GET it digital

Modul 2: Energie und Leistung

Stand: 1. Oktober 2026

Lizenz

Weiternutzung als OER ausdrücklich erlaubt: Dieses Werk und dessen Inhalte sind lizenziert unter CC BY 4.0. Ausgenommen von der Lizenz sind die verwendeten Logos sowie alle anders gekennzeichneten Elemente. Nennung gemäß TULLU-Regel bitte wie folgt: „GET it digital Modul 2: Energie und Leistung“ von M. Hillgärtner, S. Micun, F. Stergianos Lizenz: CC BY 4.0.

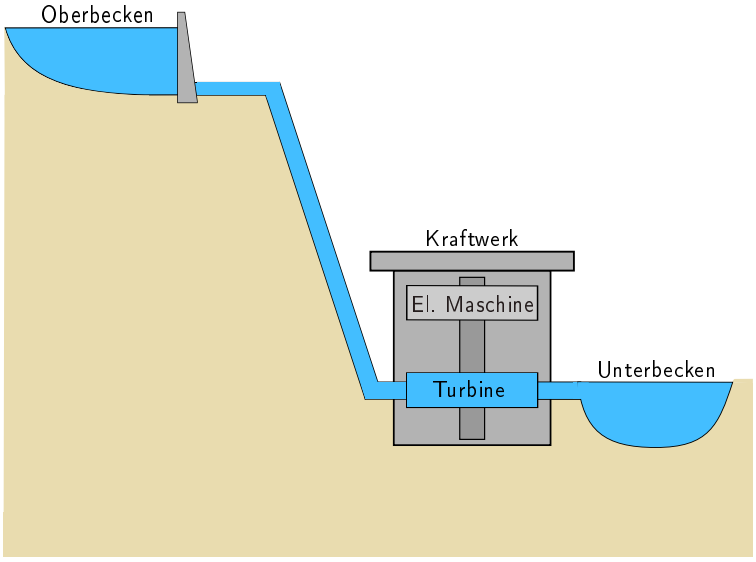
Der Lizenzvertrag ist hier abrufbar:
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de
Das Werk ist online verfügbar unter:
https://getitdigital.uni-wuppertal.de/module/modul-2-energie-und-leistung

Lernziele: Energie und Leistung

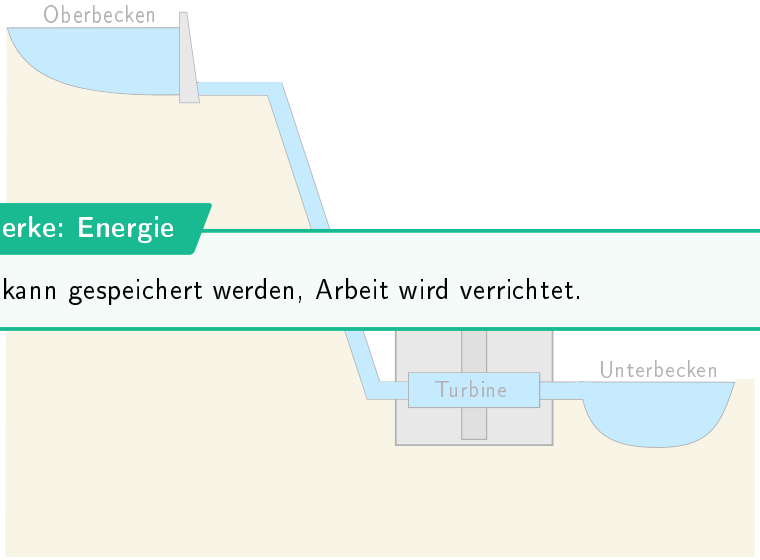
Die Studierenden können

- Energie, elektrische Arbeit, Leistung und Wirkungsgrad benennen.
- verstehen, wie Energie in elektrischen Systemen umgewandelt und genutzt wird.
- die elektrische Arbeit, Leistung und den Wirkungsgrad berechnen.
- die Effizienz von Energieumwandlungssystemen analysieren.

Pumpspeicherkraftwerk



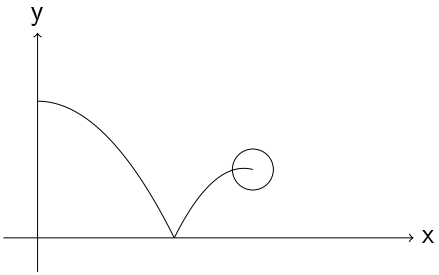
Pumpspeicherkraftwerk



Merke: Energie

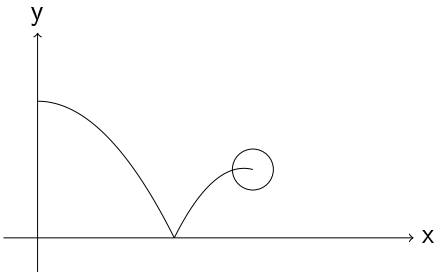
Energie kann gespeichert werden, Arbeit wird verrichtet.

