

## Überblick: Was ist Energie?

### 1 Kurzübersicht und Tafelbild

In diesem Modul werden alle teilnehmenden Schülerinnen und Schüler dazu befragt, was sie sich unter Energie und Energieformen vorstellen. Welche Energieformen oder Energieträger gibt es? Seit wann nutzen Menschen Energie? Wie würden wir ohne Energie leben?

Dabei werden die einzelnen Energieformen (Strahlungsenergie, mechanische Energie, elektrische Energie und Innere Energie) an die Tafel geschrieben. Mechanische Energie wird in zwei Unterformen geteilt: Bewegungsenergie (kinetische Energie) und potenzielle Energie. Die Innere Energie erhält im Tafelbild ebenfalls drei Unterformen: Chemische Energie, Kernenergie, Wärmeenergie.

Nun erhalten alle Schülerinnen und Schüler je ein laminiertes Foto und können diese der Reihe nach mit Magneten den jeweiligen Energieformen zuordnen. Die Schülerinnen und Schüler erklären dabei, was auf diesem Bild abgedruckt ist und warum sie es in dieser Kategorie zuordnen. Da die verschiedenen Energieträger oft mehreren Energieformen zugeordnet werden können, gibt es keine falschen Antworten. Allerdings kann die Einordnung in der Klasse diskutiert und gegebenenfalls abgeändert werden.

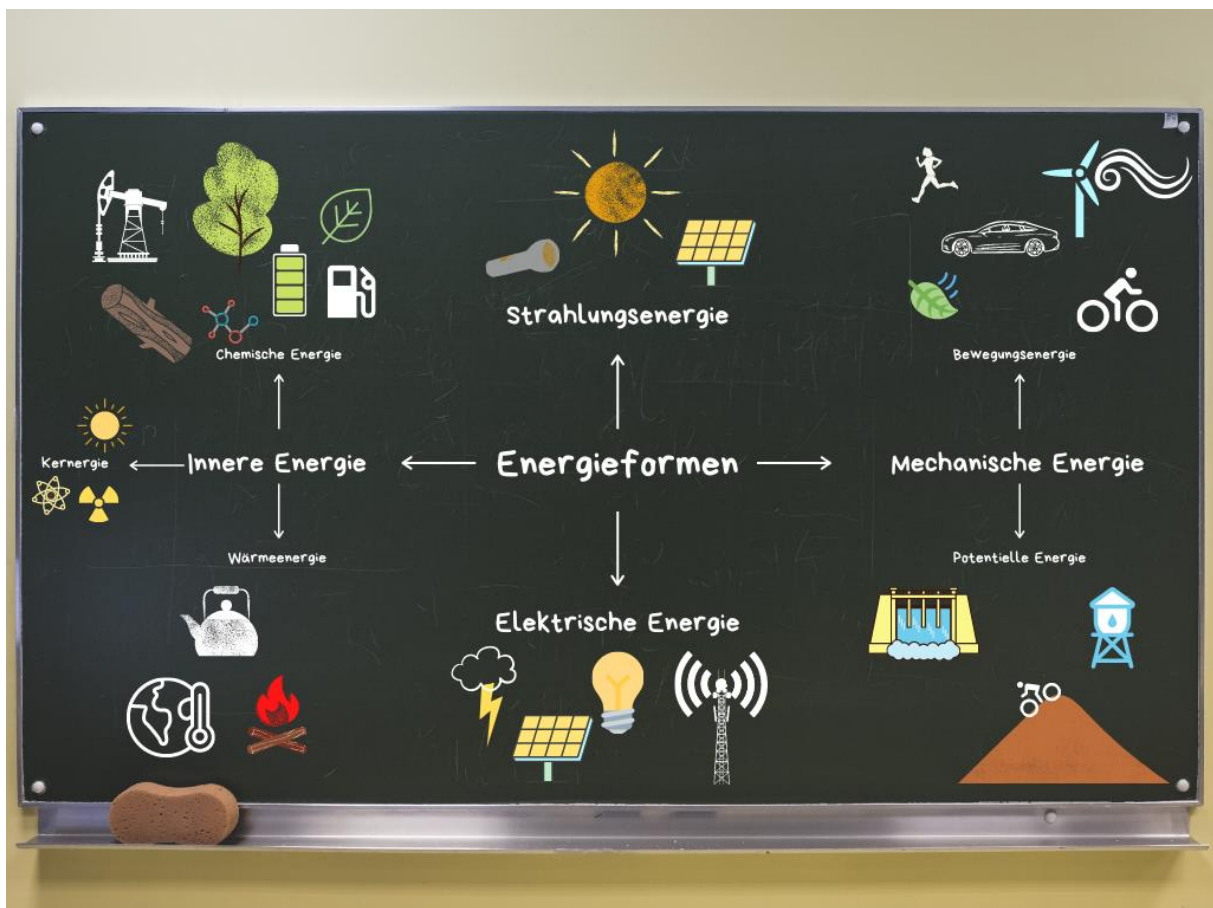


Abbildung 1 Tafelbild Energieformen

Gemeinsam entsteht so an der Tafel eine Strukturskizze über verschiedene Energieformen und Energieträger (vgl. Abb. 1), anhand derer im weiteren Verlauf deren Herkunft, die Umwandlung, die globale Verfügbarkeit und deren typische Einheiten geklärt werden können. Ebenfalls können die Schülerinnen und Schüler für sich einordnen, welche Energieformen sie selbst im täglichen Gebrauch nutzen.

## 2 Energieformen

Nach der Erstellung des Grundschemas mit den einzelnen Energieformen Strahlungsenergie, elektrische Energie, mechanische Energie mit den Unterformen Bewegungsenergie und potenzielle Energie sowie der inneren Energie mit den Unterformen chemische-, Wärme- und Kernenergie beginnen wir mit der Definition und Einordnung der einzelnen Energieträger. Dazu stehen laminierte Bilder zur Verfügung, die an die Schülerinnen und Schüler ausgeteilt werden. Sie können ihr Bild dann nach ihrer Einschätzung den einzelnen Energieformen zuordnen und es können durch die Lehrperson weiterführende Informationen darüber vermittelt werden.

