

# ENERGIE

FRANZ LEMMERMEYER

Der Begriff der Energie ist schwieriger zu verstehen als Begriffe wie Länge, Zeit, Geschwindigkeit oder Masse: Energie kann man weder sehen noch schmecken. Die klassische Definition ist folgende:

Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten.

Um aus dieser Charakterisierung schlau zu werden, muss man sich Beispiele ansehen.

**Energiequellen.** In Energiequellen wird Energie „erzeugt“. Warum dieses Wort in Anführungszeichen steht, werden wir weiter unten sehen.

Energiequellen (oder Energieträger) sind Körper, die Energie besitzen. Dazu gehören

- Holz, Kohle, Gas, Erdöl und Benzin,
- Sonnenlicht, Wind, Wasser
- elektrischer Strom, Batterien
- Nahrung

Wenn man Holz oder einen anderen Kraftstoff verbrennt, wird Energie frei, nämlich Wärmeenergie. Diese kann man nutzen, um einen Motor anzutreiben (und einem Auto Bewegungsenergie zuzuführen) oder um Strom zu erzeugen. Letztendlich ist die Sonne der Energielieferant für fast alle Kraftstoffe: Holz, Kohle, Erdgas und Erdöl sind pflanzliche Produkte, die ohne Sonne nicht hätten wachsen können. Auch Wind- und Wasserkraftwerke gäbe es ohne die Sonne nicht: Wind entsteht, um Temperatur- und Luftdruckunterschiede in der Atmosphäre auszugleichen, und solche Unterschiede werden von der Sonne erzeugt; Wasserkraftwerke erzeugen Strom an Flüssen oder Stauseen; diese gibt es nur, weil es regnet, und ohne die Verdampfung von Wasser durch die Sonne gäbe es keinen Regen.

Selbst Atomkraftwerke erzeugen ihren Strom letztendlich durch Energien, welche Sonnen in radioaktiven Elementen wie Uran gespeichert

haben: Bei der Explosion von Sternen am Ende ihrer Lebenszeit werden Elemente wie Uran und Plutonium erzeugt und ins All geblasen.

Daneben gibt es noch geothermische Kraftwerke, welche unterirdische Wärme ausnützen (auch Thermalbäder nutzen die Wärme mancher Wasserquellen), und Gezeitenkraftwerke, welche aus der Bewegung von Wasser zwischen Ebbe und Flut Strom erzeugen.

Unser Körper erzeugt Energie durch die Aufnahme von Nahrung und die Verarbeitung von Nährstoffen; die einzelnen Vorgänge dabei verstehen wir heute ganz gut, allerdings ist die Sache alles andere als einfach.

Energie tritt in verschiedenen Formen auf:

- Bewegungsenergie
- Wärmeenergie: Diese ist im wesentlichen ebenfalls Bewegungsenergie, denn Wärme ist nichts anderes als die schnelle Bewegung von Molekülen und Atomen.
- Spannenergie: wenn man einen Bogen spannt, kann dieser Arbeit verrichten (nämlich einen Pfeil in Bewegung versetzen); Ähnliches gibt es bei Federn (Stoßdämpfer bei Autos).
- Lageenergie: Wenn man einen Körper fallen lässt, sorgt die Schwerkraft dafür, dass er immer schneller wird. Um einen Körper hochzuheben, muss man Energie aufwenden; der Körper „speichert“ diese Energie und gibt sie wieder frei, wenn er fällt.

Energie spielt also bei allen Vorgängen in unserem Leben eine Rolle: Energie bewegt unsere Autos (Verbrennungsmotor), erwärmt unsere Nahrung (Herd), kühlt Nahrungsmittel (Kühlschrank), lässt einen Fernsehapparat laufen (elektrischer Strom) und hält uns am Leben (Nahrung).

Bei allen diesen Vorgängen werden Energieformen in andere umgewandelt. Wir machen uns dies am Beispiel einer einfachen Dampfmaschine klar, welche eine alte Lokomotive antreibt.