Der Energieerhaltungssatz



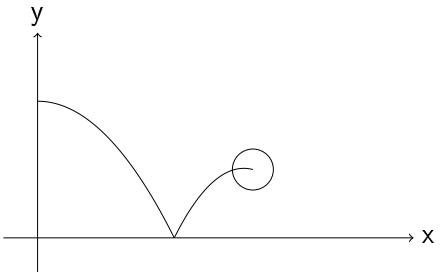
- $E_{\text{ges}} = \text{Konstant}$

Der Energieerhaltungssatz



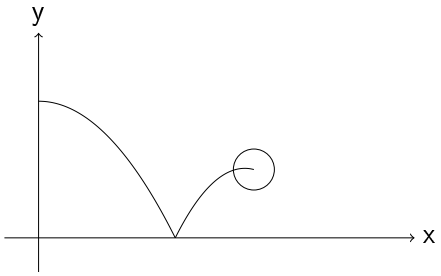
- $E_{\text{ges}} = \text{Konstant}$
- $E_{\text{ges}} = E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} + E_{\text{v}}$

Der Energieerhaltungssatz



- $E_{\text{ges}} = \text{Konstant}$
- $E_{\text{ges}} = E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} + E_{\text{v}}$
- $E = \int \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{s}$

Der Energieerhaltungssatz



- $E_{\text{ges}} = \text{Konstant}$
- $E_{\text{ges}} = E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} + E_{\text{v}}$
- $E = \int \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{s}$

Merke: Energie

- Energie ist eine Erhaltungsgröße
- Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden
- Energie kann lediglich die Energieform ändern

Verschiedene Energieformen

- Energie beschreibt die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten, und tritt in verschiedenen Formen auf

Verschiedene Energieformen

- Energie beschreibt die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten, und tritt in verschiedenen Formen auf

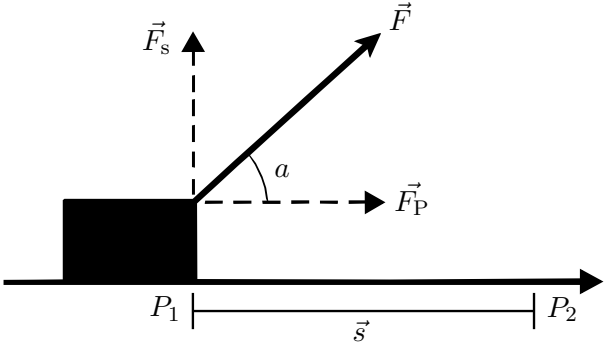
Merke: Energieformen

- Kinetische Energie (Bewegungsenergie)
- Thermische Energie (Wärmeenergie)
- Potenzielle Energie (Lageenergie)
- Elektrische Energie
- Chemische Energie
- Kernenergie
- Strahlungsenergie

Die Energie

- Die übertragene Energie ergibt sich aus dem Linienintegral des Skalarprodukts von Kraft und Weg

$$E = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{s} \qquad [E] = 1 \text{ Joule} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$$



Die elektrische Energie

- Eine elektrische Kraft $\vec{F}_{\mathrm{el}}$ wirkt auf eine Ladung Q, wenn sie sich in einem elektrischen Feld $\vec{E}$ befindet

$$\vec{F}_{\mathrm{el}} = Q \cdot \vec{E}$$

- Eingesetzt in die allgemeine Formel der Energie bekommt man:

$$E_{\mathrm{el}} = Q \cdot \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s}$$

Die elektrische Energie

- Eine elektrische Kraft $\vec{F}_{\mathrm{el}}$ wirkt auf eine Ladung Q, wenn sie sich in einem elektrischen Feld $\vec{E}$ befindet

$$\vec{F}_{\mathrm{el}} = Q \cdot \vec{E}$$

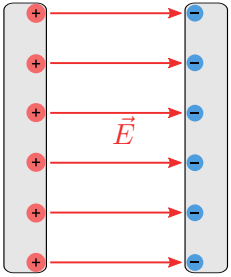
- Eingesetzt in die allgemeine Formel der Energie bekommt man:

$$E_{\mathrm{el}} = Q \cdot \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s}$$

