den zu messenden Gegenstand ziehen.



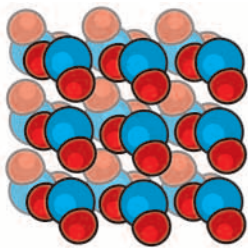
Durch Energiezufuhr wird das Elektron auf ein höheres Energieniveau angehoben (Quantensprung).



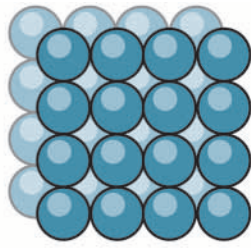
Um auf das niedrigere Energieniveau zurückzufallen, gibt das Elektron Energie ab.

Stoffgemische, Verbindungen, Elemente und Ionen

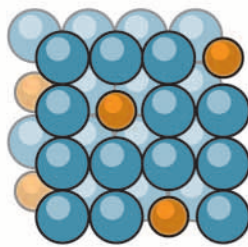
s501_038



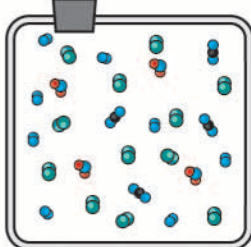
Wassermoleküle in einem Eiskristall



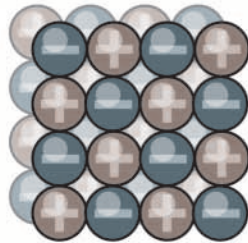
Atome in einem homogenen Kristallgitter



Gemisch von Metallatomen (Legierung)



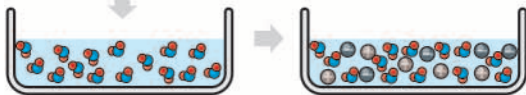
Gasgemisch



Salzkristall (Elektrolyt mit im Gitter gebundenen Anionen und Kationen)



Elektrolyt



Verschiedene Erscheinungsformen der Materie

Atome bzw. Elemente können auf unterschiedliche Art in Materie eingebunden sein. Ein Stück Materie kann homogen aus einer einzigen Sorte von Atomen aufgebaut sein, die unter Standardbedingungen (20°C, 1 bar) als Festkörper eine Gitterstruktur (z. B. Kohlenstoff) oder ein Gas (z. B. Helium) oder eine Flüssigkeit (z. B. Brom) bilden. Atome können mit anderen Atomen auch chemische Verbindungen eingehen. Diese Verbindungen werden Moleküle genannt. Es gibt Moleküle, die aus nur wenigen Atomen, wie z. B. Wasser (H_2O) oder auch aus sehr vielen Atomen (z. B. bei Eiweißmolekülen) aufgebaut sind.

Und schließlich kann ein Stück Materie auch heterogen, also aus einem Gemisch von Elementen, einem Gemisch von Elementen und Molekülen oder einem Gemisch verschiedener Moleküle bestehen. Wenn man Materie oder ihr Verhalten beschreiben will, ist es wichtig, diese drei Begriffe Element, Verbindung und Gemisch nicht zu verwechseln.

Verliert ein Atom oder Molekül ein oder mehrere Elektronen oder übernimmt diese aus anderen Atomen, so werden die dabei entstehenden elektrisch geladenen Teilchen Ionen genannt. Werden Elektronen hinzugewonnen, entsteht ein negativ geladenes Ion, ein Anion. Verliert das Atom oder Molekül Elektronen, so entsteht ein positiv geladenes Teilchen, das Kation. Viele Metallsalze (Elektrolyte) lassen sich z. B. durch Auflösen in Wasser in Kationen und Anionen zerlegen.



Was ist Magnetismus?

Magnetismus ist ein Teilgebiet der Elektrodynamik. Er beschreibt eine Kraftwirkung, die bei bewegten elektrischen Ladungen, stromdurchflossenen Leitern und zwischen magnetisierten oder magnetisierend wirkenden Objekten beobachtet werden kann. Der Magnetismus beruht auf magnetischen Eigenschaften von Elementarteilchen und bzw. oder der Bewegung von elektrischen Ladungen. Das Vorhandensein von Magnetismus äußert sich in einem Kraftfeld, dem Magnetfeld. Je nach Ausrichtung und Stärke können sich Magnetfelder gegenseitig verstärken, abschwächen oder auch ganz aufheben.

Ferromagnetismus & Co

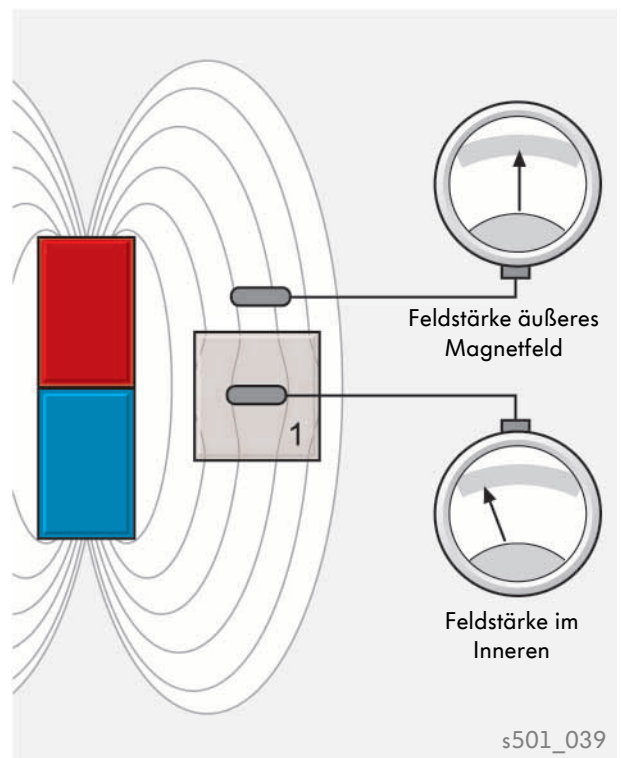
Bei Festkörpern treten fünf verschiedene Arten von Magnetismus auf:

- der Diamagnetismus
- der Paramagnetismus
- der Ferromagnetismus
- der Ferrimagnetismus
- der Antiferromagnetismus

An dieser Stelle wollen wir nur die ersten drei kurz erläutern, da magnetische Wechselwirkungen bei einigen Messverfahren in Sensoren eine Rolle spielen (z. B. Induktivegeber, Hallgeber).

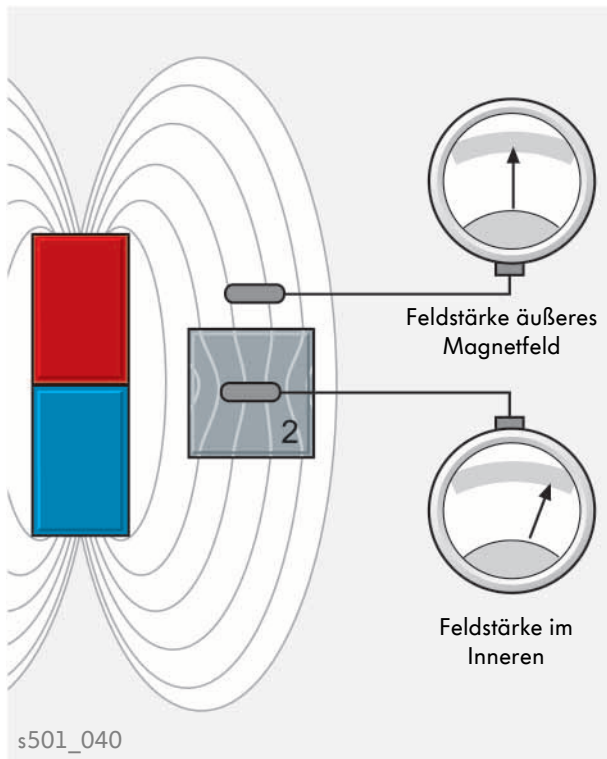
Diamagnetismus

Ein Stoff (Element, Molekül) wird als diamagnetisch bezeichnet, wenn er ein Magnetfeld, das ihn durchdringt, in seinem Inneren abschwächt. Dieser Effekt beruht darauf, dass das Magnetfeld in den Elektronenhüllen der Atome des Stoffes einen Strom induziert, der wiederum ein Magnetfeld hervorruft. Aufgrund der Lenzschen Regel ist dieses „innere“ Magnetfeld dem äußeren Magnetfeld entgegengerichtet. Daher nimmt die Stärke des äußeren Magnetfelds im inneren des Stoffes ab. Diamagnetismus tritt bei allen Stoffen (Atomen, Molekülen, Ionen) auf, die in ihren Hüllen keine einzelnen (ungepaarten) Elektronen besitzen.