Beim Verbrennen der Kohle wird chemische Energie in Wärmeenergie umgewandelt (wie das genau funktioniert, ist eine andere Frage; beim Verbrennen wird Kohlenstoff und Sauerstoff zu Kohlendioxid verbrannt, und dabei wird Energie frei). Mit dieser Wärmeenergie wird die Lokomotive angetrieben und in Bewegungsenergie verwandelt. Allerdings entsteht beim Verbrennen der Kohle nicht nur Wärme, sondern auch Licht (Feuer leuchtet; Strahlungsenergie) und Wind (warme Luft

bewegt sich nach oben; Bewegungsenergie). Beim Antreiben des Motors entsteht Reibung (und dadurch Wärme), das gleiche gilt, wenn die Lokomotive fährt (Luftwiderstand, Reibung auf den Schienen, Verformungsenergie).

## 1. LAGEENERGIE

Die Energie, die man aufwenden muss, um einen Körper hochzuheben, trägt zu dessen Lageenergie bei. Wovon hängt diese Energie ab? Es liegt nahe anzunehmen, dass die wesentlichen Faktoren die folgenden sind:

- Die Masse  $m$  des Körpers: man muss doppelt so viel Energie aufwenden, wenn man zwei Kisten hochhebt statt nur einer.
- Der Ortsfaktor  $g$ : Auf dem Mond wiegen Kisten weniger, und man braucht weniger Energie, um sie hochzuheben.
- Die Höhe, um die man sie anhebt: man braucht doppelt so viel Energie, wenn man einen Körper um 2 m anhebt statt um 1 m.

Die einfachste denkbare Formel zur Beschreibung der Lageenergie ist daher:

$$E_L = mgh$$

Dies ist tatsächlich richtig, wie wir noch sehen werden. Bevor wir die Formel anwenden, wollen wir uns um die Einheiten kümmern.

**Einheiten.** Mit  $[X]$  wollen wir die Einheit bezeichnen, in welcher eine physikalische Größe gemessen wird. Dabei benutzen wir in diesem Kapitel ausschließlich das SI-System (internationales Einheitensystem), und dies bedeutet, dass wir Masse in kg, Längen in m und Zeit in s messen. Dies schreiben wir kurz so:  $[m] = \text{kg}$  soll bedeuten, dass die Masse in kg gemessen wird; entsprechend ist  $[s] = \text{m}$  die Einheit der Länge und  $[t] = \text{s}$  die Einheit der Zeit. Wir haben auch schon die Einheit  $[v] = \text{m/s}$  der Geschwindigkeit und  $[a] = \text{m/s}^2$  der Beschleunigung gesehen.

Die Einheit der Energie können wir jetzt aus der Formel  $E_L = mgh$  ablesen:

$$[E_L] = [m] \cdot [g] \cdot [h] = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{m} = \text{kg m}^2/\text{s}^2.$$

Dies ist eine etwas sperrige Einheit; aus diesem Grund haben die Physiker dafür die Bezeichnung J (Joule) eingeführt.

**Beispiele.**

*Die Energie, welche man braucht, um eine Tafel Schokolade (etwa 100 g) um einen Meter anzuheben, beträgt etwa 1 J.*

Wir rechnen dazu alle Einheiten in kg, m und s um:

- $m = 0,1 \text{ kg}$ ,
- $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ,
- $h = 1 \text{ m}$ .

Also ist

$$E_L = m \cdot g \cdot h = 0,1 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ m} = 0,98 \text{ kg m/s}^2 \approx 1 \text{ J}.$$

*Um 1 ℓ Wasser um 1° C zu erwärmen, braucht man ungefähr 4000 J.*

Dies kann man durch Messungen feststellen und dient nur der Veranschaulichung. Mit derselben Energie könnte man eine Tafel Schokolade um 4000 m (also 4 km) anheben.

- (1) Welche Energie muss ein Kran aufbringen, um 250 kg Dachziegel in eine Höhe von 12 m zu heben?

