

1.1 Energie und ihre Eigenschaften

Die physikalische Größe Energie und der Energieerhaltungssatz

Die Energie ist eine grundlegende physikalische Größe. Sie spielt in der Physik und weit darüber hinaus eine zentrale Rolle.

Benannt ist die Einheit 1 J nach dem englischen Physiker JAMES PRESCOTT JOULE (1818–1889).

Weitere Einheiten sind ein Newtonmeter und eine Wattsekunde:
 $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$
 $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$
In der Energiewirtschaft nutzt man auch die Steinkohleneinheit und die Rohöleinheit:
 $1 \text{ SKE} = 29,3 \text{ MJ}$
 $1 \text{ RÖE} = 41,9 \text{ MJ}$

Bei vielen Energieumwandlungen wird die Energie entwertet, d.h., sie ist dann nicht weiter nutzbar.

Der Energieerhaltungssatz wurde zuerst von JULIUS ROBERT MAYER (1814–1878) und JAMES PRESCOTT JOULE (1818–1889) formuliert.

Energie ist die Fähigkeit eines Systems, Körper zu bewegen und zu verformen, Wärme abzugeben oder Strahlung auszusenden.

Formelzeichen: E
Einheit: ein Joule (1 J)

Ein **System** ist ein gedanklich von seiner Umgebung abgetrennter Bereich. In ihm können sich Körper oder andere physikalische Objekte (Felder, Elementarteilchen) befinden. Es wird durch die **Systemgrenze** von seiner Umgebung abgegrenzt. Dabei wird zwischen verschiedenen Arten von Systemen unterschieden.

Art des Systems	Kennzeichen für das System	Beispiele
offenes System	Systemgrenze ist durchlässig für Energie und Stoff	Motor eines Pkw, Mensch
geschlossenes System	Systemgrenze ist durchlässig für Energie und undurchlässig für Stoff	Kühlschrank, Wärmepumpe, Sonnenkollektor
abgeschlossenes System	Systemgrenze ist undurchlässig für Energie und Stoff	gut isoliertes, verschlossenes Thermosgefäß

Die Energie kennzeichnet den Zustand eines abgeschlossenen Systems. Sie wird deshalb als **Zustandsgröße** bezeichnet. Darüber hinaus gilt (↗ S. 10):

- Energie kann von einem System auf ein anderes übertragen werden.
- Energie kann gespeichert werden.
- Energie kann von einer Form in andere Formen (↗ S. 8) umgewandelt werden, wobei die verschiedenen Formen für den Nutzer einen unterschiedlichen Wert haben.

Bei allen Prozessen der Umwandlung und Übertragung von Energie gilt für ein abgeschlossenes System das **Gesetz von der Erhaltung der Energie** (Energieerhaltungssatz).

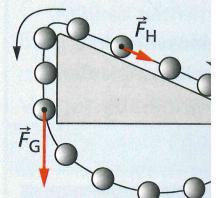
In einem abgeschlossenen System ist die Summe aller Energien stets konstant. Die Gesamtenergie bleibt erhalten.

$$E_{\text{gesamt}} = E_1 + E_2 + \dots + E_n = \sum_{i=1}^n E_i = \text{konstant} \quad \text{oder} \quad \Delta E_{\text{gesamt}} = 0$$

E_1, E_2, \dots, E_n verschiedene Energieformen

Historisches zu

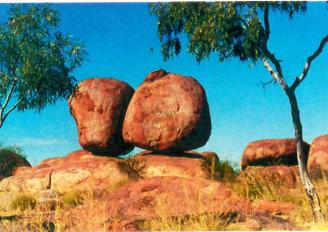
Viele Jahrhunderte Maschine zu konstruiert, ohne dass ihr E mehr Energie abgibt solche Anordnung war ständig bewegend". ein solches Perpetuum Es handelt sich dabei holländische Mathematiker angegeben hat.



Ebene wirken mit einer gegengesetzten Richtung, die sich ständig in Pfeilrichtung ändert.