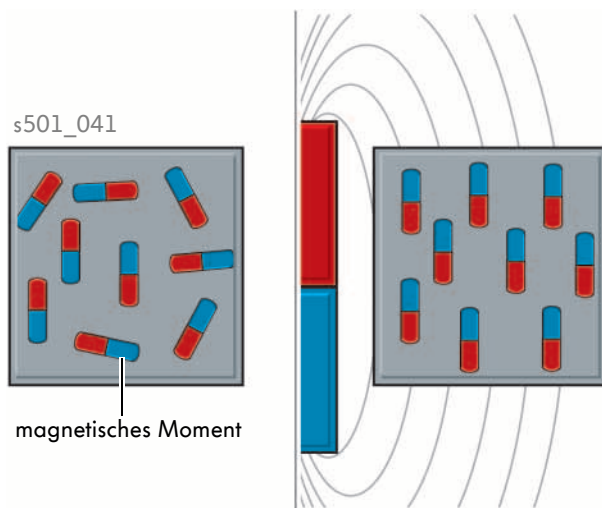


Diamagnetische Stoffe (1) schwächen ein äußeres Magnetfeld in ihrem Inneren ab.

Paramagnetismus



Paramagnetische Stoffe (2) verstärken ein äußeres Magnetfeld in ihrem Inneren.



Durch das äußere Magnetfeld richten sich die magnetischen Momente der Bestandteile des paramagnetischen Stoffes aus.

Ein Stoff wird als paramagnetisch bezeichnet, wenn er ein Magnetfeld, das ihn durchdringt in seinem Inneren verstärkt.

Dieser Effekt beruht darauf, dass die Bestandteile des Stoffes (Atome, Moleküle, ...) selbst ein magnetisches Moment besitzen. Es zeigt sich jedoch kein eigenes inneres Magnetfeld des Stoffes, da die magnetischen Momente der Bestandteile ohne ein äußeres Magnetfeld ungeordnet sind und sich gegenseitig statistisch aufheben.

Erst aufgrund eines äußeren Magnetfeldes richten sich die Bestandteile parallel zum äußeren Magnetfeld aus. Dadurch wird das äußere Magnetfeld im Inneren des Stoffes verstärkt. Wird das äußere Magnetfeld entfernt, bricht das innere Magnetfeld des paramagnetischen Stoffes wieder zusammen, da sich die Ausrichtung der Bestandteile wieder auflöst.

Da diese vorübergehende Ausrichtung der Bestandteile des Stoffes temperaturabhängig ist, nimmt der Paramagnetismus mit steigender Temperatur ab. Dies ist so, weil die Bestandteile (Atome, Moleküle, Ionen) mit steigender Temperatur stärker an ihren Gitterplätzen zu schwingen beginnen und sich damit nicht so leicht in einem Magnetfeld ausrichten lassen.

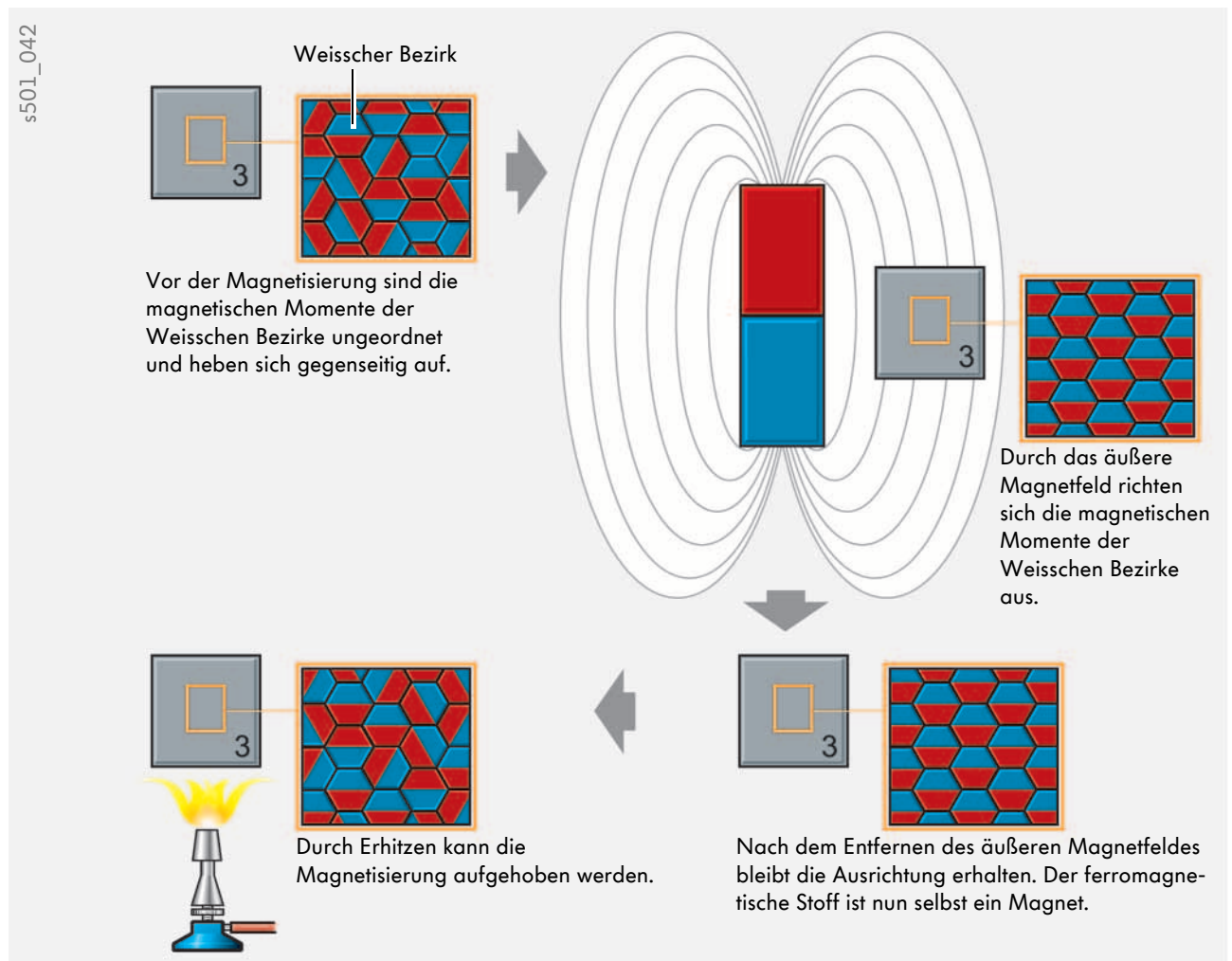


Was ist Magnetismus?

Ferromagnetismus

Ein Stoff wird ferromagnetisch genannt, wenn die magnetische Ausrichtung seiner Bestandteile nach dem Entfernen eines äußeren Magnetfeldes erhalten bleibt. Der Stoff ist also magnetisiert und zeigt die Eigenschaften eines Dauermagneten. Wie beim Paramagnetismus besitzen die einzelnen Teilchen des Stoffes ein eigenes magnetisches Moment. Bei ferromagnetischen Stoffen haben sich diese Teilchen und ihre magnetischen Momente aber bereits in kleinen Bereichen des Stoffes, die Weissche Bezirke genannt werden, parallel ausgerichtet.