Die Einordnung und das Tafelbild werden fächerübergreifend sein, da sie Aspekte aus der Physik, der Chemie, der Biologie und der Geographie enthalten. Für höhere Klassenstufen kann die Erklärung, um welche Energieform es sich bei dem ausgeteilten Bild handelt, durch die Schülerinnen und Schüler erfolgen. Ebenfalls ist eine Unterbringung der wesentlichen Informationen auf der Rückseite der Bildquellen möglich.

Im weiteren Verlauf wird im Plenum besprochen, wie sich Energie künstlich oder durch natürliche Prozesse umwandeln lässt. Hierbei soll verdeutlicht werden, dass bei jeder Umwandlung „Verluste“ in nicht nutzbare Energieformen entstehen. Im Anschluss daran wird zusammengetragen, wie Schülerinnen und Schüler ihre eigene Situation empfinden. Wie wird zuhause, in der Schule und in ihrem Umfeld Energie genutzt? Es wird eine bedeutende Überleitung zum Thema Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) geschaffen, da die meisten unserer Technologien darauf basieren, die in fossilen Brennstoffen gespeicherte Energie freizusetzen. Auch bei natürlichen Prozessen (Vulkanausbrüchen, Waldbränden und biologischen Zersetzungsprozessen) wird CO<sub>2</sub> ausgestoßen. Kombiniert erzeugt dies einen allmählichen Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in unserer Atmosphäre.

### 2.1. Bildquellen: Abbildungen zu Energie

Hier folgt eine Auswahl an Bildquellen, die zum Drucken und Laminieren geeignet sind. Grundsätzlich können jedoch alle Materialien in Bezug auf Energie verwendet werden.

Downloadlink
<a href="https://www.pexels.com/de-de/foto/weisse-rakete-2159/">https://www.pexels.com/de-de/foto/weisse-rakete-2159/</a>
<a href="https://www.pexels.com/de-de/foto/start-des-weissen-und-grauen-space-shuttles-41005/">https://www.pexels.com/de-de/foto/start-des-weissen-und-grauen-space-shuttles-41005/</a>
<a href="https://www.pexels.com/de-de/foto/silberstahl-bergbaukran-auf-schwarzem-felsigem-boden-wahrend-des-tages-60008/">https://www.pexels.com/de-de/foto/silberstahl-bergbaukran-auf-schwarzem-felsigem-boden-wahrend-des-tages-60008/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/holz-holzstapel-brennholz-stapel-1884339/">https://pixabay.com/de/photos/holz-holzstapel-brennholz-stapel-1884339/</a>
<a href="https://www.pexels.com/de-de/foto/asche-brand-brennbar-brennen-546337/">https://www.pexels.com/de-de/foto/asche-brand-brennbar-brennen-546337/</a>
<a href="https://www.pexels.com/de-de/foto/sonnenkollektoren-auf-schnee-mit-windmuhle-unter-klarem-tageshimmel-433308/">https://www.pexels.com/de-de/foto/sonnenkollektoren-auf-schnee-mit-windmuhle-unter-klarem-tageshimmel-433308/</a>
<a href="https://www.pexels.com/de-de/foto/essen-in-teller-2776939/">https://www.pexels.com/de-de/foto/essen-in-teller-2776939/</a>
<a href="https://www.pexels.com/de-de/foto/nahaufnahmefoto-der-gluebirne-876453/">https://www.pexels.com/de-de/foto/nahaufnahmefoto-der-gluebirne-876453/</a>
<a href="https://www.pexels.com/de-de/foto/brennofen-266896/">https://www.pexels.com/de-de/foto/brennofen-266896/</a>
<a href="https://www.pexels.com/de-de/foto/frau-im-weissen-langarmeligen-top-mit-weisser-tasse-963757/">https://www.pexels.com/de-de/foto/frau-im-weissen-langarmeligen-top-mit-weisser-tasse-963757/</a>
<a href="https://www.pexels.com/de-de/foto/roter-alfa-romeo-c4-auf-strasse-nahe-baumen-210019/">https://www.pexels.com/de-de/foto/roter-alfa-romeo-c4-auf-strasse-nahe-baumen-210019/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/baum-natur-holz-sonnenuntergang-3822149/">https://pixabay.com/de/photos/baum-natur-holz-sonnenuntergang-3822149/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/kraftstoff-pumpe-energie-zapfs%3a4ule-1596622/">https://pixabay.com/de/photos/kraftstoff-pumpe-energie-zapfs%3a4ule-1596622/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/baseball-spieler-laufen-sport-1544472/">https://pixabay.com/de/photos/baseball-spieler-laufen-sport-1544472/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/superbike-motorsport-schnell-930715/">https://pixabay.com/de/photos/superbike-motorsport-schnell-930715/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/sonnenuntergang-windr%3a4der-4679983/">https://pixabay.com/de/photos/sonnenuntergang-windr%3a4der-4679983/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/bohrinsel-schottland-cromarty-firth-3522594/">https://pixabay.com/de/photos/bohrinsel-schottland-cromarty-firth-3522594/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/batterie-akku-energie-strom-1071317/">https://pixabay.com/de/photos/batterie-akku-energie-strom-1071317/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/m%3bchle-wasserm%3bchle-wasserrad-m%3bchlrade-2657953/">https://pixabay.com/de/photos/m%3bchle-wasserm%3bchle-wasserrad-m%3bchlrade-2657953/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/geb%3a4ude-der-lift-baustelle-1804030/">https://pixabay.com/de/photos/geb%3a4ude-der-lift-baustelle-1804030/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/niagara-f%3a4lle-wasserfall-wasserkraft-218591/">https://pixabay.com/de/photos/niagara-f%3a4lle-wasserfall-wasserkraft-218591/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/radar-radarsch%3bcsel-erdfunkstelle-63014/">https://pixabay.com/de/photos/radar-radarsch%3bcsel-erdfunkstelle-63014/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/lampe-licht-beleuchtung-gl%3bchlampe-3489395/">https://pixabay.com/de/photos/lampe-licht-beleuchtung-gl%3bchlampe-3489395/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/photovoltaikanlage-solar-2742302/">https://pixabay.com/de/photos/photovoltaikanlage-solar-2742302/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/blitz-sturm-wetter-himmel-donner-399853/">https://pixabay.com/de/photos/blitz-sturm-wetter-himmel-donner-399853/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/geysir-strokkur-geysir-strokkur-3242005/">https://pixabay.com/de/photos/geysir-strokkur-geysir-strokkur-3242005/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/atomkraftwerk-kernkraftwerk-brokdorf-1602792/">https://pixabay.com/de/photos/atomkraftwerk-kernkraftwerk-brokdorf-1602792/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/heizk%3b6rper-heizung-flachheizk%3b6rper-250558/">https://pixabay.com/de/photos/heizk%3b6rper-heizung-flachheizk%3b6rper-250558/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/lava-w%3a4rme-hawaii-stein-3148362/">https://pixabay.com/de/photos/lava-w%3a4rme-hawaii-stein-3148362/</a>
<a href="https://pixabay.com/de/photos/brot-belegt-imbiss-nahrung-5243569/">https://pixabay.com/de/photos/brot-belegt-imbiss-nahrung-5243569/</a>