Hier ist  $m = 250 \text{ kg}$  und  $h = 12 \text{ m}$ . Einsetzen ergibt

$$E_L = m \cdot g \cdot h = 250 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 12 \text{ m} = 29\,400 \text{ J}.$$

Der Kran braucht also 29,4 kJ.

- (2) Bei den Mondlandemissionen wurde in einer Mondumlaufbahn in 100 km Höhe über der Mondoberfläche die 4,7 t schwere Landekapsel abgekoppelt; nach der Mission musste die Landekapsel mit dem eingebauten Raketenmotor zurück in 100 km Höhe kommen, um an der Raumfähre anzudocken und die Heimreise anzutreten. Wie viel Energie braucht man in etwa, um die Mondfähre in 100 km Höhe zu bringen? Beachte, dass der Ortsfaktor auf dem Mond etwa  $g \approx 1,62 \text{ m/s}^2$  beträgt.

Hier ist  $m = 4700 \text{ kg}$  und  $h = 100\,000 \text{ m}$ . Einsetzen ergibt

$$E_L \approx 760\,000\,000 \text{ J} = 760 \text{ MJ}.$$

- (3) Wie viel Energie braucht man, um 0,2 l Wasser mit einer Temperatur von 20° zum Kochen zu bringen, also auf 100° C zu erwärmen?

Diese Aufgabe lösen wir mit dem Dreisatz. Für 1 l braucht man pro Grad Erwärmung 4000 J, für 0,2 l also 800 J. Weil wir das Wasser um 80° erwärmen müssen, brauchen wir dafür 64000 J, also 64 kJ.

### AUFGABEN

- (1) Welche Energie wird benötigt, um ein auf dem Boden liegendes Buch (Masse 650 g) in das 1,6 m hohe Bücherregal zu stellen?
- (2) Wie viel Energie muss eine Person mit der Masse 60 kg aufwenden, um morgens in den 3. Stock zu gehen, wenn jedes Stockwerk die Höhe 2,8 m hat?
- (3) Herr Miyake geht zu Fuß vom Fuß eines Bergs (700 m über dem Meeresspiegel) auf die Bergspitze (2800 m über dem Meeresspiegel). Um wieviel nimmt seine Lageenergie dabei zu?
- (4) Wenn man die Lageenergie eines Körpers der Masse 2 kg direkt in Wärmeenergie umwandeln und damit Wasser erwärmen könnte, wie hoch müsste der Körper liegen, um 2 l Wasser um 10° zu erwärmen?

## 2. BEWEGUNGSENERGIE

Die Bewegungsenergie eines Körpers hängt offensichtlich von seiner Masse und seiner Geschwindigkeit ab. Es kann aber nicht  $E_B = mv$  sein, weil die Einheit von  $mv$  gleich kg m/s ist, also sicherlich nicht die Einheit der Energie. Der Ausdruck  $mv^2$  dagegen hat die richtige Einheit. Wir werden uns nun davon überzeugen, dass

$$E_B = \frac{1}{2}mv^2$$

gilt.

Dazu betrachten wir einen fallenden Körper der Masse  $m$ . Wenn dieser  $h$  Meter fällt, nimmt seine Bewegungsenergie um  $E_L = mgh$  zu. Weil die Erdbeschleunigung  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  ist, hat er nach  $t$  Sekunden eine Endgeschwindigkeit  $v_E = gt$ . Die Durchschnittsgeschwindigkeit ist dabei  $v_m = \frac{1}{2}v_E = \frac{gt}{2}$ , weil sie linear von 0 bis  $gt$  steigt. Also hat er bis

dahin einen Weg der Länge  $h = v_m t$  zurückgelegt. Seine Bewegungsenergie am Schluss ist also

$$\begin{aligned}
 E_B &= E_L && \text{Lageenergie wird in Bewegungsenergie verwandelt} \\
 &= mgh && \text{Formel für Lageenergie} \\
 &= mgv_m t && \text{wegen } h = v_m t \\
 &= mg \frac{1}{2} v_E t && \text{wegen } v_m = \frac{1}{2} v_E \\
 &= \frac{1}{2} mg v_E \frac{v_E}{g} && \text{wegen } v_E = gt \\
 &= \frac{1}{2} m v_E^2
 \end{aligned}$$

Wir halten noch einmal die beiden Formeln fest, mit denen wir ausführlich arbeiten werden:

- $E_L = mgh$  ist die Lageenergie eines Körpers der Masse  $m$ , der bei einem Ortsfaktor  $g$  um die Höhe  $h$  angehoben wurde.
- $E_L = \frac{1}{2} m v^2$  ist die Bewegungsenergie eines Körpers der Masse  $m$ , der sich mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegt.