In Summe heben sich die magnetischen Momente dieser Bezirke jedoch auf, so dass der Stoff zunächst nicht magnetisch erscheint. Wird nun ein äußeres Magnetfeld angelegt, richten sich die Weisschen Bezirke parallel zum äußeren Magnetfeld aus, so dass der Stoff nun seinerseits ein Magnetfeld besitzt. Dieses bleibt auch nach Entfernen des äußeren Magnetfeldes erhalten. Durch Erhitzen oder mechanische Stöße lässt sich der Stoff wieder entmagnetisieren.



Ferromagnetische Stoffe (3) behalten ihre magnetischen Eigenschaften auch nach Entfernen des äußeren Magnetfeldes.

Von Feldern und Feldstärken

Ein Magnetfeld kann durch magnetische bzw. magnetisierte Materialien, durch elektrische Ströme in elektrischen Leitern oder durch zeitliche Änderung eines elektrischen Feldes erzeugt werden. Durch feine Eisenspäne lassen sich magnetische Felder auf einer Oberfläche sichtbar machen. Die Eintritts- und Austrittsstellen eines Magnetfeldes aus einem magnetisierten Stoff werden Pole genannt und sind einander entgegengerichtet. Sie werden als Nord- und Südpol bezeichnet, je nachdem, wie ihre Ausrichtung bezogen auf das Erdmagnetfeld ist. Das bedeutet, gleichartig ausgerichtete Pole (Nord mit Nord, Süd mit Süd) stoßen sich ab und verschieden ausgerichtete Pole (Nord mit Süd) ziehen sich an.

Feldbegriff und Induktion

Das magnetische Feld eines Körpers ist der Bereich, in dem die magnetische Kraft wirkt. Mit zunehmendem Abstand von dem Objekt, welches das Magnetfeld hervorruft, nimmt seine Stärke bzw. seine Wirkung ab.

Die Stärke des Magnetfeldes wird durch zwei physikalische Größen beschrieben: die magnetische Feldstärke und die magnetische Flussdichte.

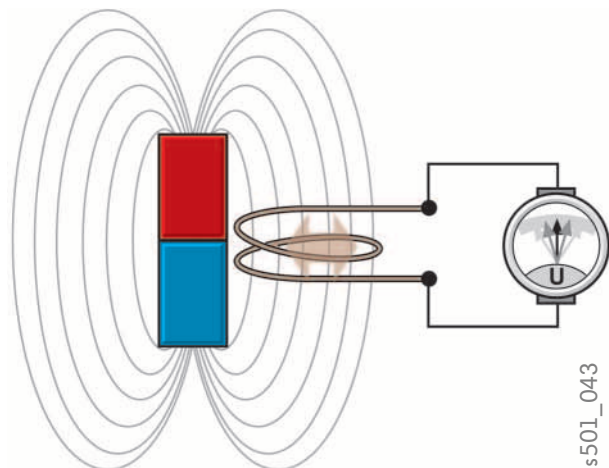
Da bewegte Ladungen ein eigenes Magnetfeld aufbauen, findet eine Wechselwirkung mit einem äußeren Magnetfeld statt, wodurch die bewegte Ladung eine Kraft erfährt.

Diese Kraft, die ein Magnetfeld auf bewegte elektrische Ladungen ausübt, wird Lorentzkraft genannt.

Sie wirkt senkrecht zur Ausrichtung der Feldlinien des Magnetfeldes und senkrecht zur Bewegungsrichtung der elektrischen Ladungen.

Wirkt die Lorentzkraft auf elektrische Ladungen in einem Leiter, so wird dadurch ein Strom im Leiter erzeugt. Dieser als Induktion bezeichnete Vorgang ist Grundlage für die Funktion von Generatoren.

Die Induktion wird auch bei verschiedenen Sensortechniken verwendet.



Wird ein elektrischer Leiter durch ein Magnetfeld bewegt, so wird durch die Lorentzkraft, die auf die freien Elektronen des Leiters wirkt, ein Strom induziert, so dass eine messbare elektrische Spannung entsteht.



Was sind elektromagnetische Wellen?

Nicht erst seit der Erfindung des Handys sind wir von elektromagnetischen Wellen oder Feldern umgeben.

Es sind nur ein paar mehr geworden.

Die physikalische Fachrichtung, die sich mit elektromagnetischen Wellen und elektromagnetischen Wechselwirkungen beschäftigt, ist die Elektrodynamik. Sie basiert weitgehend auf den Forschungen von James Clerk Maxwell im 19. Jhd. und wurde Mitte des 20. Jhd. mit der Quantenmechanik zur Quantenelektrodynamik vereinigt.

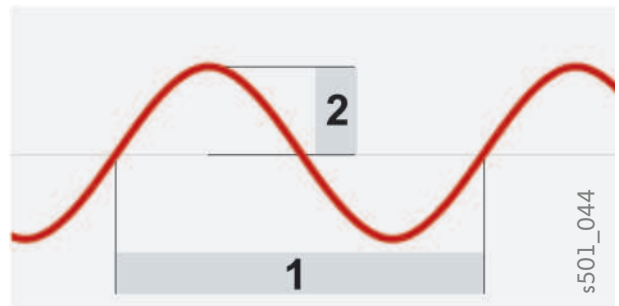
In der Elektrodynamik wird die Wechselwirkung von elektrischen und magnetischen Feldern untersucht und beschrieben. Sowohl elektrische Felder (z. B. in Kondensatoren oder Spulen) als auch magnetische Felder (z. B. um stromdurchflossenen Leitern und Spulen) sind ortsgebunden, das heißt, sie können nur an dem Objekt festgestellt werden und dort wirken, das sie hervorbringt, nicht aber unabhängig davon. Wechselwirken elektrische und magnetische Felder miteinander, so entsteht etwas, das sich mit einer Geschwindigkeit von ca. 300.000 km pro Sekunde (Lichtgeschwindigkeit) unabhängig vom erzeugenden Objekt im Raum ausbreitet.

Dies ist die elektromagnetische Strahlung, die sich wellenförmig ausbreitet.

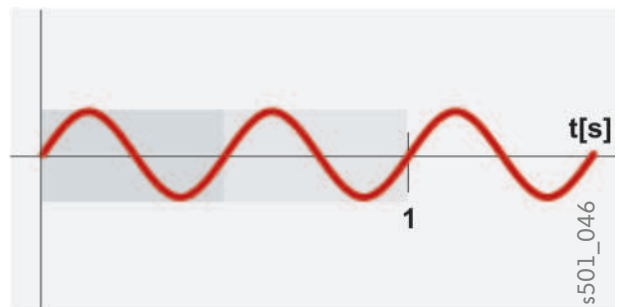
Eine Welle wird definiert durch die Höhe der Welle (Amplitude) und die Abfolge von Wellenbergen und Wellentälern (Wellenlänge). Betrachtet man die wiederkehrende Abfolge der Wellenlänge in einem Zeitintervall z. B. einer Sekunde, erhält man die Frequenz einer Welle.

Elektromagnetische Wellen treten in einem gigantischen Wellenlängenbereich auf.

Er reicht von sehr kurzen Wellen mit einer Länge von 10^{-15} m (0,000000000000001 m) bis zu sehr langen Wellen mit einer Wellenlänge von 10^7 m (10.000.000 m). Je kürzer die Wellenlänge und damit höher die Frequenz ist, desto höher ist die Energie der Welle. Je länger die Wellenlänge und damit niedriger die Frequenz ist, desto niedriger ist die Energie der Welle. Alles, was eine Wellenlänge von weniger als 200 nm (0,0000002 m) besitzt, ist für biologische Organismen schädigend.



Wellen werden über ihre Wellenlänge (1) und ihre Amplitude (2) definiert.