## 2.2. Erläuterung der einzelnen Energieformen

### 1.1 Die innere Energie<sup>1</sup>

Dies ist eine Energieform, die nahezu unsichtbar in verschiedenen Materialien verborgen ist. Stellen wir uns zum Beispiel ein Auto als energetisches System vor, so enthält dieses im relativen Stillstand keine unmittelbar sichtbare Energie. Im Inneren verbergen sich jedoch der Tank mit Kraftstoff und die Autobatterie, die ihre innere Energie freisetzen können. Ebenfalls hat das Auto nach einer längeren Fahrt einen warmen Motor und gibt diese Wärme an seine Umwelt ab. Mit bloßem Auge ist nicht erkennbar, ob dieses im Vergleich zur Umwelt nun wärmer oder gleichwarm ist. Sehr viel abstrakter wird dieser Sachverhalt bei der atomaren Energie. Hier kann ein nahezu unscheinbarer Stoff Unmengen an Energie enthalten, die erst bei einer Kernspaltung oder Fusion zum Vorschein kommt.

- **Chemische Energie:** Darunter zählen alle Stoffe, in denen Energie in jeglichen Formen gebunden ist und die erst mit chemischen Reaktionen, also unter bestimmten Voraussetzungen (z. B. entzünden, mischen, kristallisieren, reagieren, oxidieren, verstoffwechseln etc.) freigesetzt werden kann. Ein gutes Beispiel hierfür sind Holzscheite, die getrocknet und aufgestapelt zwar viel Energie enthalten, jedoch kann diese sich nicht spontan von selbst freisetzen. Vorher muss eine Temperatur von über 280°C erreicht werden, um die brennbaren Bestandteile (hauptsächlich Wasserstoff und Kohlenstoff) aus dem Feststoff Holz herauszulösen. Diese Einzelstoffe haben wiederum spezifische Temperaturen, ab denen sie mit der Luft reagieren und ihre Energie freisetzen können. Die für chemische Energie typischen Einheiten sind Joule [J] ( $1 \text{ J} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$ ), seltener auch Kalorien [cal] ( $1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$ ).
- **Kernenergie:** Zu dieser rein physikalischen Energieform zählen alle Stoffe, deren Kerne neben den Protonen ein- oder mehrere Neutronen enthalten (so genannte Isotope). Diese Kerne können instabil sein und beim zufälligen oder gezielten Auftreffen von weiteren Neutronen zu kleineren Atomen zerfallen. Bei diesem Zerfall entstehen leichtere Elemente, Wärme und wiederum freie Neutronen, die andere Isotope treffen können. In der Natur kommen solche Kernreaktionen unkontrolliert in der Erdkruste und vor allem im Erdkern vor. Sie sind unter anderem der Grund, warum der Erdkern flüssig und heiß ist. In Atomkraftwerken werden bestimmte Stoffe (z. B. Uran<sup>235</sup>) verwendet, um diese Reaktion kontrolliert ablaufen zu lassen. Dabei wiegt der Ausgangsstoff mehr als die Summe der Reaktionsprodukte, da ein Teil der Masse in Energie umgewandelt wird. Betrachten wir die Sonne, so findet ein umgekehrter Prozess statt. Dort ist der Druck und die Temperatur so hoch, dass Wasserstoffatome miteinander zu Heliumatomen verschmelzen (fusionieren) und dabei ebenfalls Unmengen an Energie freisetzen. Die typische Einheit, in der atomare Energie beschrieben wird, ist Elektronenvolt [eV]. Ein Elektronenvolt entspricht etwa  $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ . Mit der Relativitätstheorie von Albert Einstein:  $E = mc^2$  (Energie = Masse \* Lichtgeschwindigkeit zum Quadrat) kann ein eV auch als Masseenergie eines Stoffes beschrieben werden:  $\frac{1 \text{ eV}}{c^2} = 1,783 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$ .
- **Thermische Energie:** Hierbei handelt es sich um die Wärme, die ein Stoff am Zeitpunkt der Messung besitzt. Typische Einheiten hierfür sind Grad Celsius [°C] oder in der Wissenschaft üblich Kelvin [K]. Bei 0 K (−273,15°C) enthält ein Stoff keinerlei thermische Energie mehr und strahlt absolut nichts ab. Das liegt daran, dass es sich bei der thermischen Energie um eine Energieform handelt, die eine ungeordnete makro- und mikroskopische Bewegung der Teilchen beschreibt. Genau diese Teilchen kommen im absoluten Nullpunkt zum Stillstand.

