

Arbeit = Work [Joule]

Arbeit muss es quasi geben.
Denn der Mensch besteht aus Bauch.
Arbeit ist das halbe Leben,
und die andre Hälfte auch.
<http://www.derherbstzeitlose.com/Zitate/arbeit.htm>

Physikalische Arbeit $W(\text{ork}) = \text{Kraft } F \text{ mal Weg } s$ (siehe 2.Hebelgesetz) [Newton·Meter = Joule **J**]

Wenn ich meine 100 kg den Mount Everest hochheben (8000 m), so habe ich Hubarbeit geleistet:
und zwar: $m \cdot g \cdot h = 100 \cdot 10 \cdot 8000 = 8\,000\,000 \text{ Joule} = \mathbf{8 \text{ MJ}}$, das ist auch der **Tagesbedarf des Menschen**

Hubarbeit: mit genug Höhe $W_H = m \cdot g \cdot h$ (75 kg 1 m hoch heben: $W_H = 75 \cdot 10 \cdot 1 = 750 \text{ Joule}$)

Wenn ich meine 100 kg den Mount Everest hochheben (8000 m), so habe ich Hubarbeit geleistet:
und zwar: $m \cdot g \cdot h = 100 \cdot 10 \cdot 8000 = 8\,000\,000 \text{ Joule} = \mathbf{8 \text{ MJ}}$, das ist auch der **Tagesbedarf des Menschen**

Beschleunigungsarbeit (von Geschwindigkeit Null auf Geschwindigkeit v): $W_B = \frac{m}{2} v^2$

Herleitung:

Arbeit = Kraft mal Weg = $F \cdot s$

Kraft wird ersetzt durch Masse mal Beschleunigung $F = m \cdot a$

Weg wird ersetzt durch den Weg bei Beschleunigung, zeitfrei: $s = \frac{v^2}{2a}$ ergibt: $W_B = m \cdot a \cdot \frac{v^2}{2a} = m \cdot \frac{v^2}{2}$

Reibungsarbeit: Die Reibungskraft mal Weg $W_R = F_R \cdot s (= f \cdot F_N \cdot s)$

Anwendung beim PKW:

Ein Auto mit 1000 kg soll von Geschwindigkeit Null auf Geschwindigkeit 108 km/h = 30 m/s gebracht werden und dann **1000 m** weiterfahren (dafür braucht man bei 108 km/h 33 Sekunden)

	Arbeit	Zeit	Leistung
Beschleunigung	$W_B = \frac{m}{2} v^2 = \frac{1000}{2} \cdot 30^2 = 450 \text{ kJ (einmal)}$ $= 500 \cdot 900 \text{ Joule}$	bei guter Beschleunigung kann man 10 s annehmen	45 kW (einmal)
Rollreibung	$W_R = F_R \cdot s = f \cdot (F_N) \cdot s = 0,025 \cdot (1000 \cdot 10) \cdot 1000 = 250 \text{ kJ}$	33 s	7,5 kW /km
Luftreibung	$W_{LR} = c_W \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot s = 0,32 \cdot 0,5 \cdot 1,29 \cdot 1,8 \cdot 30^2 \cdot 1000$ <i>Luftwiderstandswert $c_W = 0,32$</i> <i>Luftdichte $\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3$</i> <i>Querschnittsfläche $A = 1,8 \text{ m}^2$</i>	33 s	10 kW /km
Bergfahrt mit 10% Steigung	$W_H = m \cdot g \cdot h = 1000 \cdot 10 \cdot (10\% \text{ von } 1000\text{m}) = 1000 \text{ kJ}$	33 s	30 kW /km

Man sieht, die stärkste Leistung wird beim Bergfahren verbraucht!

1kWh = 3,6 MJ = 860 kcal entspricht: 20 min Raumheizung, 1 warme Dusche, 1/2 Tagesbedarf des Menschen, 4000m Bergsteigen, 1/3 kg Brot, 1/4 kg Holz, 1/8 kg Heizöl, 10 Stunden eine 100 W-Lampe brennen lassen, 1 Tag Kühlschrank, 0,7 km Flug, 1 km PKW, 4 km Bus, 6 km Moped, 8 km Bahn, 16 km zu Fuß, **44 km Radfahren**

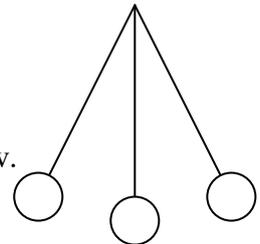
Energie = Energy [Joule]

Wieso hat die Energie die gleiche Einheit wie die Arbeit, nämlich Joule?