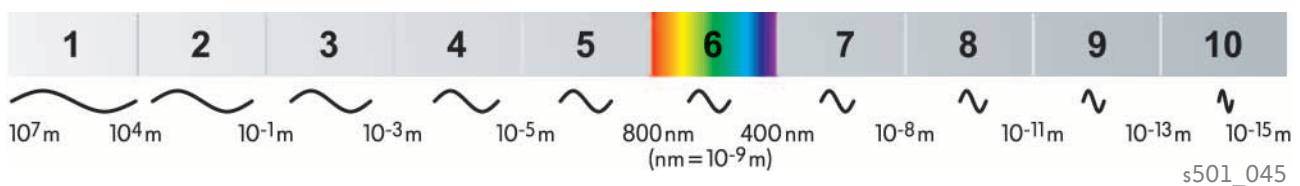


Die Frequenz ist die Anzahl von durchlaufenen Wellenlängen pro Sekunde und wird in Hertz angegeben. Die dargestellte Welle hat eine Frequenz von 2 Hertz, d. h. von 2 durchlaufenen Wellenlängen (Schwingungen) pro Sekunde.

Verschieden und doch so gleich: Wärme, Licht und Radar

Wärme und Licht können wir direkt über unsere Sinne empfinden. Radar ist ein elektronisches Ortungssystem, das Geschwindigkeit und den Abstand eines Objektes von der Radarquelle ermittelt und das wir über entsprechende technische Hilfsmittel (Radaranlage mit Monitor) sichtbar machen können. Obwohl Wärme und Licht für uns komplett unterschiedliche Wahrnehmungen sind, basieren beide als Übertragungsmedium auf elektromagnetischen Wellen. Auch Radar nutzt elektromagnetische Wellen, nur in einem so langen Wellenlängenbereich, der sich unseren „eingebauten“ Sinnen nicht erschließt. Wärme oder Infrarotstrahlung liegt in einem Wellenlängenbereich von 2,5 μm bis zu 1 mm.

An diesen Wellenlängenbereich schließt sich an dem kurzwelligen Ende der Bereich des sichtbaren Lichtes an, der von 380 nm bis zu 780 nm reicht. Radar liegt jenseits des langwelligen Bereiches der infraroten Strahlung in einem Wellenlängenbereich von 1 mm bis zu 10 m. Alles, was unter einer Wellenlänge von 380 nm liegt, können wir nicht mehr mit unseren Sinnen erfassen. Dies sind UV-, Röntgen- und Gammastrahlung, die jedoch so energiereich sind, dass sie u. a. biologische Systeme schädigen können. Und auch alles, was über einer Wellenlänge von 1 mm liegt, den Terahertz-, Microwellen-, Radiowellen- und Niederfrequenzbereich, können wir nicht direkt wahrnehmen.



s501_045

Wellenlängenbereiche im elektromagnetischen Spektrum

(nicht entsprechend der realen Anteile am Gesamtspektrum abgebildet):

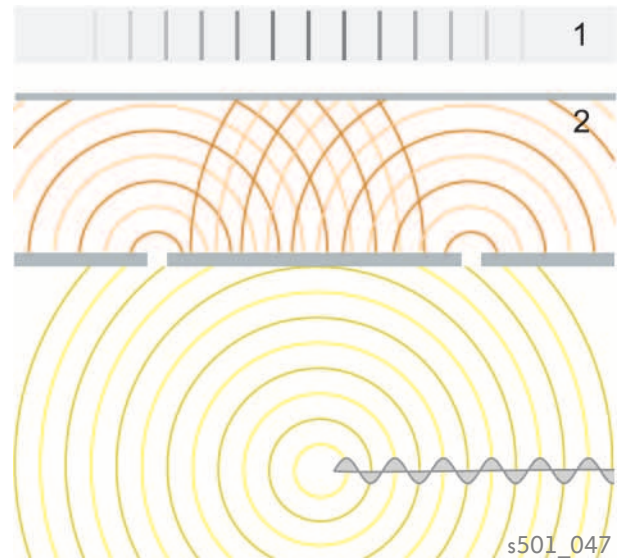
Niederfrequenz (1), Radiowellen (2), Mikrowellen (3), Terahertz (4), Infrarot (5), sichtbares Licht (6), Ultraviolett (7), Röntgenstrahlen (8), Gammastrahlen (9), Höhenstrahlen (10)

Was sind elektromagnetische Wellen?

Welle, Teilchen oder beides?

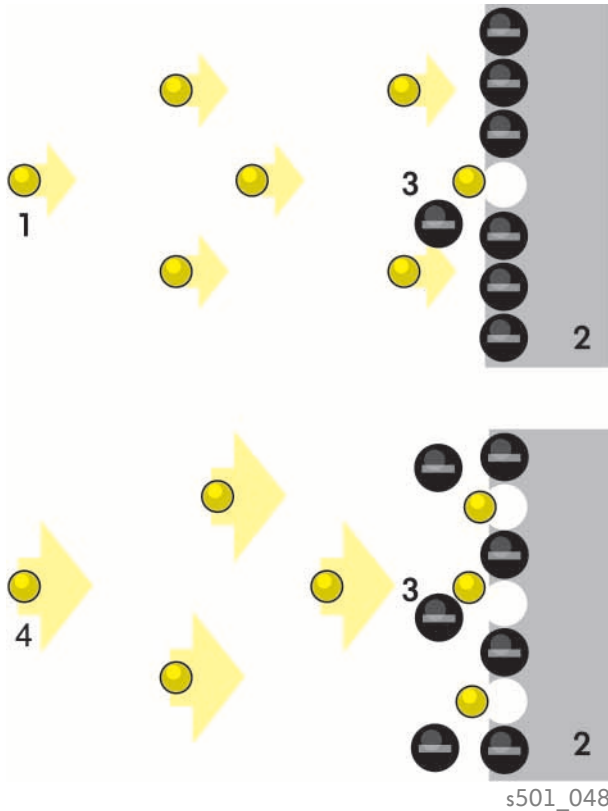
Lässt man das, was von einer elektromagnetischen Strahlungsquelle ausgesendet (emittiert) wird, durch einen engen Doppelspalt laufen, so bilden sich auf der, der Quelle abgewandten Seite, Interferenzmuster. Das sind Streifenmuster, wie sie für die Ausbreitung einer Welle typisch sind.

Dort, wo die elektromagnetische Strahlung auf einen Spalt trifft, breitet sich auf der anderen Seite des Spaltes eine neue Wellenfront kreisförmig vom Spalt aus, genau so, als wenn Sie einen Stein in einen Teich werfen. Da es sich in dieser Versuchsanordnung um einen Doppelspalt handelt, breiten sich von beiden Spalten ausgehend zwei Wellenfronten aus, die miteinander interferieren. Interferieren bedeutet: treffen zwei Wellentäler oder Wellenberge aufeinander, addieren sich deren Amplituden, verstärken sich also. Wo ein Wellenberg auf ein Wellental trifft, löschen sich beide gegenseitig aus. So entstehen analog zu den Wellen auf einem Teich die Streifenmuster auf einer Projektionsfläche, die senkrecht zur Ausbreitungsrichtung in die Versuchsanordnung gestellt wird.



Charakteristisches Streifenmuster (Interferenzmuster) (1) auf einer Projektionsfläche (2) im Doppelspaltversuch

Nachdem die Forscher diesen Versuch mit elektromagnetischer Strahlung viele Male erfolgreich durchgeführt hatten, entstand die Lehrmeinung, dass sich elektromagnetische Strahlung wie eine Welle verhält. Dagegen lässt sich ein Phänomen mit dem Namen „photoelektrischer Effekt“ mit dem Wellencharakter des Lichtes nicht zufriedenstellend erklären. Es handelt sich dabei um die Beobachtung, dass eine energiereiche elektromagnetische Strahlung (z. B. UV-Strahlung), die auf eine Metalloberfläche geleitet wird, dazu führt, dass Elektronen aus der Metalloberfläche herausgeschlagen werden. Die Menge der Elektronen, die herausgeschlagen werden, ist jedoch nicht von der Stärke (Amplitude) der Strahlung abhängig, wie man vermuten sollte, sondern von der Frequenz der Strahlung.



s501_048

Abhängigkeit des photoelektrischen Effektes von der Frequenz der elektromagnetischen Strahlung: Photonen mit niedriger Energie (1) können weniger erfolgreich Elektronen (3) aus der Metalloberfläche (2) schlagen, als Photonen mit hoher Energie (4)

Die Lösung des Problems wurde von Albert Einstein auf Basis der Strahlungstheorie von Max Planck geliefert.

