

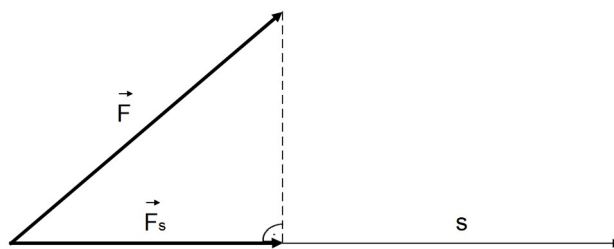
Energie¹

Arbeit

$$\text{Arbeit (Work)} = \text{Kraft} \cdot \text{Weg}$$
$$W = F \cdot s$$

Auf ein Objekt wirkt eine Kraft F entlang einer Strecke s .² Das Produkt ist die physikalische Größe „Arbeit“, eine skalare Größe.
(zu unterscheiden: die übliche Bedeutung von Arbeit³!)

Genauer: Es wird nur die Komponente der Kraft gerechnet, die in die Richtung des Weges geht. (vgl. Ziehen eines Schlittens⁴)



Wenn die Kraft senkrecht zum Weg wirkt, wird gar keine Arbeit verrichtet. Z.B.: Koffer tragen⁵, Raumstation ($F_G \perp s$)

Ebenso, wenn $s = 0$: Z.B.: Kraft gegen starre Wand, Koffer halten⁶

Einheit: $[W] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$ (Joule)⁷

- 1 Ein wirklich wichtiges Thema. Energie ist DIE Größe der Physik. Es zieht sich durch alle Bereiche der Physik durch und ist freilich auch im Alltag relevant: Energie ist in aller Munde.
- 2 Also ganz einfach: Eine Lok zieht einen Zug entlang eines Weges. Ich multipliziere die Kraft, die die Lok aufwendet, mit der Wegstrecke und bekomme als Ergebnis eine Arbeit. Je länger die Wegstrecke, desto mehr Arbeit wird verrichtet. Und: Je größer die Kraft, desto mehr Arbeit wird verrichtet.
- 3 Wenn ich z. B. geistig arbeite, ist das im physikalischen Sinn keine Arbeit, weil sich nichts bewegt. Die meiste Arbeit im physikalischen Sinn verrichten heute bei uns Maschinen.
- 4 Das passiert zwar selten, aber man muss es mitberücksichtigen. Wenn du einen Schlitten ziehst, wirst du normalerweise nicht wie eine Lok genau nach vorne ziehen, sondern schräg nach rechts oben – wie gezeichnet. Die Zeichnung erklärt dir, wie du zeichnerisch die Kraft F_s herausbekommst, die du zum Berechnen der Arbeit verwenden darfst. Solltest du die Winkelfunktionen schon gelernt haben, wirst du leicht herausfinden, dass gilt:
 $F_s = F \cdot \cos \alpha$, wobei α der Winkel zwischen F und s ist.
Halte dich bei dem aber nicht so lange auf. Wichtig ist, dass du „Arbeit“ verstehst. Und meistens gehen F und s eh in die gleiche Richtung.
- 5 Noch ein Sonderfall also: Beim Koffer ist klar: Ich gehe nach vorne und hebe nach oben. Damit ist da ein rechter Winkel. Heute montiert man auf Koffer prinzipiell Räder, sodass man die Mühe gleich gar nicht mehr hat. Wenn es schon keine Arbeit ist, kann man sie sich auch sparen ...
Bei der Raumstation, die in z.B. 400 km Höhe um die Erde kreist, ist auch klar: Die bewegt sich parallel zur Erdoberfläche, die Schwerkraft wirkt nach unten. Also wieder ein rechter Winkel.
- 6 Wenn du also dich gegen eine Wand mit aller Kraft stemmst, hilft es nichts: Es wird keine Arbeit verrichtet, weil kein Weg da ist. Ein Gewicht, das ich einfach halte – sei es noch so schwer – ergibt keine Arbeit, solange ich nicht einen Weg in die Kraftrichtung habe. Das Hochheben vom Boden freilich ist Arbeit: Der Weg geht in Kraftrichtung.
- 7 Eine wirklich wichtige Einheit! Auch wenn James P. Joule ein Engländer war, spricht man es französisch aus. Du kennst das Wort vermutlich eh: Es klingt wie „Tschuul“.
Du siehst, weil man nicht immer $\text{N} \cdot \text{m}$ sagen will, erfindet man ein neues Wort / eine neue Einheit. So wie man nicht „Seemeilen pro Stunde“ sagt, sondern „Knoten“.

Arbeit ist eine Form von Energieübertragung. Die Größe „Energie“ hat auch die Einheit J.⁸

Bsp.: gleich viel Arbeit:
10 Ziegel EG → 1. Stock
5 Ziegel EG → 2. Stock
doppelte Arbeit:
10 Ziegel EG → 2. Stock

erläutert im Video: „Arbeit schafft Energie“ 2:00 - 9:42⁹

Leistung

Bei Arbeit wird nicht unterschieden, wie lange die Verrichtung braucht. Es ist aber ein Unterschied, ob man z.B. die Ziegel in 1 min oder in 10 min in den 1. Stock trägt. Die physikalische Größe der Leistung gibt darüber Auskunft:

Leistung (Power) = Arbeit / benötigte Zeit

$$P = \frac{W}{t}$$

Einheit: [P] = J/s = W (Watt)¹⁰

D.h. eine Maschine (Kran, Auto) mit z.B. doppelter Leistung kann
- in gleicher Zeit die doppelte Arbeit oder
- dieselbe Arbeit in der halben Zeit verrichten.