- Bei einem konstanten Feld erhält man:

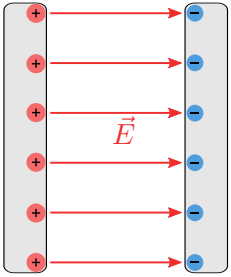
$$E_{\mathrm{el}} = Q \cdot U \qquad [E_{\mathrm{el}}] = 1 \text{ Joule} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

Elektrische Energiespeicher

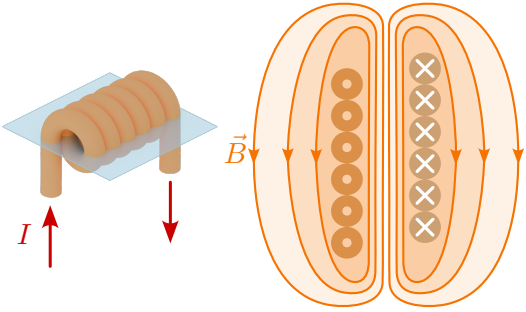


- Der ideale Plattenkondensator speichert die Energie im elektrischen Feld

Elektrische Energiespeicher

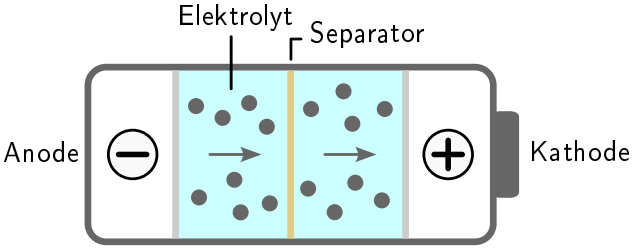


- Der ideale Plattenkondensator speichert die Energie im elektrischen Feld



- Die ideale Spule speichert die Energie im magnetischen Feld

Chemischer Energiespeicher



- Die Batterie speichert Energie in chemischer Form durch elektrochemische Reaktionen

Die Arbeit

- Arbeit ist die Änderung der Energieform

$$W = \Delta E \qquad [W] = 1 \text{ Joule} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$$

Die Arbeit

- Arbeit ist die Änderung der Energieform

$$W = \Delta E \qquad [W] = 1 \text{ Joule} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$$

- $W = -\int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{s}$

Die Arbeit

- Arbeit ist die Änderung der Energieform

$$W = \Delta E \qquad [W] = 1 \text{ Joule} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$$

- $W = -\int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{s}$

Merke: Arbeit

Das Vorzeichen der Arbeit ist kontextabhängig: Die Arbeit ist positiv, wenn Energie einem System hinzugefügt wird und negativ, wenn Energie einem System entnommen wird.

Die elektrische Arbeit

- $\vec{E} = \dfrac{\vec{F}_{\mathrm{el}}}{Q} \quad \Rightarrow \quad \vec{F}_{\mathrm{el}} = Q \cdot \vec{E}$
- $W_{\mathrm{el}} = \displaystyle\int_{P_1}^{P_2} -Q \cdot \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} \quad \Rightarrow \quad W_{\mathrm{el}} = -Q \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s}$
- $W_{\mathrm{el}} = Q \displaystyle\int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} \quad \Rightarrow \quad W_{\mathrm{el}} = Q \cdot U$
- $I = \dfrac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} \quad \Rightarrow \quad Q = I \cdot t$

- $\vec{E} = \dfrac{\vec{F}_{\mathrm{el}}}{Q} \quad \Rightarrow \quad \vec{F}_{\mathrm{el}} = Q \cdot \vec{E}$
- $W_{\mathrm{el}} = \int_{P_1}^{P_2} -Q \cdot \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} \quad \Rightarrow \quad W_{\mathrm{el}} = -Q \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s}$
- $W_{\mathrm{el}} = Q \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} \quad \Rightarrow \quad W_{\mathrm{el}} = Q \cdot U$
- $I = \dfrac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} \quad \Rightarrow \quad Q = I \cdot t$
- Eingesetzt ergibt dies nun folgenden Ausdruck

$$W_{\mathrm{el}} = U \cdot I \cdot t \qquad [W_{\mathrm{el}}] = 1 \text{ Joule} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