Ein solches Perpetuum mobile ist unmöglich, es widerspricht der Physik. Es besagt, dass Energie nicht erzeugt werden kann, sondern nur von einer anderen Energieform gewandelt werden kann. Bereits im Jahre 1775 schrieb der Physiker James Joule: „Es ist unmöglich, ein Perpetuum mobile zu konstruieren.“ Allerdings dauerte es über hundert Jahre, bis mit dem zweiten Hauptsatz der Mechanik ein endgültiger Beweis gegeben wurde.

Anfang des 19. Jahrhunderts wurden die Begriffe Kraft, Arbeit und Energie genutzt. Der Begriff „Energie“ wurde 1850 in die Physik eingeführt. Er deutete die Vielfalt der damaligen Situationen als Energie für mechanische Arbeit (1646–1716) auch für andere Prozesse wie Wärme und Licht verwendet.

Energieformen		
Lageenergie	Bewegungsenergie	Rotationsenergie
		
Körper, die aufgrund ihrer Lage mechanische Arbeit verrichten können, besitzen potenzielle Energie E_{pot} . Die Felsen besitzen potenzielle Energie.	Körper, die aufgrund ihrer Bewegung mechanische Arbeit verrichten können, besitzen kinetische Energie E_{kin} . Ein Flugzeug besitzt kinetische Energie.	Körper, die aufgrund ihrer Rotation Arbeit verrichten können, besitzen Rotationsenergie E_{rot} . Der Rotor eines Hubschraubers besitzt Rotationsenergie.
Thermische Energie	Chemische Energie	Strahlungsenergie
		
Körper, die aufgrund ihrer Temperatur Wärme abgeben oder Licht aussenden können, besitzen thermische Energie E_{th} . Eine Kerzenflamme besitzt thermische (innere) Energie.	Körper, die bei chemischen Reaktionen Wärme abgeben, Arbeit verrichten oder Licht aussenden, besitzen chemische Energie E_{ch} . Beim Verbrennen von Treibstoff entstehen Wärme und Licht.	Die Sonne und andere Lichtquellen senden Licht und andere Strahlung aus. Elektromagnetische Strahlung besitzt Energie E_{str} . Sie wird manchmal auch als Lichtenergie bezeichnet.
Elektrische Energie	Magnetische Energie	Kernenergie
		
Körper, die aufgrund elektrischer Vorgänge Arbeit verrichten, Wärme abgeben oder Licht aussenden, besitzen elektrische Energie E_{el} . Elektrischer Strom und damit auch ein Blitz besitzt elektrische Energie.	Körper, die aufgrund ihrer magnetischen Eigenschaften mechanische Arbeit verrichten können, besitzen magnetische Energie E_{mag} . Das Magnetfeld eines Lasthebewagneten besitzt magnetische Energie.	Bei der Spaltung von Atomkernen und bei ihrer Verschmelzung wird Energie frei, die als Kernenergie E_{kern} bezeichnet wird. Kernenergie wird z.B. bei der Spaltung von Atomkernen des Urans und in der Sonne frei.

Eine besondere
geht auf HERM

Energie kann
einer Form in

Man kann auch
1. Art zu konst

Für rein mechani
nisch. Als rein me
Größen der M
Energieformer
nachlässtigt we
Vorgänge nen

■ Als solche
Bewegung
kurzen Zeit
lers vom 10

Der Energieer

Unter der Be
gie in ander
tem: Die Sun
 $E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} =$

Bei realen Vor
für die Anwen
dest näherung
anwendbar.

■ Betrachten
Bungeespr
er zunächst
als näheru
werden, w
reichten G
bar ist. Da
der Mechan
durch das
Springer b
oben, errei
Höhe. Für
ser Energie



fgrund ihrer Rota-
richten können,
ionsenergie E_{rot}
s Hubschraubers
nsenergie.



andere Lichtquel-
nt und andere
Elektromagne-
ig besitzt **Energie**
ianchmal auch als
zeichnet.



ng von Atomker-
er Verschmelzung
rei, die als **Kern-**
gezeichnet wird.
ird z.B. bei der
Atomkernen des
ler Sonne frei.