<sup>1</sup> Vgl.: Ostwald, Wilhelm (1893): Lehrbuch der allgemeinen Chemie. Leipzig: Wilhelm Engelmann.

## 1.2 Strahlungsenergie

Unter dieser Energieform verstehen wir alles, was im sichtbaren oder unsichtbaren Spektrum mit Lichtteilchen Energie übertragen kann. Die Sonne oder ein glühendes Stück Metall sind ein gutes Beispiel hierfür. Je heißer Gegenstände sind, desto höher ist das von ihnen abgestrahlte Spektrum. Bei dem Beispiel Metall strahlt es unterhalb einer Temperatur von 800°C für das menschliche Auge unsichtbares, infrarotes Licht ab. Erst wenn es anfängt zu glühen, kommen sichtbare Wellenlängen im roten Lichtbereich hinzu. Wird es jetzt noch wärmer (3200°C), verändert sich die Lichtfarbe hin zu gelblichem Licht. Das Metall würde bei dieser Temperatur in einem Hochofen bereits flüssig sein. Wenn wir es nun noch weiter erwärmen würden (auf 6000°C), würde das abgestrahlte Licht des Eisens zunehmend grün- und bläulich wirken. Wenn es noch heißer wird, wie zum Beispiel beim Schweißen, werden auch ultraviolette Strahlen erzeugt. Diese sind nicht so gut für unsere Haut und Augen, weshalb beim Schweißen immer Schutzkleidung getragen werden sollte. Die Sonne ist zum Beispiel so heiß, dass sie Licht in allen bekannten Spektren abstrahlt (vgl. Abb. 2). Unsere Atmosphäre filtert einige Spektren wieder heraus. Deshalb erstrahlt die Sonne in dem uns bekannten gelblichen Licht.

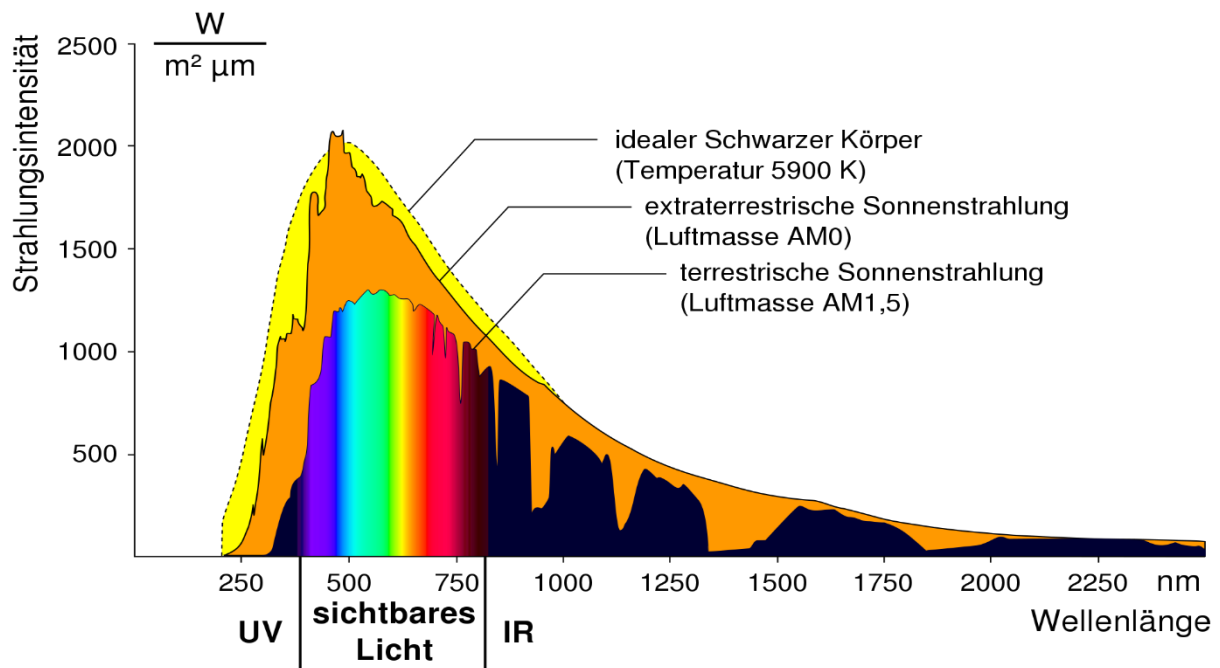


Abbildung 2 Strahlungsintensität und –Spektrum der Sonne, ©Degreen<sup>2</sup>

Die Strahlungsintensität in  $\frac{W}{m^2 \mu m}$  gibt Aufschluss darüber, wie viel Energie innerhalb eines Spektrums auf die Erde pro Quadratmeter auftrifft. Diese wird durch die Wellenlänge geteilt. Das bedeutet, dass kurzwellige Strahlung (Ultraviolett) deutlich mehr Energie enthält als langwellige Strahlung (Infrarot). Zusätzlich durchdringen die kurzwelligen Strahlen Gegenstände (zum Beispiel Hautzellen und Kunststoffoberflächen) einfacher und können so ihre Energie in tieferen Schichten abgeben. Genau diese Eigenschaft des Lichtes verursacht Sonnenbrand oder dass Kunststoffe schneller altern.

Pflanzen nutzen zur Energiegewinnung hauptsächlich Licht aus dem grünen Bereich. Mit ihrer grünen Farbe haben sie sich perfekt an das Spektrum angepasst, dessen Intensität in unserem Sonnensystem am höchsten ist. Solarzellen nehmen mit ihrer schwarzen Farbe theoretisch das gesamte Spektrum an Licht auf, jedoch regt auch hier nur ein kleiner Bruchteil der absorbierten Strahlung die Elektronen an, sich durch die Halbleiter zu bewegen. Deshalb haben sie aktuell einen Wirkungsgrad von etwa 20 %.