Die elektrische Arbeit

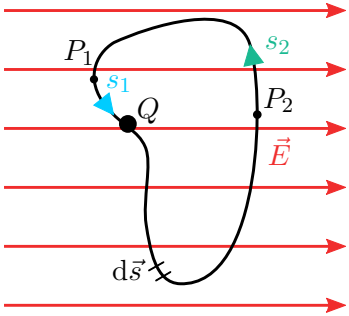
- $\vec{E} = \dfrac{\vec{F}_{\mathrm{el}}}{Q} \quad \Rightarrow \quad \vec{F}_{\mathrm{el}} = Q \cdot \vec{E}$
- $W_{\mathrm{el}} = \int_{P_1}^{P_2} -Q \cdot \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} \quad \Rightarrow \quad W_{\mathrm{el}} = -Q \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s}$

Merke: Arbeit

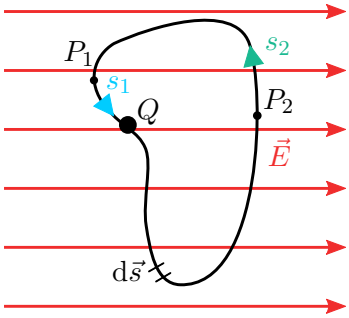
- Energie beschreibt das Potential Arbeit zu verrichten.
- Energie kann gespeichert werden, Arbeit nicht.
- Für das Verrichten einer Arbeit wird immer eine Zeitdauer benötigt.
- Ein Momentanzustand ist immer der Ist-Zustand der Energieverteilung.
- Das Verrichten elektrischer Arbeit bedarf immer eines Stromflusses.

$$W_{\mathrm{el}} = U \cdot I \cdot t \qquad [W_{\mathrm{el}}] = 1 \text{ Joule} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

Wegintegral der elektrischen Arbeit

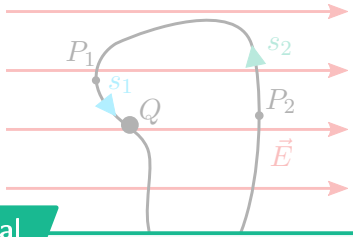


Wegintegral der elektrischen Arbeit



- $|W_{\mathrm{el}}| = \left| -Q \cdot \int_{s_1} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} \right| = \left| -Q \cdot \int_{s_2} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} \right|$
- $W_{\mathrm{el}} = -Q \cdot \int_{s_1} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} - Q \cdot \int_{s_2} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} = -Q \cdot \oint_{s} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} = 0 \rightarrow \oint_{s} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} = 0$

Wegintegral der elektrischen Arbeit



Merke: Wegintegral

Das geschlossene Wegintegral $\oint_s \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s}$ ist gleich Null.

- $|W_{\mathrm{el}}| = \left| -Q \cdot \int_{s_1} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} \right| = \left| -Q \cdot \int_{s_2} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} \right|$
- $W_{\mathrm{el}} = -Q \cdot \int_{s_1} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} - Q \cdot \int_{s_2} \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} = -Q \cdot \oint_s \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} = 0 \rightarrow \oint_s \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{s} = 0$

Die Leistung

- $W = \int P \cdot \mathrm{d}t$

Durch Umstellung der Formel ergibt sich, dass die Leistung P die Änderung der Arbeit über die Zeit ist

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

Die Leistung

- $W = \int P \cdot \mathrm{d}t$

Durch Umstellung der Formel ergibt sich, dass die Leistung P die Änderung der Arbeit über die Zeit ist

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

Die elektrische Leistung:

Bei gleichbleibender Arbeit über die Zeit ergibt sich der folgende Ausdruck:

$$P = \frac{W_{\mathrm{el}}}{t} = \frac{U \cdot I \cdot \cancel{t}}{\cancel{t}} = U \cdot I \qquad [P] = 1 \text{ Watt} = 1 \text{ W}$$

Verschiedene Leistungsarten

Arten	**Potentialgröße**	**Flussgröße**	**Formel**
elektrisch	Spannung (U)	Strom (I)	$P_{\text{el}} = U \cdot I$
translatorisch	Kraft (F)	Geschwindigkeit (v)	$P_{\text{tr}} = F \cdot v$
rotatorisch	Moment (M)	Winkelgeschw. (ω)	$P_{\text{rot}} = M \cdot \omega$
thermisch	Temperaturdiff. (ΔT)	Wärmedurchgang ($k \cdot A$)	$P_{\text{th}} = \Delta T \cdot k \cdot A$
fluidisch	Druck (p)	Volumenstrom ($\dot{V}$)	$P_{\text{fl}} = p \cdot \dot{V}$