Eine besonders anschauliche Formulierung des Energieerhaltungssatzes geht auf HERMANN VON HELMHOLTZ (1821–1894) zurück:

Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden, sondern nur von einer Form in andere Formen umgewandelt werden.

Man kann auch formulieren: Es ist nicht möglich, ein Perpetuum mobile 1. Art zu konstruieren.

Für rein mechanische Vorgänge gilt der **Energieerhaltungssatz der Mechanik**. Als rein mechanisch bezeichnet man Vorgänge, die sich vollständig mit Größen der Mechanik beschreiben lassen und bei denen nur mechanische Energieformen auftreten. Es sind Vorgänge, bei denen die Reibung vernachlässigt werden kann und die man deshalb manchmal „reibungsfreie“ Vorgänge nennt.

- Als solche rein mechanischen Vorgänge kann man z.B. ansehen: Bewegung eines Fadenpendels oder eines Federschwingers über einen kurzen Zeitraum hinweg, Hochwerfen eines Balls, Sprung eines Sportlers vom 10-m-Brett.

Der Energieerhaltungssatz der Mechanik lautet:

Unter der Bedingung, dass keine Umwandlung von mechanischer Energie in andere Energieformen erfolgt, gilt für ein abgeschlossenes System: Die Summe aus potenzieller und kinetischer Energie ist konstant.

$$E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} = E = \text{konstant} \quad \text{oder} \quad \Delta(E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}}) = 0$$

Bei realen Vorgängen ist stets zu prüfen, ob die Gültigkeitsbedingungen für die Anwendbarkeit des Energieerhaltungssatzes der Mechanik zumindest näherungsweise erfüllt sind. Nur dann ist er auf den jeweiligen Fall anwendbar.

- Betrachten wir als Beispiel den Sprung eines Bungeespringers. Nach dem Absprung fällt er zunächst frei nach unten. Dieser Fall kann als näherungsweise reibungsfrei angesehen werden, weil der Luftwiderstand bei den erreichten Geschwindigkeiten vernachlässigbar ist. Damit ist der Energieerhaltungssatz der Mechanik anwendbar. Der Fall wird durch das elastische Seil abgebremst. Der Springer bewegt sich dann wieder nach oben, erreicht aber nicht die ursprüngliche Höhe. Für diesen Teil der Bewegung ist dieser Energieerhaltungssatz nicht anwendbar.



Ein **Perpetuum mobile** 1. Art ist eine „sich unaufhörlich bewegende Anordnung“, die ohne Energiezufuhr dauernd Arbeit verrichtet.

Potenzielle Energie besitzen gehobene und elastisch verformte Körper. Kinetische Energie besitzen sich bewegende Körper.

Beachte immer: Der Energieerhaltungssatz der Mechanik ist nur eingeschränkt anwendbar. Der allgemeine Energieerhaltungssatz gilt immer.

Der Heizwert gibt an, wie viel Energie beim Verbrennen freigesetzt wird.
Benzin: 35 MJ/l
Diesel: 36 MJ/l
Erdgas: 31 MJ/m³



Die wichtigste Energiequelle ist für uns die Sonne.

Energie kann in unterschiedlicher Weise gespeichert werden. Sie steckt immer in einem sogenannten **Energieträger**. Solche Energieträger sind beispielsweise:

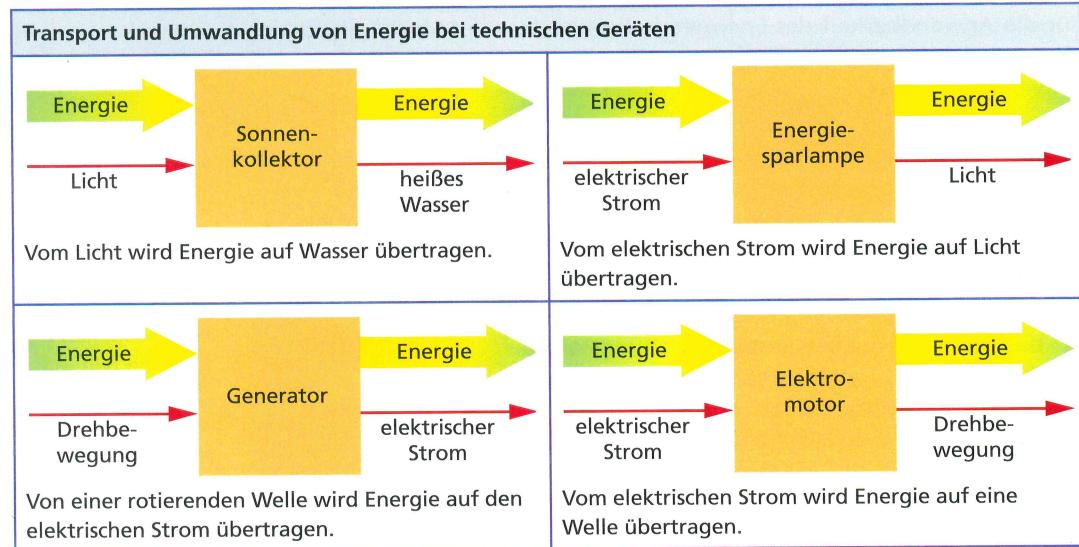
- Brennstoffe (Kohle, Holz, Erdöl)
- Treibstoffe (Benzin, Diesel)
- Nahrungsmittel aller Art
- Batterien und Akkumulatoren
- bewegte Körper (Schwungrad, fließendes Wasser, fahrendes Auto)
- gehobene Körper (angestautes Wasser, Person auf Sprungbrett)
- erwärmte Körper (heißer Herdplatte, Wärmflasche, Wasser im Heizkörper oder Boiler)
- Licht und elektrischer Strom

Energie kann in Energieträgern wie Brennstoffen, Treibstoffen, gehobenen und bewegten Körpern oder Batterien gespeichert werden. Mit dem jeweiligen Energieträger kann die Energie auch transportiert werden.

Die **Übertragung von Energie** von einem System (Körper) auf ein anderes kann in verschiedener Weise erfolgen. Energie kann in Form von Wärme übertragen werden. Dabei ist zwischen **Wärmeleitung**, **Wärmeströmung** (Konvektion) und **Wärmestrahlung** zu unterscheiden. Die Übertragung der für das Leben auf der Erde notwendigen Sonnenenergie erfolgt durch Strahlung.

In Heizungsanlagen wird Energie durch strömendes heißes Wasser vom Heizkessel bis zu den Heizkörpern transportiert.

Elektrische Energie wird mit dem elektrischen Strom über Hochspannungsleitungen vom Kraftwerk zum Verbraucher transportiert. Heizöl oder Benzin kann durch Rohrleitungen von einer Stelle zur anderen gelangen.



Energie kann trischen Stromen.

Die **Umwandlung** wir in Natur umgetriäger, so läträgt auf and zeigt einige Be

Bei vielen V Energieform Energieträge

Das hinter staute Was Energie. D gie wird be kinetische I Mit dem str eine Turbir Rotation vi energie will einen Gen ihm erfolg der mechan trische Ene

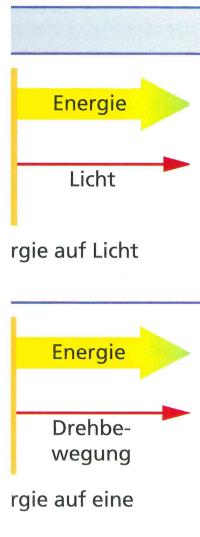
In der Umgang gieverbrauch e nicht, dass Ene wo wir es wür Formen umge So werden z.B auch die Leitu uns nicht mehr ist das bei einer steckt, wird ni der Umgebung Die einem Ge lage oder ein zugeführte En nur teilweise r Nutzung hat en Wert me entwertet.

den. Sie steckt im Energieträger sind bei-

endes Auto)
ungsbrett)
ser im Heizkörper

Kraftstoffen, ge-
eichert werden.
ch transportiert

) auf ein anderes
Form von Wärme
Wärmeströmung
Die Übertragung
rgie erfolgt durch
eißes Wasser vom
r Hochspannungs-
. Heizöl oder Ben-
en gelangen.