<sup>2</sup> © CC BY-SA 3.0 Degreen ([https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenstrahlung#/media/Datei:Sonne\\_Strahlungsintensitaet.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenstrahlung#/media/Datei:Sonne_Strahlungsintensitaet.svg))

### 1.3 Mechanische Energie

Diese Energieform umgibt uns überall. Wir kennen sie zum einen als Bewegungsenergie (kinetische Energie), die im Physikunterricht oft mit der Formel  $E_{kin} = \frac{1}{2} * m * v^2$  erklärt wird. Wenn ein Gegenstand beschleunigt wird, enthält dieser über die Beschleunigungszeit Energie  $v(t) = a * t + v_0$ . Die Beschleunigung  $a$  entspricht der Kraft, die gewirkt hat in Relation zur Masse des beschleunigten Objektes. Wenn der Körper mit seiner Umgebung in Kontakt kommt (z. B. durch Reibung oder einen Aufprall), gibt er seine Energie an diese ab oder verformt sich selbst. Zum anderen gibt es die so genannte Lageenergie (potenzielle Energie) mit der Formel  $E_{pot} = m * g * h$ , die alle Gegenstände im Gravitationsfeld der Erde enthalten, deren Höhe größer als das Bezugssystem ist. Ein Beispiel für das Bezugssystem wäre die Erdoberfläche oder die tiefste Stelle eines Pendels (vgl. Abb. 3). Die potenzielle Energie ist an den Rändern des Pendels am höchsten, während die kinetische Energie gleich Null ist. Am tiefsten Punkt des Pendels ist die potenzielle Energie gleich Null und dafür die kinetische Energie maximal.

Verantwortlich dafür, dass ein solches Pendel irgendwann zum Stehen kommt, ist nur die Reibung an der Umgebungsluft und im Seil.

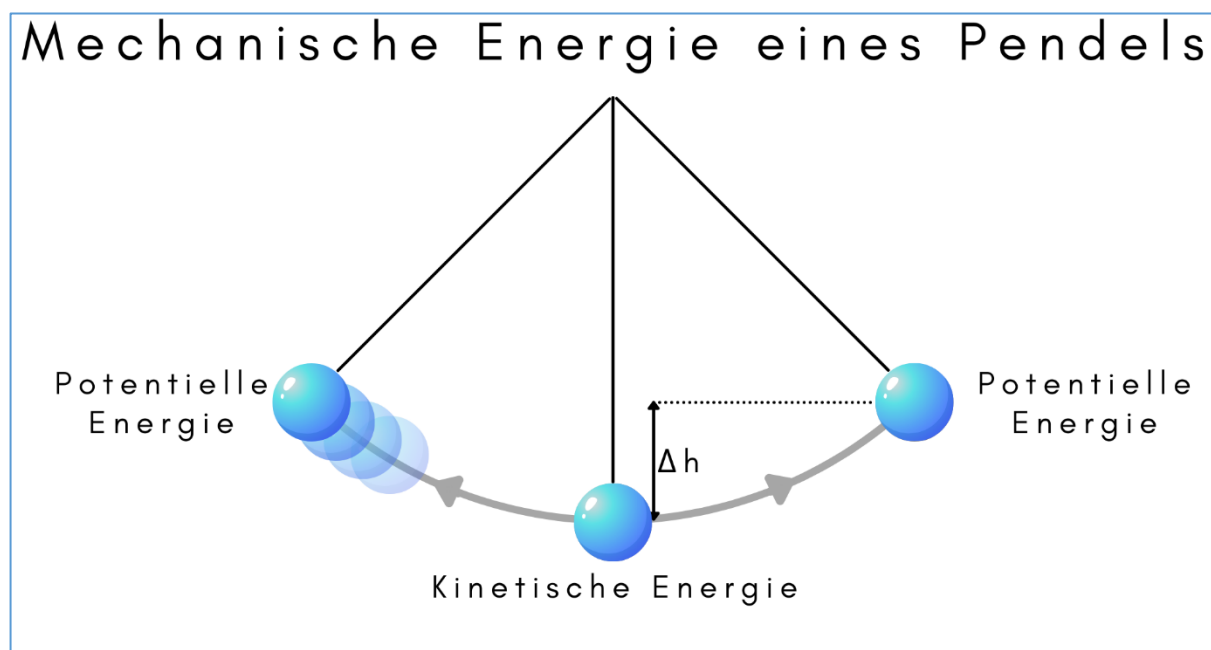


Abbildung 3 Mechanische Energie eines Pendels

Eine weitere Art der potenziellen Energie ist die Spannenergie von elastischen Körpern (z. B. Federn, Bögen, Gummireifen, Seilen und Bällen), die entgegen ihrer natürlichen oder geprägten Erscheinung verformt werden. Hier ändert sich die Formel zu  $E_{pot} = \frac{1}{2} * D * s^2$ . Bei einer aufgespannten Feder wäre das Bezugssystem die Feder im entspannten Zustand, bei einem Ball die Kugelform und so weiter.

Auch bei Wind- und Wasserkraft spielt die Bewegungsenergie eine Rolle. Durch schräg angeordnete Schaufeln werden die Medien abgelenkt und in einen Drall versetzt. Dieser Drall ermöglicht es, die Energie von Fluiden in eine Rotation umzuwandeln. Die Rotation wiederum treibt einen Generator an, der Strom produziert.



## 1.4 Elektrische Energie

Eine sehr interessante Energieform ist die elektrische Energie. Sie besteht im Grunde aus der Bewegungsenergie angeregter freier Ladungsträger (meist Elektronen). Diese Elektronen können durch die meisten Metalle weitergegeben werden. Grund hierfür ist, dass sich bei der gitterartigen Struktur, die Metallatome im Verbund einnehmen, Elektronen frei bewegen können. Oft wird auch der Begriff Elektronengas verwendet. Stellen wir uns nun ein Kabel vor, an dessen Ende ein Elektronenmangel herrscht, gleichen die im Metall verfügbaren Elektronen automatisch diese Stelle aus. Manche Metalle leiten die Elektronen besser als andere. Das liegt daran, dass die Elektronen beim Durchqueren weniger Hindernisse (Atomkerne) überwinden müssen. Diese Hindernisse bilden einen Widerstand, der für uns einfach zu messen ist.