Beachte: Eine gewisse Energiemenge (z.B. el. Energie für 0,20€) kann in einem Motor eine gewisse Arbeit verrichten: In einem Kran in 10 min, in einer Wasserpumpe vielleicht in 1 h. Die Leistung des Krans ist höher.

Alte Einheit: 1 PS = 736 W = 0,736 kW¹¹

Merke: 1 PS ≈ 0,75 kW

⁸ Wir wissen freilich offiziell noch gar nichts über das Thema Energie. Das sei hier nur einmal vorläufig erwähnt.

⁹ [youtube.com/watch?v=ItlWdgtteuw](https://www.youtube.com/watch?v=ItlWdgtteuw). Wir schauen uns das auch im Unterricht an. Zwei Anmerkungen dazu:

1. Da Joule eine sehr kleine Einheit ist, verwendet man in der Praxis die Einheit Kilowattstunden (kWh), wobei 1 kWh = 3.600.000 J ist. Wir lernen das etwas später.

2. Wenn im Video gesagt wird: „Arbeit = Gewicht mal Höhe“ passt das freilich zu dem, was wir gelernt haben. Die Kraft, die es braucht, um etwas hoch zu heben, ist gleich groß wie die Gewichtskraft, sie muss diese ja aufheben. Und der Weg, entlang dessen das passiert, ist die Höhe. Statt F_G schreibt man im Video einfach G.

¹⁰ Diese Einheiten sind sehr wichtig und dürfen keinesfalls verwechselt werden. Die Einheit Watt kennt man meist aus dem Alltag besser: Je mehr Watt, desto leistungsfähiger ein Gerät / heller eine Lampe etc.

¹¹ Die PS sind gut vorstellbar, weil sie jeder vom Auto kennt: Es ist die maximale Leistung, die ein Auto (bei „Vollgas“) aufbringen kann. Wenn also ein Auto 100 PS hat, so ist seine Maximalleistung 73600 W = 73,6 kW. Im Vergleich dazu steckt im Treibstoff (Benzin/Diesel/Gas) oder im Akku Energie, die zum Antrieb benutzt wird. Nehmen wir an, die Energie in einem vollen Auto-Akku beträgt 180 MJ; diese kann weitgehend verlustarm in Arbeit umgewandelt werden. Wie lange kann ich dann mit 100 PS fahren? Wir rechnen die Formel um und bekommen: $t = W/P = 180.000.000/73.600 = 2446 \text{ s} = 41 \text{ min}$.

Da gilt $W = P \cdot t$, ist die Einheit $J = W \cdot s$ (Wattsekunde). Vor allem beim el. Strom ist die gebräuchlichste Energieeinheit 1 kWh:

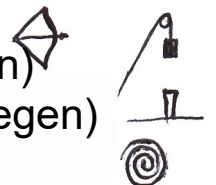
$$1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J (Ws)}^{12}$$

($\cdot 1000$ für k, $\cdot 3600$ für h \rightarrow s)

Potentielle und kinetische Energie¹³

„Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten.“¹⁴

- Bsp.: a. gespannter Bogen (kann Pfeil abschießen)
b. hochgehobene Masse (kann Pflock einschlagen)
c. aufgezogene Uhrenfeder (kann Uhrzeiger bewegen)



Beachte: 1. Arbeit wurde verrichtet: Spannen, Heben, Aufziehen¹⁵
2. Energie wurde dadurch gespeichert.
3. Dieselbe Menge Arbeit kann durch die Energie wieder verrichtet werden.

Potentielle Energie

Die genannten Bsp. sind Arten von potentieller Energie (wörtlich „mögliche“, häufig „Lage“-Energie genannt: höhere Lage des Gewichts, Spannung des Bogens / der Feder)

Beim hochgehobenen Gewicht ergibt sich als Arbeit („Hubarbeit“):

$$W = F \cdot s = F_G \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

Diese Arbeit ist dann als potentielle Energie gespeichert¹⁶, und diese kann wieder die gleiche Menge Arbeit verrichten:

$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$

- 12 Bitte das auch unbedingt merken! Die Einheit kWh („Kilowattstunde“) ist in der Technik viel üblicher als die Einheit Joule. Schauen wir uns wieder den Auto-Akku an: $180 \text{ MJ} = 180.000.000 \text{ J} = 50 \text{ kWh}$.
- 13 Wir schauen uns vorerst nur die potentielle Energie an; die kinetische kommt später.
- 14 Ein wichtiger Satz, den man sich immer wieder vorsprechen soll. Die drei Beispiele zeigen das recht anschaulich:
a. Der gespannte Bogen enthält Energie. Man könnte stundenlang warten und erst dann abschließen. Erst dann wird Arbeit verrichtet.
b. Auch hier hat die hochgehobene Masse Energie. Wieder könnte man tagelang warten, bis man die Arbeit verrichten lässt.
c. Die Feder einer mechanischen Armbanduhr ist spiralförmig und enthält Energie. Würde man die Uhr anhalten können, könnte man diese Energie noch nach Jahren wieder herausholen.
Du wirst dich fragen, wie das bei einer Uhr mit Batterie aussieht: In der Batterie steckt auch Energie drinnen, doch ist diese nicht so leicht „sichtbar“ wie bei der Feder. Sie kann auch jahrelang gelagert werden. (Ein wenig geht „verloren“ – freilich. Wenn wir in Zukunft von „verlorener“ Energie reden, meint man immer, dass sie in Wärmeenergie umgewandelt wurde. Aber das nur nebenbei.)
- 15 Jetzt kommt noch etwas (Punkt 1) dazu: Die Energie kommt erst zustande, indem man vorher Arbeit reinsteckt. Die Punkte 2 und 3 habe ich vorher schon erklärt.
- 16 Beachte: Energie und Arbeit haben freilich die gleiche Einheit, nämlich J(oule).