Einstein definiert die elektromagnetische Strahlung (Licht) als eine Abfolge von Energiepaketen (Lichtquanten oder Photonen). Je höher die Frequenz der Strahlung ist, desto höher ist die Energie der Energiepakete.

Ein Photon mit hoher Energie, kann eher ein Elektron aus der Metalloberfläche herausschlagen als ein Photon mit geringer Energie. Deshalb bestimmt die Frequenz und nicht die Stärke der Strahlung die Anzahl der freigesetzten Elektronen. Damit war von Einstein, hier nur grob vereinfacht wiedergegeben, der photoelektrische Effekt erklärt und die elektromagnetische Strahlung hatte einen zweiten Charakter: sie kann, wie es Newton schon vor Einstein vermutete, als Teilchenstrom aufgefasst werden.



Aber welche der beiden Auffassungen ist richtig?

Ist Licht nun Welle oder Teilchen?

Antwort: Licht ist beides!

Welcher der Charaktere der elektromagnetischen Strahlung sich offenbart, hängt von der Versuchsanordnung ab. Das Licht „entscheidet“ erst in dem Moment, in dem man es mit geeigneten Mitteln untersucht, welchen Charakter es zeigt. Diese Auffassung widerspricht unserem „gesunden Menschenverstand“: etwas kann nicht gleichzeitig zwei verschiedene Erscheinungsformen besitzen. Man kann dem selben Stück Holz nicht gleichzeitig die Form einer Kugel und eines Würfels geben. In der quantenmechanischen Welt der Elementarteilchen hingegen ist diese Art von „Unbestimmtheit“ kein Widerspruch.

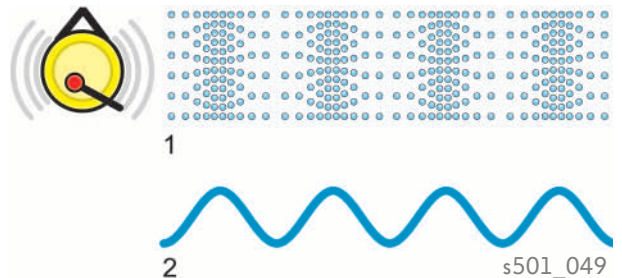
Was ist Schall?

Auch der Schall besitzt ähnlich wie das Licht einen Wellencharakter.

Eine Schallwelle ist eine Abfolge von Druck- und Dichteschwankungen in dem umgebenden Medium, durch das sich der Schall fortsetzt. Dieser Charakter wird besonders deutlich, wenn man sehr tiefe Töne wahrnimmt, die man dann nicht nur hört, sondern mit dem Körper spürt.

Damit ein Medium Schall leiten kann, muss es über entsprechende elastische Eigenschaften wie z. B. ein Gas oder eine Flüssigkeit verfügen, ansonsten ließe sich das betreffende Medium besser als Schallisolierung verwenden.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall ist nicht wie die Lichtgeschwindigkeit konstant. Sie ist u. a. abhängig von den Eigenschaften des elastischen Mediums, in dem sich der Schall bewegt.



Die Druck- und Dichteschwankungen zwischen den Molekülen des elastischen Mediums (1) lassen sich als Schallwelle (2) darstellen.

Je dichter und kälter das elastische Medium ist, desto besser überträgt es den Schall. Je weniger dicht und heißer das Medium ist, desto schlechter überträgt es den Schall. Deshalb breiten sich Schallwellen im Meer weiter und schneller aus, als in der Luft. Das heißt, je größer die Eigenbewegung der Bestandteile (z. B. bei Gasmolekülen) des Mediums ist, desto stärker werden Schallwellen „abgebremst“.

Im Vakuum, das heißt bei Abwesenheit eines Mediums, kann sich Schall nicht ausbreiten.

Das bedeutet, so gewaltig die Explosion einer Supernova auch ist, als Beobachter im luftleeren All kann man sie nur sehen. Mit den Ohren hören kann man sie dort nicht.

In der Erdatmosphäre bei 1 bar Druck und einer Temperatur von 20°C breitet sich Schall mit ca. 343 Metern pro Sekunde aus.

Für den Menschen liegt der Frequenzbereich des hörbaren Schalls je nach Alter des Menschen und Zustand seines Gehörs zwischen ca. 16 Hz und 20 kHz.

Infraschall sind Schallwellen mit einer geringeren Frequenz als unser Hörbereich, Ultraschall sind Schallwellen mit einer entsprechend höheren Frequenz.

Was bedeuten U, I, R und C?

Bei den Beschreibungen der Sensortechnologie und deren zugrunde liegender Messverfahren werden einige Begriffe aus der Elektrizitätslehre immer wieder auftauchen. Diese sollen im Folgende kurz beschrieben werden.

Das Dreigestirn Spannung, Strom und Widerstand

Spannung (U), Stromstärke (I) und elektrischer Widerstand (R) sind über das Ohmsche Gesetz miteinander verknüpft. Dieses Gesetz besagt, dass der elektrische Widerstand der Spannung proportional und der Stromstärke umgekehrt proportional ist.

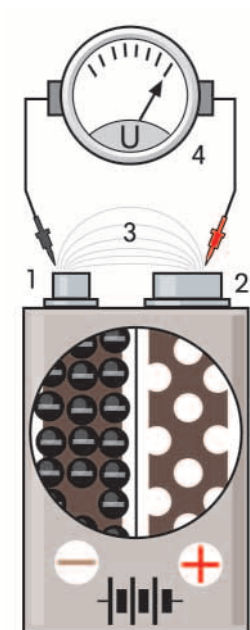
Was verbirgt sich aber hinter den Begriffen?

Elektrische Spannung

Sie wird auch als Potentialdifferenz bezeichnet. Eine Spannungsquelle, wie z. B. eine Batterie besitzt einen Minuspol (Anode) und einen Pluspol (Kathode).

Ist die Batterie noch nicht verbraucht, so besteht zwischen beiden Polen eine Potentialdifferenz. Das bedeutet, an der Anode liegt ein negatives elektrisches Potenzial an; bildlich ausgedrückt: ein „Elektronenüberschuss wartet darauf“, in einem elektrischen Verbraucher Arbeit zu verrichten. An der Kathode besteht demgegenüber ein positives elektrisches Potenzial, also wird dort „auf Elektronen gewartet“.

Je größer der Unterschied der beiden elektrischen Potenziale ist, desto höher ist die Spannung, welche die Batterie liefert. Zwischen den beiden Polen der Batterie besteht aufgrund der Potentialdifferenz ein elektrisches Feld.



Aufgrund der Potentialdifferenz zwischen Anode (1) und Kathode (2), besteht zwischen beiden Polen ein elektrisches Feld (3). Die Spannung U (4) der Batterie kann zwischen den beiden Polen mit einem Voltmeter gemessen werden.

s501_050

Der Wert der Spannung gibt dabei an, welche Arbeit oder Energie notwendig ist, um einen Ladungsträger (z. B. ein Elektron in einem elektrischen Leiter) innerhalb dieses Feldes zu bewegen. Man kann also Spannung auch als den Energiegehalt oder das Arbeitsvermögen einer elektrischen Ladung verstehen, die diese in einem Verbraucher abzugeben bzw. zu verrichten vermag.

Die elektrische Einheit der Spannung ist Volt. Die international gebräuchliche Abkürzung für Spannung ist „U“.