Was bei einem Wasserschlauch der Druck ist, ist bei elektrischer Energie die Spannung  $U$  in Volt. Je höher der „Druck“, desto weiter schießt ein Wasserstrahl aus einer Düse. So ähnlich ist es auch bei elektrischer Energie. Je dicker ein Wasserrohr, desto mehr Wasser kann bei gleichem Druck hindurchfließen, weil der Reibungswiderstand kleiner wird. Auch hier findet sich eine Brücke zu elektrischer Energie, denn höhere Leiterquerschnitte ermöglichen auch einen größeren Stromfluss und haben einen kleineren Widerstand. Strom  $I$  wird in Ampere gemessen und der elektrische Widerstand in Ohm  $\Omega$ . Für alle elektrischen Vorgänge gilt die URI-Formel:

$$U_{(\text{Spannung})} = R_{(\text{Widerstand})} \cdot I_{(\text{Strom})}$$

Multiplizieren wir Strom und Spannung miteinander, erhalten wir die Leistung in Watt. Ein Watt entspricht einem Joule pro Sekunde. Joule ist die Einheit, in der mechanische Arbeit und Wärmeenergie gemessen wird. Im Prinzip steht ein Joule dafür, einen Gegenstand mit einem Newton Gewichtskraft (z. B. eine Tafel Schokolade mit etwa 100 g) einen Meter hochzuheben. Bei einem Newton spielt das Gewicht  $m$  in  $kg$  und die Erdbeschleunigung  $g \cong 9,81 \frac{m}{s^2}$  eine Rolle.  $1 N = 1 \frac{kg \cdot m}{s^2}$ . Da dieser Vorgang bei einer Leistung eines Watts innerhalb einer Sekunde stattfinden würde, entspricht  $1 W = 1 \frac{J}{s} = 1 \frac{N \cdot m}{s} = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$ .

**Elektromagnetische Energie:** Immer, wenn ein elektrischer Leiter von Strom durchflossen wird, entsteht laut Induktionsgesetz Magnetismus. Magnetismus ist die Folge davon, dass im Stoff Elementarteilchen wie beispielsweise Elektronen eine spezielle Drehrichtung (Spin) aufweisen. Fließt nun elektrischer Strom durch einen Leiter, bewegen sich alle Elektronen darin in die gleiche Richtung. Die Elektronen richten sich dabei so aus, dass ihre Eigenrotation (Spin) tangential zur Bewegungsrichtung verläuft. Es entsteht ein kreisförmiges Magnetfeld um den elektrischen Leiter herum (vgl. Abb. 4). Je größer die elektrische Stromstärke, desto stärker ist auch das elektromagnetische Feld. Die Ausrichtung des Magnetfeldes lässt sich gut mit der linken Hand-Regel merken, wenn der Daumen in Richtung des Pluspols zeigt. Dieser Effekt funktioniert auch andersherum: Wird ein veränderliches Magnetfeld an einem elektrischen Leiter angelegt, erzeugt dies einen Elektronenfluss, also elektrischen Strom.

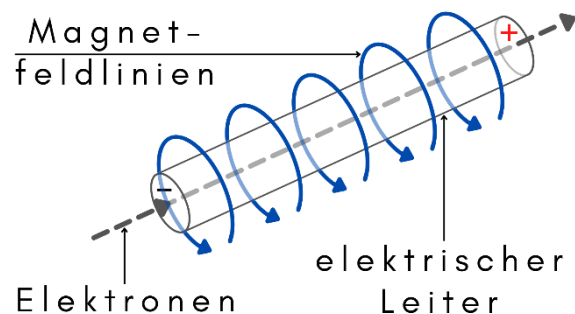


Abbildung 4 Magnetfeldlinien stromdurchflossener Leiter

Elektromagnetismus kommt in sehr vielen Gebieten zur Anwendung, z. B. in allen Generatoren, Motoren, Transformatoren, Rundfunk, Relais, Lautsprechern, bei der kontaktlosen Energieübertragung und vielem mehr. Ständig wechselnde elektromagnetische Felder sind auch zu großen Teilen an Verlusten bei der Energieübertragung in Oberleitungen und Kabeln verantwortlich. Deshalb ist es notwendig, die Stromstärke so niedrig wie möglich zu halten.

**Gleichspannung:** Fließt Strom konstant nur in eine Richtung, sprechen wir von Gleichspannung. Die Elektronen bewegen sich also gleichmäßig von der Quelle (- Pol) zur Senke (+ Pol) im Stromkreis. Sie treiben auf ihrem Weg durch leitende Materialien alles an, was ihnen Widerstand bietet.

In nahezu allen chemischen Reaktionen findet ein Elektronenaustausch statt. Dieser Austausch findet oft unter Abgabe oder Aufnahme von Energie statt. Die dabei erzeugten Energieformen sind thermisch, elektrisch oder es wird mechanische Arbeit verrichtet. Wird bei solchen Reaktionen verhindert, dass die Elektronen direkt zu ihrem Reaktionspartner wandern können und einen „Umweg“ durch einen Verbraucher hindurch nehmen müssen, kann diese Energie nutzbar gemacht werden. So funktionieren zum Beispiel auch Brennstoffzellen und Batterien (vgl. Abb. 5).