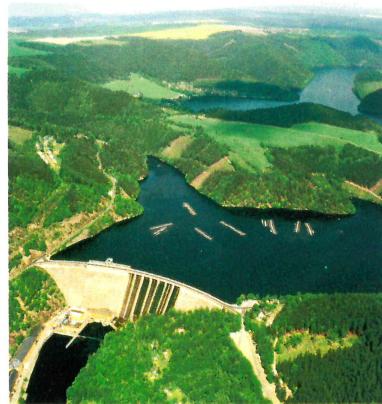


Energie kann durch mechanische Arbeit, Wärme, Strahlung oder elektrischen Strom von einem Körper zu anderen Körpern übertragen werden.

Die **Umwandlung von Energie** von einer Form in andere Formen finden wir in Natur und Technik in vielfältiger Weise. Nutzt man den Begriff Energieträger, so lässt sich das so formulieren: Energie wird von einem Energieträger auf andere Energieträger übertragen. Die Übersicht auf S. 10 unten zeigt einige Beispiele für technische Geräte. Allgemein gilt:

Bei vielen Vorgängen in Natur und Technik wird Energie von einer Energieform in andere Energieformen umgewandelt bzw. von einem Energieträger auf andere Energieträger übertragen.

Das hinter einer Talsperre ange-
staute Wasser besitzt potentielle
Energie. Diese potentielle Ener-
gie wird beim Herunterfließen in
kinetische Energie umgewandelt.
Mit dem strömenden Wasser wird
eine Turbine angetrieben und in
Rotation versetzt. Die Rotations-
energie wird über eine Welle auf
einen Generator übertragen. In
ihm erfolgt eine Umwandlung
der mechanischen Energie in elek-
trische Energie.



In der Umgangssprache ist es üblich, von Energieverlusten oder vom Energieverbrauch eines Geräts zu sprechen. Mit Energieverlusten meint man nicht, dass Energie vernichtet wird. Vielmehr kommt sie z. T. nicht dort an, wo wir es wünschen, weil ein Teil der Energie in für uns nicht nutzbare Formen umgewandelt wird.

So werden z. B. bei Hochspannungsleitungen durch den elektrischen Strom auch die Leitungen selbst erwärmt. Die dafür erforderliche Energie ist für uns nicht mehr nutzbar. Sie führt zu einer Erwärmung der Umwelt. Ähnlich ist das bei einem Auto: Ein erheblicher Teil der Energie, die im Kraftstoff steckt, wird nicht für die Fortbewegung genutzt, sondern zur Erwärmung der Umgebung.

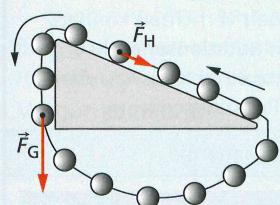
Die einem Gerät, einer Anlage oder einem Lebewesen zugeführte Energie ist für uns nur teilweise nutzbar. Mit der Nutzung hat sie für uns keinen Wert mehr. Sie ist damit entwertet.

Das Verhältnis von nutzbarer zu zuge-
führter Energie wird als **Wirkungsgrad η**
bezeichnet: $\eta = \frac{E_{\text{nutz}}}{E_{\text{zu}}}$



Historisches zum Energiebegriff

Viele Jahrhunderte lang versuchten Erfinder eine Maschine zu konstruieren, die dauernd Energie abgibt, ohne dass ihr Energie zugeführt wird, oder die mehr Energie abgibt, als ihr zugeführt wurde. Eine solche Anordnung wird als **Perpetuum mobile** („sich ständig bewegend“) bezeichnet. Eine der Ideen für ein solches Perpetuum mobile zeigt die Abbildung. Es handelt sich dabei um eine Konstruktion, die der holländische Mathematiker SIMON STEVIN (1548–1620) angegeben hat.



Ebene wirken mit einer geringeren Kraft in der entgegengesetzten Richtung. Die gesamte Kette soll sich ständig in Pfeilrichtung bewegen.