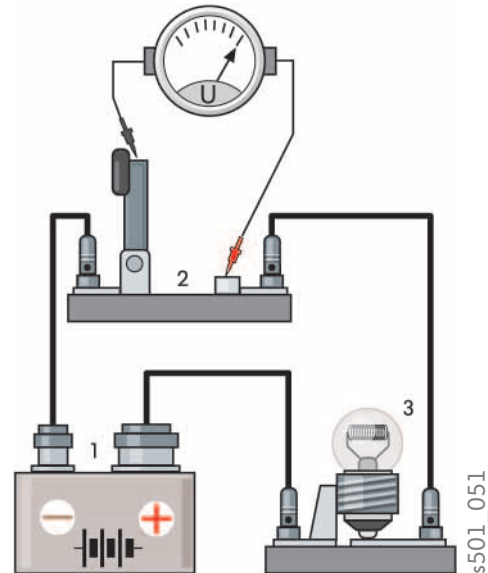
Was bedeuten U, I, R und C?

Strom und Stromstärke

Werden die beiden Pole einer Batterie durch einen elektrischen Leiter verbunden (kurzgeschlossen), beginnen die elektrischen Ladungsträger, die Elektronen durch die Kraftwirkung des elektrischen Feldes, das aufgrund der Spannung besteht, von der Anode durch den Leiter zur Kathode zu fließen. In der Regel wird eine Batterie jedoch nicht einfach kurzgeschlossen, sondern die elektrische Energie, die in einer Batterie gespeichert ist, wird dazu genutzt, um in einem elektrischen Verbraucher, wie einem Elektromotor oder einer Glühlampe, eine Arbeit zu verrichten, die der Spannung äquivalent ist.

Schauen wir uns dazu das Beispiel Glühlampe genauer an:

An die Batterie wird mit Hilfe von elektrischen Leitungen ein Schalter und eine Glühlampe angeschlossen. Solange der Schalter nicht geschlossen wird, fließt kein Strom, es kann aber die Spannung des Stromkreises z. B. an den beiden Kontakten des Schalters gemessen werden.



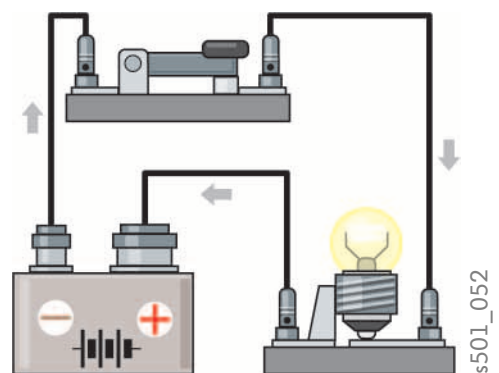
Versuchsaufbau mit Batterie (1), Schalter (2) und Glühlampe (3) als elektrischen Verbraucher bei geöffnetem Schalter

Wird der Schalter geschlossen, fließen die Elektronen aufgrund der Spannung und des damit verbundenen elektrischen Feldes von der Batterie durch den Schalter zu der Glühlampe und von dort zur Batterie zurück. Die Batterie arbeitet also bildlich ausgedrückt als „Elektronenpumpe“.

Die Stärke des Stromes, d. h. die Menge an Elektronen (Ladungsträgern), die sich pro Zeiteinheit auf den Weg zum Verbraucher machen, wird in Ampere gemessen.

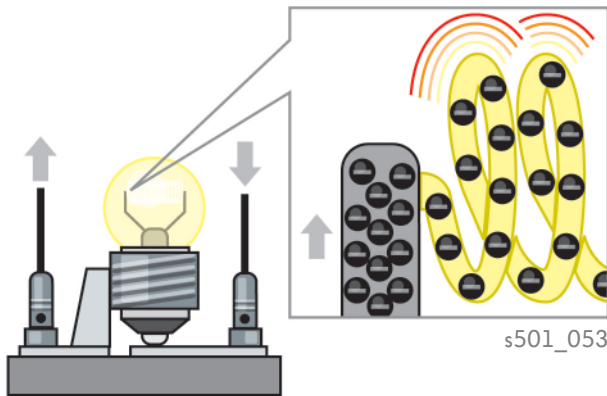
Je größer die Zahl der Elektronen pro Zeiteinheit ist, desto mehr elektrische Energie wird übertragen und desto mehr Arbeit kann von dem Verbraucher der Energie verrichtet werden.

Die international gebräuchliche Abkürzung für die Stromstärke ist „I“.



Bei geschlossenem Schalter fließt ein elektrischer Strom durch den Stromkreis.

Wie groß die Stromstärke wird, hängt von der Spannung und den Eigenschaften der verwendeten elektrischen Leitungen ab. Je größer der Leitungsquerschnitt und je höher die Leitfähigkeit des Leiters ist, desto größer kann die Stromstärke bei vorgegebener Spannung werden.



Aufgrund des hohen elektrischen Widerstandes des Glühwendels beginnt die Glühlampe zu leuchten.

Was bedeutet dies für unsere Glühlampe?

Die Elektronen setzen sich zur Glühlampe in Bewegung, nachdem der Schalter geschlossen worden ist und der elektrische Strom fließt. In der Glühlampe befindet sich ein sehr dünner Draht (Glühwendel), der einen sehr viel höheren elektrischen Widerstand besitzt, als die übrigen Leitungen, welche die Bauteile miteinander verbinden.

Höherer Widerstand bedeutet grob vereinfacht ausgedrückt, es passen weniger Elektronen gleichzeitig durch den Leiter. Das führt dazu, dass sich der Draht in der Glühlampe erhitzt, wenn die Elektronen durch ihn „hindurchgepumpt“ werden. Diese thermische Energie gibt der dünne Draht in Form von elektromagnetischer Strahlung (Licht und Wärme) wieder ab. Die Glühlampe leuchtet.

Die Elektronen verrichten also vereinfacht ausgedrückt in dem Draht der Glühlampe Arbeit, um ihn zu passieren und verlieren dabei an Energie, bevor sie zur Kathode der Batterie zurückkehren.



Was bedeuten U, I, R und C?

Elektrischer Widerstand

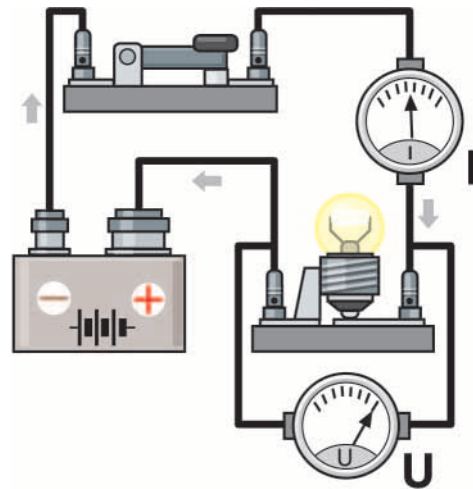
Der elektrische Widerstand stellt mathematisch eine Beziehung zwischen Spannung und Stromstärke her. Erkannt und in eine mathematische Formel gefasst wurde dies durch Georg Simon Ohm. Nach ihm ist die Einheit des elektrischen Widerstandes benannt. Physikalisch ist der Widerstand ein Maß dafür, welche Spannung erforderlich ist, um eine bestimmte Stromstärke in einem elektrischen Leiter zu erreichen.

Hervorgerufen wird der elektrische Widerstand durch die elektrischen Eigenschaften des Leiters, durch den die Ladungen (z. B. Elektronen) fließen. Abhängig ist der Wert des Widerstandes von der Temperatur, von dem Leitungsquerschnitt (d. h. dem Durchmesser des Leiters) und einer Stoffeigenschaft mit dem Namen „spezifischer Widerstand“. Dieser kann als Kehrwert der Leitfähigkeit, einer weiteren Stoffeigenschaft, aufgefasst werden.

Die Leitfähigkeit gibt die Bereitschaft eines Stoffes an, einen Ladungstransport durch seine Elektronen „zuzulassen“.

Sind zum Beispiel, wie in einem Metall die Elektronen in dem Stoff von sich aus schon delokalisiert, also nicht an einzelne Atomkerne gebunden, sondern über das gesamte Metallgitter „verteilt“, so kann ein elektrischer Strom leicht durch den Stoff laufen, weil es viele „freie“ Elektronen gibt, die von dem elektrischen Feld, das durch die Spannung aufgebaut wird, im Leiter beschleunigt werden.