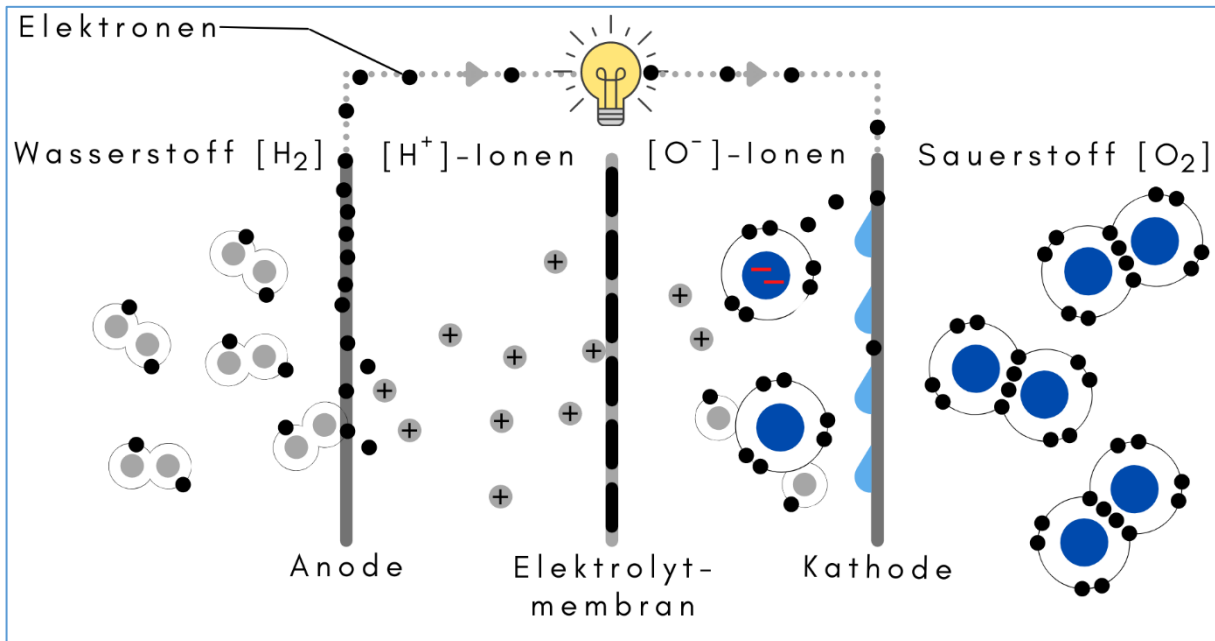


Abbildung 5 Energiegewinnung in einer PEM-Brennstoffzelle

Alle Stoffe streben einen stabilen Edelgaszustand an. Das bedeutet, dass ihre Außenschale vollständig mit Elektronen besetzt ist. Es können aber nicht alle Stoffe ein Edelgas sein, somit „leihen“ sie sich die Elektronen ihrer Bindungspartner aus und nutzen diese gemeinsam. Deshalb bestehen die Moleküle Wasserstoff und Sauerstoff aus jeweils zwei Atomen, die sich die Elektronen ihrer Außenschale teilen.

An der sogenannten Platinanode einer PEM-Brennstoffzelle teilen sich katalytisch Wasserstoffmoleküle  $[H_2]$  in Wasserstoffionen  $[2 H^+]$  und Elektronen  $[2 e^-]$  auf. Diese befinden sich in einem leitfähigen Material, dem Elektrolyten. Dieser ermöglicht einen ungehinderten Transport aller Ladungsträger. Die Elektronen nehmen ihren Weg von der Anode über den elektrischen Leiter durch den Verbraucher hin zur Kathode (ebenfalls aus Platin). Die Elektrolytmembran lässt nur die Wasserstoffionen, jedoch keine anderen Ladungsträger hindurch. Auf der Kathodenseite befinden sich Sauerstoffmoleküle. Trennen diese sich in ihre Ionenform auf, ist die äußere Elektronenhülle nicht mehr voll besetzt. Es fehlen zum nächsthöheren Edelgas (Argon) zwei Elektronen. Diese stammen von den Wasserstoffionen und werden von der Kathode bereitgestellt. Bei der Kombination der Reaktionspartner entsteht Wasser, bei dem sich das Sauerstoffatom die Elektronen des Wasserstoffs leiht und die Wasserstoffatome leihen sich je ein Elektron des Sauerstoffatoms. Aus der Sicht beider Reaktionspartner haben sie einen stabileren energieärmeren Zustand erreicht. Das Wasserstoffatom hat zwei besetzte Elektronen der Außenschale und ähnelt damit dem Edelgas Helium und das Sauerstoffatom mit acht besetzten Elektronen der Außenschale ähnelt dem Edelgas Argon.

**Wechselspannung:** Wie der Name schon sagt, wechselt sich hier ständig und sinusförmig die Polung im Leiter. Die Elektronen fließen nicht, sie schwingen hin und her. Diese „Schwingungsenergie“ kann, wie bei Wellen auf dem Ozean, leichter übertragen werden, wobei das Wasser selbst nicht transportiert wird. Die Nutzung von Wechselspannung wurde von dem Wissenschaftler Nicola Tesla eingeführt, um Übertragungsverluste in Kabeln zu verringern. Seither nutzen wir Wechselspannung überall auf der Welt. Wechselspannung braucht neben der sogenannten Phase immer einen Nullleiter, bei dem die Elektronen in Ruhe sind.

Eine gute Darstellung der Unterschiede von Gleich- und Wechselspannung lässt sich auch auf folgender Webseite abrufen:



Institut für Bildungsanalysen Baden-Württemberg (o. J.): Was ist Wechselspannung. Gleichspannung und Wechselspannung im Vergleich. URL: [https://www.schule-bw.de/faecher-und-schularten/mathematisch-naturwissenschaftliche-faecher/physik/unterrichtsmaterialien/e\\_lehre\\_1/elektrizitaetsuebertragung/wechselspannung.htm](https://www.schule-bw.de/faecher-und-schularten/mathematisch-naturwissenschaftliche-faecher/physik/unterrichtsmaterialien/e_lehre_1/elektrizitaetsuebertragung/wechselspannung.htm), letzter Zugriff: 07.07.2021.