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{Energie} = \text{gespeicherte Arbeit} = \text{Arbeitsfähigkeit} \\ \text{Arbeit} = \text{umgesetzte Energie} \end{array}}$$

Energieerhaltungssatz: In einem **abgeschlossenen System** bleibt die **Summe der Energien konstant erhalten** (wird nur eventuell in andere Formen umgewandelt)

Beim Pendel wird die **Höhenenergie** (Lage-Energie) des Pendels in **Bewegungsenergie** (durch Beschleunigungsarbeit) umgewandelt und anschließend wieder in **Höhenenergie** (durch Hubarbeit) umgewandelt, usw.



weitere Energieumwandlungsketten:

Essen: chemische Energie → Bewegungsenergie und Wärme

Hauptling Energeti bleibt auf dem Bahnhof mit seinem Hosenträger Marke „Elasto-ewig“ an der Toilettentür hängen. Im Zug merkt er, dass der Hosenträger strammer und strammer wird. Bei der Haifischbar steigt er aus und – fliegt mit rasantem Tempo an die Toilettentür zurück, die in tausend Stücke zerbricht. **Frage:** Was für eine **Energieumwandlungskette** war das ?

Bewegungsenergie des Zuges → Spannungsenergie des Gummis → Bewegungsenergie des Hauptlings → Verformungsenergie der Toilettentür → Wärme

Wie man sieht, ist am Ende der Kette fast immer **Wärme als Nebenprodukt**. Beim freien Fall einer Stahlkugel wird die Kugel immer weniger hoch springen, weil ein Teil der Energie in Wärme umgewandelt wird. Könnten wir damit die Wohnung heizen, wenn wir nur die Kugel oft genug fallen lassen (???)

Leistung (Power) [Watt]

Die Leistung kam in Mode, als die Fließbänder erfunden wurden. Je mehr Arbeit pro Zeiteinheit gemacht wird, desto mehr OUTPUT hat man und desto größer ist die physikalische Leistung

$$\boxed{\text{Leistung } P = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeiteinheit}} = \frac{W}{t} \quad \text{Einheit: [Joule/Sekunde = Watt]}}$$

daraus ergibt sich auch die Formel **Arbeit = Leistung mal Zeit** [Joule = Watt·Sekunde]

1 kWh (Kilowattstunde) = 1000·3600 Wattsekunden = 3,6 Megajoule ≈ halber Tagesbedarf

Menschenleistung beim „Nichtstun“ (Fernsehen)	Tagesbedarf von 2 kWh dividiert durch 24 Stunden ergibt 2000 Wh:24h =	83 Watt
Durchschnittsleistung von Sportlern		300 Watt
Spitzenleistung beim Aufstehen am Morgen = 1 Pferdestärke = 1 PS	Hubarbeit von 75 kg gegen die Schwerkraft 1 m hoch in einer Sekunde = $75\text{kg} \cdot 10\text{m/s}^2 \cdot 1\text{m} / 1\text{s} \implies$	750 Watt

Leistung von Glühlampen und PC, Radio: **60–300 Watt**

Leistung von Wärmemaschinen (Herd, Waschmaschine, Geschirrspüler, Heizung) **2000–3000 W**

Leistung von **Autos** ab 40 PS = 30 kW (Kilowatt),

(heute meist über 100 PS = 75 kW = 100-fache Menschenspitzenleistung)

Impulsänderung durch einen Kraftstoß

Der **Kraftstoß** entsteht, wenn eine **Kraft** eine **kuze Zeit** (etwa 1/10 bis 3/10 Sekunden) lang auf einen Körper einwirkt. Dadurch wird der Bewegungszustand, der durch **Masse und Geschwindigkeit** gegeben ist, **geändert**. Je länger die Kraft wirkt, desto größer wird die Geschwindigkeitszunahme sein, allerdings wird sie bei kleinen Massen größer sein als bei großen Massen.

Kraftstoß = Kraft mal kurze Zeit = $F \cdot \Delta t$ [Einheit: Newtonsekunde = $Ns = kg \cdot m/s^2 \cdot s = kg \cdot m/s$]

Jetzt kann man die Kraft zerlegen in Masse mal Beschleunigung, die Beschleunigung in Geschwindigkeitsänderung pro Zeit und das ergibt dann:

$$F \cdot \Delta t = m \cdot a \cdot \Delta t = m \cdot \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} \cdot \Delta t = m \cdot (v_2 - v_1) = m \cdot v_2 - m \cdot v_1$$

Da hier die Größe $m \cdot v$ zweimal vorkommt, einmal vor dem Kraftstoß und dann nachher, so gibt man ihr einen neuen Namen: **IMPULS p**