Er besitzt eine hohe Leitfähigkeit und, da Kehrwert, einen geringen spezifischen Widerstand. Aufgrund seiner Temperaturabhängigkeit eignet sich der Widerstand als Messgröße für die Temperaturmessung.



$$R [\Omega] = \frac{\text{U} [\text{V}]}{\text{I} [\text{A}]}$$

s501_054

Über die Messung von Stromstärke (I) und Spannung (U) lässt sich der elektrische Widerstand (R) eines elektrischen Bauteiles berechnen. Sind andererseits z. B. der Widerstand und die Spannung bekannt, kann daraus die Stromstärke abgeleitet werden.

Sind die Elektronen jedoch fest in Form von chemischen (kovalenten) Bindungen an die beteiligten Atome gebunden, so geben sie ihre Elektronen nur äußerst ungern für einen Ladungstransport her. Diese Stoffe besitzen daher eine geringe Leitfähigkeit bzw. einen hohen spezifischen Widerstand. Sie werden wenig bzw. nicht leitende Stoffe oder Isolatoren genannt, wenn ihre Leitfähigkeit im Verhältnis zur Umgebung sehr, sehr klein ist. Dies bedeutet nicht, dass diese Stoffe überhaupt keine Ladungen transportieren können, man muss nur ziemlich viel Energie in Form von z. B. Wärme in sie hineinpumpen, um sie in einen Zustand zu überführen, der elektrisch leitend ist (ionisiertes Plasma). Bei vielen Stoffen ist dieser Energiewert (Ionisierungstemperatur, Sprungtemperatur) relativ leicht zu erreichen, wie z. B. bei der Ionisation eines unter Standardbedingungen nichtleitenden Gases in einem Leuchtmittel.

Die Leitfähigkeit und damit auch der elektrische Widerstand eines Stoffes ist temperaturabhängig. Dies ist bei Metallen leicht bildlich zu veranschaulichen: Mit zunehmender Temperatur beginnen die Atome immer stärker auf ihren Gitterplätzen zu schwingen und auch die Elektronen stoßen immer häufiger gegeneinander. Diese Bewegungen bremsen in Summe den Ladungstransport durch den Leiter immer stärker ab. Der Widerstand steigt.

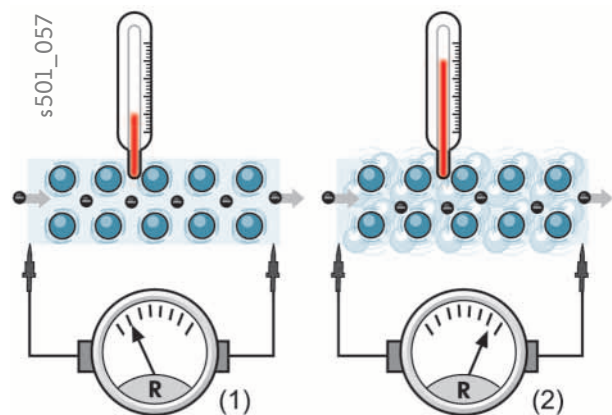
Mit abnehmender Temperatur sinkt der Widerstand von Metallen und Halbleitern, da mit sinkender Temperatur die Bewegung der Atome im Gitter immer weiter abnimmt.

Ab einem bestimmten Schwellwert kann der Ladungstransport dann praktisch ohne Verlust von elektrischer Energie vollzogen werden.

Man spricht in diesem Moment von Supraleitung. Dies geschieht allerdings in der Regel erst bei sehr tiefen Temperaturen, die dicht am absoluten Nullpunkt (0K; -273,15 °C) liegen.

Nicht-Metalle verhalten sich in ihrem elektrischen Widerstand bzw. ihrer Leitfähigkeit etwas anders, bzw. genau umgekehrt wie Metalle.

Die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes wird zum Beispiel in Temperatursensoren genutzt. Er kann aufgrund des Ohmschen Gesetzes aber auch zur Bestimmung von Spannung oder Stromstärke verwendet werden.



Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes: Eine geringe Bewegung der Metallatome auf ihren Gitterplätzen führt zu einem geringen elektrischen Widerstand (1). Steigt mit der Temperatur die Bewegung der Metallatome, steigt auch der Widerstand (2)



Was bedeuten U, I, R und C?

Kapazität und Dielektrikum

Die Kapazität ist ein Maß für das Vermögen eines Kondensators, elektrische Ladung zu speichern.

Die Einheit der Kapazität ist Farad, die international gebräuchliche Abkürzung ist „C“. Die Kapazität ist proportional zur Ladungsmenge und umgekehrt proportional zur Spannung, die am Kondensator angelegt wird.

Die einfachste Form eines solchen Ladungsspeichers ist der elektrische Plattenkondensator.

Ein Plattenkondensator ist so aufgebaut, dass zwei leitende Platten sich gegenüberliegend angeordnet werden. Die Ladungsspeicherung funktioniert zwar auch ohne einen zusätzlichen Stoff, der zwischen die Platten gebracht wird und Dielektrikum genannt wird. Man kann jedoch durch eine geeignete Stoffauswahl für das Dielektrikum die Speicherfähigkeit des Kondensators erhöhen bzw. verändern.

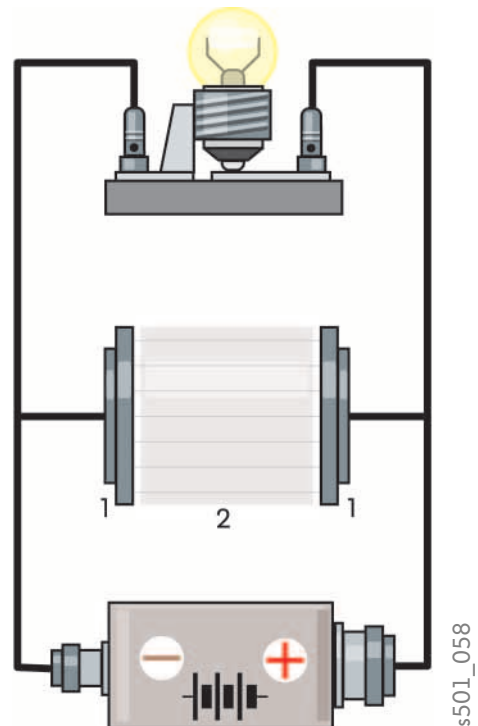
Das Dielektrikum eines Kondensators besteht aus einer nur schwach leitenden oder nicht leitenden nichtmetallischen Substanz. Neben den Eigenschaften des Dielektrikums ist die Kapazität des Kondensators auch abhängig von der Fläche der Kondensatorplatten und von dem Abstand zwischen den Kondensatorplatten.

Werden die beiden Platten in einem Stromkreis angeschlossen, so lädt sich der Kondensator auf.

Das bedeutet, es baut sich zwischen den

Kondensatorplatten ein elektrisches Feld auf. Durch den Kondensator fließt kein elektrischer Strom, in der Form, dass er von Ladungsträgern (Elektronen) durchquert wird. Hinter dem Kondensator setzt jedoch der Stromfluss wieder ein, um z. B. eine Glühlampe zum Leuchten zu bringen. Dieses Phänomen beruht auf einer physikalischen Eigenschaft, die als elektrischer Fluss bezeichnet wird. Der elektrische Fluss entsteht durch die Änderung des elektrischen Feldes beim Aufladen des Kondensators.

Wird die Spannungsquelle entfernt, führt die Energie, die in dem „geladenen“ Kondensator gespeichert ist dazu, dass der Strom noch weiter fließt und die Glühlampe solange nachleuchtet, bis der Kondensator komplett entladen ist. In der Sensorik werden zum Beispiel Drücke oder die Luftfeuchtigkeit mit Hilfe spezieller kapazitiver Sensoren gemessen.