Dadurch, dass bei sich drehenden Generatoren ankerförmige Elektromagneten mit abwechselnder Polung an den Spulen vorbeisaußen, wird immer Wechselstrom generiert. Oftmals sind Generatoren so ausgelegt, dass dies pro Umdrehung gleichzeitig in drei Leitern geschieht, wobei die sogenannten Phasen zueinander um  $360^\circ / 3 = 120^\circ$  verschoben sind. Was dabei entsteht, wird Drehstrom genannt. Alle drei Phasen können sich nun den gemeinsamen Nullleiter teilen.



**Elektrostatistische Energie:** In einigen Medien, zwischen denen sich ein sogenanntes Dielektrikum befindet, können sich Ladungsträger (Elektronen und Ionen) nicht bewegen, weil der Widerstand im Dielektrikum für sie zu hoch ist. Die Elektronen sammeln sich dann an der Oberfläche der Kontaktelektrode an und warten auf eine günstige Gelegenheit, fließen zu können.

Die Luft unserer Atmosphäre ist auch ein Dielektrikum, sie leitet nur sehr schlecht Strom. Die Wolken mit ihren Wassertropfen hingegen sind ein guter Leiter. Reiben Wolken nun an der Atmosphäre, sammeln sich immer mehr Elektronen im Inneren an und die Spannungsdifferenz zwischen ihnen und der Erdoberfläche kann sehr hoch werden (vgl. Abb. 6).

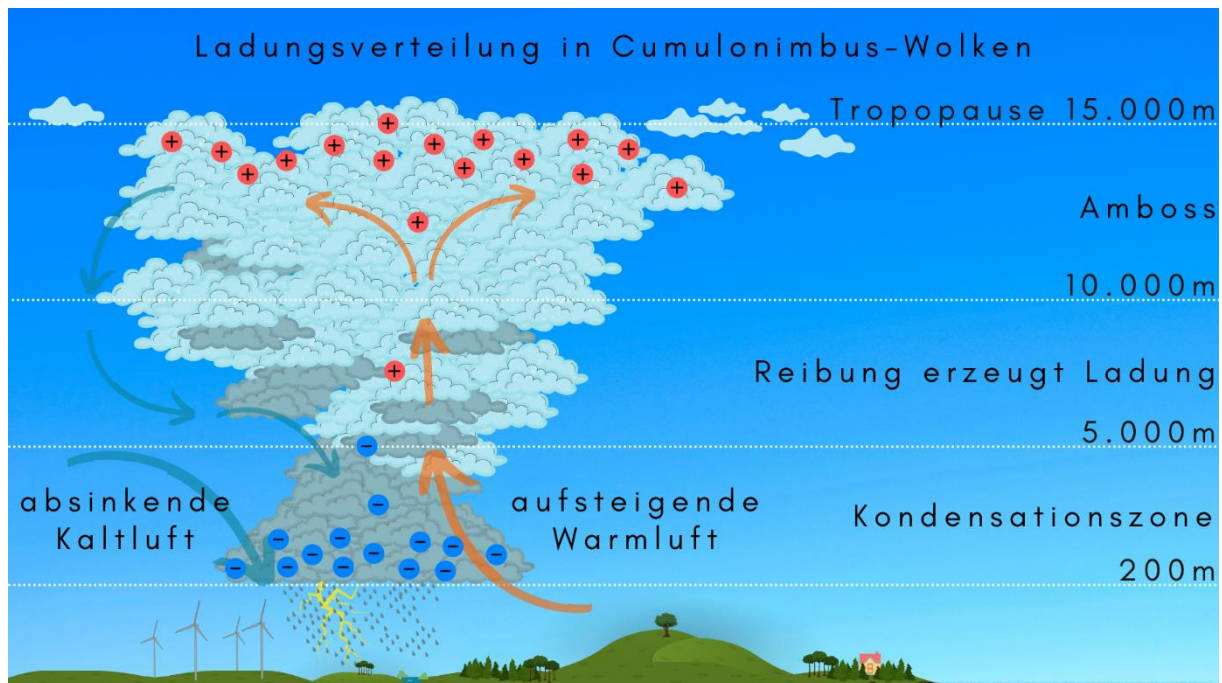


Abbildung 6 Ladungsverteilung in Cumulonimbus-Wolken

- Normalerweise hat trockene Luft eine Durchschlagsfestigkeit von 1000 V pro mm. Das Vorhandensein von Luftfeuchtigkeit und Regen setzt diese jedoch auf etwa 350 V pro mm herab. Wenn wir davon ausgehen, dass Gewitterwolken in etwa 200 - 500 m Höhe zur Erdoberfläche beginnen, bedeutet das eine ungeheure Spannungsdifferenz von 70 bis 175 Millionen Volt.
- Bei einer sogenannten Leaderentladung in Wolken findet die Entladung vorerst nur teilweise statt. Sie bahnt sich ihren Weg zwischen den Wassermolekülen in der Luft bis hin zur Erdoberfläche. Ist dies geschehen, erfolgt nur ein schwacher, unvollständiger Ladungsaustausch, der umliegendes Gas in Plasma umwandelt.
- Als Plasma werden überhitzte Gasmoleküle und -ionen bezeichnet, die durch hohen Energieeintrag kurzzeitig leitfähig werden.
- Kurz darauf erfolgt der eigentliche Blitzeinschlag, bei dem in Bruchteilen von Sekunden Ströme mit bis zu 100.000 Ampere ausgetauscht werden.

Alle Prozesse, bei denen Elektronen auf einen Ladungstransport „warten“, werden elektrostatisch genannt. Diese Energieform kommt in allen schlecht leitfähigen Materialien vor. Technisch wird dieser Effekt vor allem in Kondensatoren verwendet. Die riesige Menge an Energie, die bei Gewittern entsteht, kann nicht genutzt werden. Es gibt keine elektrischen Bauteile, die eine solche Menge aufnehmen könnten.