Damit kann man jetzt Probleme wie das folgende lösen:

*Mit welcher Geschwindigkeit trifft ein Stein, der aus 10 m Höhe herunterfällt, am Boden auf?*

Beim Fallen wird die Lageenergie des Steins (bei Vernachlässigung des Luftwiderstands) in Bewegungsenergie umgeformt. Also ist

$$mgh = \frac{mv^2}{2}.$$

Um nach  $v$  aufzulösen, gehen wir vor wie folgt:

$$\begin{array}{rcl}
 \frac{mv^2}{2} = mgh & & | \cdot 2 \\
 mv^2 = 2mgh & & | : m \\
 v^2 = 2gh & & | \sqrt{\phantom{x}} \\
 v = \sqrt{2gh}
 \end{array}$$

Also ist

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 10 \text{ m}} = 14 \text{ m/s}.$$

Der Stein trifft also mit einer Geschwindigkeit von 14 m/s auf, das sind 50,4 km/h.

Beachte, dass die Masse  $m$  des Körpers sich bei der Rechnung herauskürzt: Die Fallgeschwindigkeit hängt also bei Vernachlässigung des Luftwiderstands nicht von der Masse ab! Dies kann man bei einem Versuch in einer Vakuumkammer kontrollieren:

<https://www.youtube.com/watch?v=E43-CfukEgs>

### ÜBUNGEN

- (1) Wie groß ist die Bewegungsenergie eines 100 m-Läufers (80 kg), der etwa 10 m/s läuft?
- (2) Ein Ball fällt von einem 90 cm hohen Tisch auf den Boden. Mit welcher Geschwindigkeit trifft er auf dem Boden auf?
- (3) Ein Ball mit der Masse 200 g wird mit 10 m/s nach oben geworfen.
  - a) Welche Höhe erreicht er? Wann?
  - b) Welche Geschwindigkeit hat er in 1,8 m Höhe?
- (4) Aus welcher Höhe muss man einen Stein fallen lassen, damit er mit einer Geschwindigkeit von 108 km/h auf dem Boden auftrifft?
- (5) Die Kugel eines Fadenpendels wird 12 cm angehoben.
  - a) Mit welcher Geschwindigkeit schwingt die Kugel durch die Ruhelage?
  - b) Wie hoch müsste man die Kugel auslenken, damit sich diese Geschwindigkeit verdoppelt?
- (6) Peter springt vom 10 m-Turm ins Wasser.
  - a) Mit welcher Geschwindigkeit taucht er in das Wasser ein?
  - b) Aus welcher Höhe müsste er springen, wenn er nur halb so schnell eintauchen möchte?
- (7) Ein Ball wird aus einer Ausgangshöhe von 1,6 m über dem Boden nach oben geworfen und erreicht eine maximale Höhe von 8,8 Metern.
  - a) Beschreibe die Energieumwandlungen!
  - b) Mit welcher Geschwindigkeit wurde der Ball abgeworfen?

- c) Welche Geschwindigkeit hat der Ball in einer Höhe von 5,0 m über dem Boden?
- (8) Wie verändert sich die Lageenergie eines Körpers, wenn man
- (a) dessen Masse
  - (b) dessen Höhe
- verdoppelt bzw. verdreifacht?
- (9) Wie verändert sich die Bewegungsenergie eines Körpers, wenn man
- (a) dessen Masse
  - (b) dessen Geschwindigkeit
- verdoppelt bzw. verdreifacht?