Ein solches Perpetuum mobile kann nicht funktionieren. Es widerspricht dem Energieerhaltungssatz, der besagt, dass Energie weder erzeugt noch vernichtet, sondern nur von einer Form in andere Formen umgewandelt werden kann.

Bereits im Jahre 1775 erklärten die Pariser Akademie der Wissenschaften und die Royal Society in London als die damals weltweit führenden wissenschaftlichen Einrichtungen, dass sie keinen Vorschlag für ein Perpetuum mobile mehr prüfen werden. Trotzdem gab es noch zahlreiche Versuche, ein Perpetuum mobile zu konstruieren.

Allerdings dauerte es noch mehr als ein halbes Jahrhundert, bis mit dem allgemeinen **Energieerhaltungssatz** eine fundierte Begründung für diesen Beschluss gegeben werden konnte.

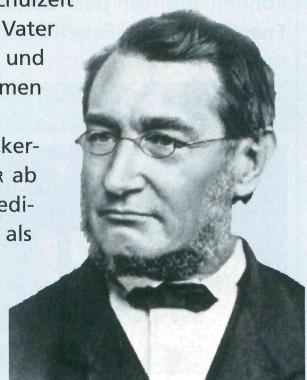
Anfang des 19. Jahrhunderts wurden vor allem die Begriffe Kraft, Wärme, Bewegung und Arbeit genutzt. Der Begriff Energie (abgeleitet vom griechischen *energia* = Wirksamkeit) wurde erst um 1850 in die Physik eingeführt. Insbesondere die Bedeutungsvielfalt des Begriffs Kraft erschwerte die damalige Situation erheblich. Kraft wurde als Synonym für mechanische Energie und nach G. W. LEIBNIZ (1646–1716) auch für die heutige kinetische Energie verwendet.

Im ersten Drittel des 19. Jahrhunderts kamen eine Reihe von Forschern, u.a. auch M. FARADAY (1791 bis 1867), einer Formulierung des allgemeinen Energieerhaltungssatzes sehr nahe. Die letzten, entscheidenden Schritte vollzogen zwischen 1840 und 1850 vor allem drei Wissenschaftler.

Wesentlichen Anteil an der Entdeckung des Energieerhaltungssatzes hatte neben dem englischen Physiker JAMES PRESCOTT JOULE (1818–1889) der deutsche Arzt JULIUS ROBERT MAYER (Abb. 1).

JULIUS ROBERT MAYER wurde am 25. November 1814 als Sohn eines Apothekers in Heilbronn geboren. Schon während seiner Schulzeit wurde er von seinem Vater mit physikalischen und chemischen Problemen vertraut gemacht.

Nach einer Apothekerlehre studierte MAYER ab 1832 in Tübingen Medizin und war ab 1838 als Arzt tätig.



1 JULIUS ROBERT
MAYER (1814–1878)

1845 veröffentlichte er den Aufsatz „Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel“, in dem erstmals der Satz von der Erhaltung der Energie formuliert war, nach dem Energie weder entstehen noch verschwinden kann. MAYER übertrug dieses Prinzip auf Lebewesen. Eine wissenschaftliche Anerkennung seiner Leistungen blieb dem Nichtphysiker MAYER lange versagt. Erst nach 1860 wurden seine Leistungen allgemein anerkannt. Die Verdienste von J. P. JOULE, nach dem heute die Einheit der Energie (1 Joule) benannt ist, bestehen vor allem in der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Arbeit und Wärme. Er fand heraus: Mechanische Arbeit kann in Wärme und Wärme in mechanische Arbeit umgewandelt werden. Beide physikalischen Größen sind zueinander äquivalent.

Den entscheidenden Durchbruch erzielte der Physiker HERMANN VON HELMHOLTZ mit seiner 1847 erschienenen Arbeit „Über die Erhaltung der Kraft“. HELMHOLTZ fasste darin alle damaligen Erkenntnisse zusammen und kam zu einer allgemeinen Fassung des Energieprinzips, wenn auch in der Terminologie der damaligen Zeit.