Impuls p(ulse) = Masse mal Geschwindigkeit = $m \cdot v$ [Einheit: $kg \cdot m/s$]
--

Der Impuls ist neben der Energie eine weitere Erhaltungsgröße. Im Gegensatz zur skalaren Energie ist der Impuls ein Vektor. Bewegt sich ein Massenpunkt mit konstanter Geschwindigkeit, dann ist sein Impuls definiert als das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit. Die Richtung des Impulses ist die der Geschwindigkeit:

Formel	Einheit
$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$	$[p] = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Kraftstoß = Impulsänderung $\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta \vec{p}$	$[F \cdot \Delta t] = 1 \text{ N} \cdot \text{s} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Wenn sich die Geschwindigkeit schnell ändert, dann treten auch bei kleinen Impulsen, d.h. kleinen Massen oder kleinen Geschwindigkeiten, hohe Kräfte auf. Mit den Sicherheitssystemen im Fahrzeugbau wird angestrebt, die Zeit zum Abbremsen zu verlängern (Airbag). Die zeitliche Änderung des Impulses wird dadurch kleiner, die Kräfte auf die Personen verkleinern sich.

Der Impulserhaltungssatz bei völlig elastischen Systemen

Wirken auf ein abgeschlossenes System von völlig elastischen Massenpunkten keine äußeren Kräfte, dann bleibt die Summe der Impulse zeitlich konstant :

$p_1 + p_2 \text{ (vorher)} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 \text{ (nachher)}$
--

<p>Bei elastischen Systemen (Billardspiel) wird der Impuls vollständig abgegeben.</p>	<p>Bei unelastischen Systemen (Faust in Sandsack) werden nachher beide Körper eine gemeinsame Geschwindigkeit erhalten („Festkleben“) und ein Teil der Energie wird in Wärme umgewandelt.</p>
<p>Elastischer Stoß (Münzen, Flummi)</p>  <p>gleiche Münzen = gleiche Massen Impuls vorher = Impuls nachher $m \cdot v + m \cdot 0 = m \cdot 0 + m \cdot v$</p> <p>die 2. Münze erhält die Geschwindigkeit der 1. Münze und die erste bleibt stehen</p> 	<p>Unelastischer Stoß (Hammer und Nagel, Auto und Baum)</p>  <p>Ein Auto fährt mit 54 km/h in einen Baum!</p> <p>Frage: Mit welcher Kraft wird der Fahrer nach vorne geschleudert?</p> <p>Hier gilt der Impulssatz:</p> <p>Impuls vorher: Menschmasse · Geschwindigkeit = 80 kg · 15 m/s = 1200 kg·m/s</p> <p>Impuls nachher: 0 kg·m/s</p> <p>Impulsänderung daher: 1200 kg·m/s = Kraft mal Zeitdauer</p> <p>Die Verknautschung wird ca. 0,1 s dauern (0,75 m Knautschzone mit mittlerer Geschwindigkeit 7,5 m/s)</p> <p>daher: Kraft = 1200 kg·m/s : 0,1 s = 12000 N (entspricht einer kurzzeitigen Einwirkung von 1200 kg!)</p> 
<p>Rückstoß beim Gewehr</p> <p>Aus einem Gewehr mit Masse $m_G = 3 \text{ kg}$ wird eine Kugel mit Masse $m_K = 10 \text{ g}$ mit einer Anfangsgeschwindigkeit von $v = 700 \text{ m/s}$ abgefeuert. Wie groß ist die Rückstoßgeschwindigkeit x des Gewehres, wenn man es nicht fest gegen die Schulter drückt?</p> $m_G \cdot x = m_K \cdot 700 \quad : m_G$ $x = 0,010 \cdot 700 / 3 = 2,66 \text{ m/s}$	<p>Pullover an die Wand werfen:</p> <p>Der Pullover bleibt an der Wand "kleben" und fällt dann senkrecht herunter (nicht wie Bälle, die zurückhüpfen!)</p> <p>Ein Pullover mit 0,5 kg mit 4m/s an die Wand geworfen ergibt eine Energievernichtung (die Bewegungsenergie wird in Wärme umgewandelt), die mit dem Energieerhaltungssatz berechnet werden kann:</p> <p>Energie vor dem Wandstoß: $E = m \cdot v^2 / 2 = 0,5 \cdot 4^2 / 2 = 4 \text{ Joule}$ Energie nach dem Wandstoß: $E = m \cdot v^2 / 2 = 0,5 \cdot 0^2 / 2 = 0 \text{ Joule}$</p> <p>daher wurden 5 Joule Energie in Wärme umgewandelt</p>

➔ Wiederholung der Mechanik–Grundbegriffe mittels **Kreuzworträtsel und Puzzle**