Verschiedene Leistungsarten

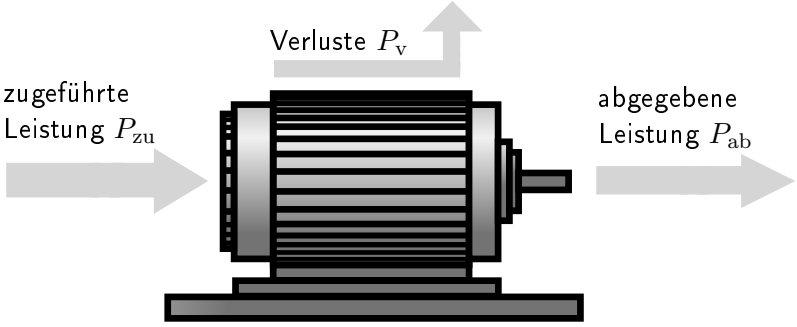
Arten	Potentialgröße	Flussgröße	Formel
elektrisch	Spannung (U)	Strom (I)	$P_{\text{el}} = U \cdot I$
translatorisch	Kraft (F)	Geschwindigkeit (v)	$P_{\text{tr}} = F \cdot v$
rotatorisch	Moment (M)	Winkelgeschw. (ω)	$P_{\text{rot}} = M \cdot \omega$
thermisch	Temperaturdiff. (ΔT)	Wärmedurchgang ($k \cdot A$)	$P_{\text{th}} = \Delta T \cdot k \cdot A$
fluidisch	Druck (p)	Volumenstrom ($\dot{V}$)	$P_{\text{fl}} = p \cdot \dot{V}$

Merke: Leistung

- Elektrische Arbeit ist die über die Zeit integrierte Leistung.
- Leistung ist die verrichtete Arbeit pro Zeit.

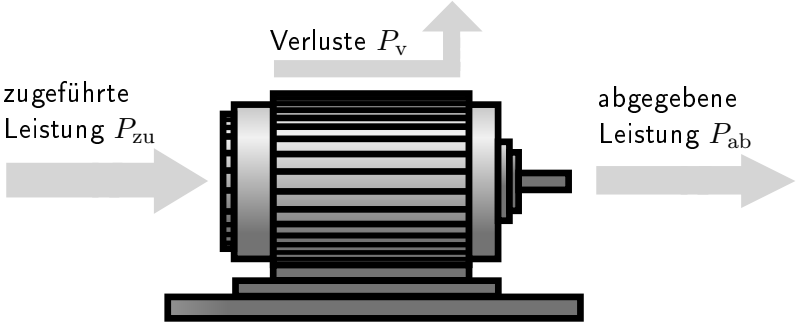
Der Wirkungsgrad

- Der Wirkungsgrad η beschreibt das Verhältnis von abgegebener zu zugeführter Leistung in einem System und ist ein Maß für die Effizienz



Der Wirkungsgrad

- Der Wirkungsgrad η beschreibt das Verhältnis von abgegebener zu zugeführter Leistung in einem System und ist ein Maß für die Effizienz

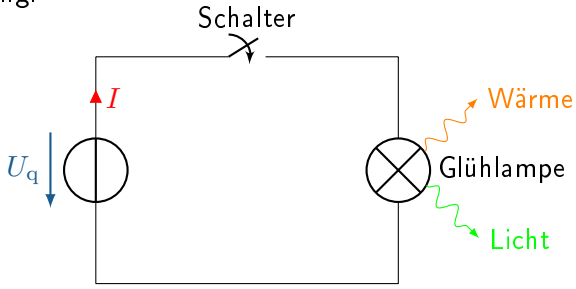


Merke: Wirkungsgrad

- $\eta = \frac{P_\mathrm{ab}}{P_\mathrm{zu}} \cdot 100\,\%$.

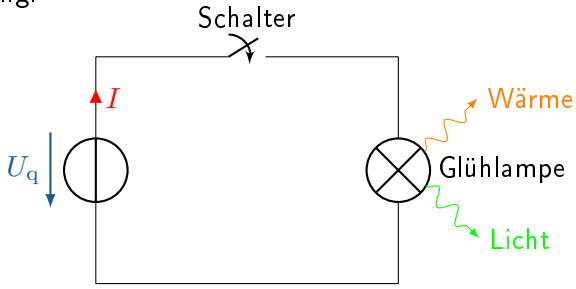
Der Wirkungsgrad

- Beispielschaltung:



Der Wirkungsgrad

- Beispielschaltung:



- Leistungsbilanz: mit $\eta = 5\,\%$

$$P_\mathrm{v} = P_\mathrm{zu} - P_\mathrm{ab}$$
$$P_\mathrm{zu} = U_q \cdot I$$
$$P_\mathrm{ab} = P_\mathrm{zu} \cdot \eta$$