Vereinfachte Darstellung zum Aufbau eines Plattenkondensators: Zwischen zwei Kondensatorplatten (1) wird bei geschlossenem Stromkreis elektrische Energie in einem elektrischen Feld gespeichert. Mit Hilfe eines Dielektrikums (2) zwischen den Kondensatorplatten kann die Speicherfähigkeit des Kondensators beeinflusst werden.

s501_058

André-Marie Ampère

10.01.1775 - 10.06.1836

französischer Physiker und Mathematiker

Namensgeber für die physikalische Einheit des elektrischen Stroms: Ampere.

Anaximenes von Milet

ca. 585 v. Chr. - ca 526 v. Chr.

griechischer Naturphilosoph

Niels Bohr

07.10.1885 - 18.11.1962

dänischer Physiker

1913 Entwicklung des Bohrschen Atommodells auf Basis der Arbeiten von Planck und Einstein

1922 Nobelpreis für Physik

1922 Erklärung des Aufbaus des Periodensystems anhand des erweiterten Atommodells von Sommerfeld

Charles August Coulomb

14.06.1736 - 23.08.1806

französischer Physiker

Begründer der Elektrostatik und Magnetostatik

Demokrit

ca. 460 v. Chr. - ca. 370 v. Chr.

griechischer Naturphilosoph

Empedokles

5. Jhd. v. Chr.

griechischer Naturphilosoph, Arzt, Politiker, Priester und Dichter

Albert Einstein

04.03.1879 - 18.04.1955

deutscher, später US-amerikanischer Physiker

1905 Publikation der Speziellen Relativitätstheorie

1916 Publikation der Allgemeinen Relativitätstheorie

1921 Nobelpreis für Physik

1932 Emigration in die USA (Princeton)

Seine Suche nach einer einheitlichen Feldtheorie blieb bis zu seinem Tode erfolglos.

Michael Faraday

22.09.1791 - 25.08.1867

englischer Naturforscher, Chemiker und Experimentalphysiker

Faraday entdeckte und beschrieb als erster die elektromagnetische Induktion.

Namensgeber für die physikalische Einheit der Kapazität von Kondensatoren: Farad



Richard Phillip Feynman

11.05.1918 - 15.02.1988

US-amerikanischer Physiker

1965 Nobelpreis für Physik für seine Arbeiten zur Quantenelektrodynamik

Werner Heisenberg

05.12.1901 - 01.02.1976

deutscher Physiker

1927 Formulierung der Heisenbergschen Unschärferelation

1930 Veröffentlichung der Schrift „Physikalische Prinzipien der Quantentheorie“

1932 Nobelpreis für Physik

Hermann Ludwig Helmholtz

31.08.1821 - 08.09.1894

deutscher Physiologe und Physiker

1847 Veröffentlichung des Buches „Über die Erhaltung der Kraft“

1867 Veröffentlichung eines Handbuchs der physiologischen Optik

Heraklit von Ephesos

ca. 520 v. Chr. - ca. 460 v. Chr.

griechischer Naturphilosoph aus Ephesos

Heinrich Rudolf Hertz

22.02.1857 - 01.01.1894

deutscher Physiker

1886 Entdeckung des photoelektrischen Effektes

Hertz Forschungen lieferten die Grundlage zur Entwicklung der drahtlosen Übermittlung von Informationen (Telegrafie, Radio). Namensgeber für die physikalische Einheit der Frequenz: Hertz

Heinrich Lenz

12.02.1804 - 10.02.1865

deutsch-baltischer Physiker

Lenz forschte im Bereich der elektrischen Erscheinungen, wie Induktion und Widerstand.

Leukip

5. Jhd. v. Chr.

griechischer Naturphilosoph

James Clerk Maxwell

13.06.1831 - 05.11.1879

schottischer Physiker

1860 Formulierung der kinetischen Gastheorie

1864 Veröffentlichung der Maxwell-Gleichungen zu Elektrizität und Magnetismus

Vorhersage des Wertes der Lichtgeschwindigkeit



Isaac Newton

20.03.1643 - 31.03.1727

englischer Mathematiker, Naturforscher und Alchemist; Leiter der königlichen Münze in London

1687 Veröffentlichung der „Philosophia Naturalis Principia Mathematica“,
in der Newton seine Gesetze der Mechanik definiert

1704 Veröffentlichung der „Opticks“, in der seine Forschungen auf dem Gebiet der Optik zusammengefasst wurden

Namensgeber der physikalischen Einheit der Kraft: Newton

Newton vermutete schon vor Einstein den Teilchencharakter des Lichtes.

Georg Simon Ohm

16.03.1789 - 06.07. 1854

deutscher Physiker

1826 Definition des Ohmschen Gesetzes

Namensgeber der physikalischen Einheit des elektrischen Widerstandes: Ohm

Max Planck

23.04.1858 - 04.10.1947

deutscher Physiker

1899 Einführung des Planckschen Wirkungsquantums

1918 Nobelpreis für Physik

1929 Veröffentlichung „Das Weltbild der neuen Physik“

Leiter und spätere Ehrenpräsident des Kaiser-Wilhelm-Institutes zur Förderung der Wissenschaft (später umbenannt in Max-Planck-Institut), Mitbegründer der Quantenmechanik

Ernest Rutherford

30.08.1871 - 19.10.1937

neuseeländischer Physiker

1902 Hypothese des radioaktiven Zerfalls von Elementen

1908 Nobelpreis für Chemie

1911 Ableitung des Rutherford'schen Atommodells

1918 Entdeckung des Protons

Leonard Susskind

1940 - US-amerikanischer Physiker

Mitbegründer der String-Theorie

Thales von Milet

ca. 624 v. Chr. - 546 v. Chr.

griechischer Mathematiker aus Milet, Naturphilosoph, Astronom, Politiker und Ingenieur

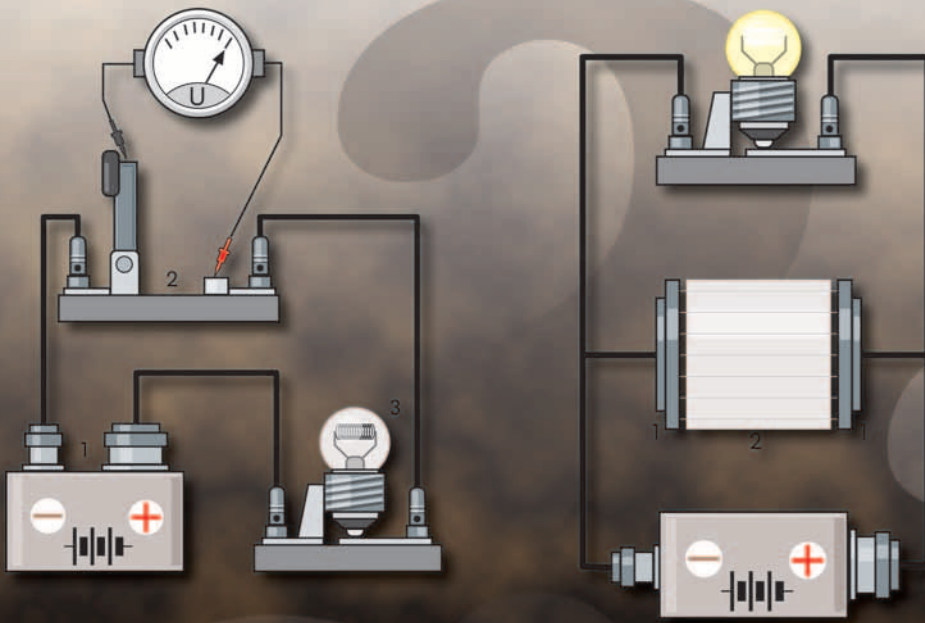
Allesandro Guiseppe Antonio Graf von Volta

18.02.1745 - 03.03.1827

italienischer Physiker

Namensgeber für die physikalische Einheit der elektrischen Spannung: Volt





© VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg
Alle Rechte sowie technische Änderungen vorbehalten.
000.2812.58.00 Technischer Stand 12/2010

Volkswagen AG
After Sales Qualifizierung
Service Training VSQ-1
Brieffach 1995
D-38436 Wolfsburg

♻️ Dieses Papier wurde aus chlorfrei gebleichtem Zellstoff hergestellt.