



4.5 Rechnen mit Bezugspfeilen

Strombezugspfeile

Eine Stromstärke bezeichnet man als positiv, wenn Stromrichtung und Bezugspfeilrichtung (Zählpfeilrichtung) gleich sind (**Bild 1**). Bei verschiedenen Richtungen von Strom und Bezugspfeil ist die Stromstärke negativ.

Spannungsbezugspfeile

Ist die Richtung der Spannung (+ nach -) gleich der Bezugspfeilrichtung, so ist die Spannung positiv (**Bild 2**). Sind die Richtungen von Spannung und Bezugspfeil verschieden, so ist die Spannung negativ.

Knotenregel

Bei jedem Knoten fließt so viel Strom zu wie ab (**Bild 3**). Setzt man die Bezugspfeile in Richtung auf den Knoten, erhält man die allgemeine Schreibweise der Knotenregel.

Maschenregel

Bei jedem elektrischen Netzwerk ist die Summe der Spannungen null, wenn man von einem Punkt des Netzwerkes auf beliebigem Weg zu ihm selbst zurückfährt (**Bild 3**). Dabei müssen die Spannungen positiv gezählt werden, wenn der Umfangungssinn gleich der Richtung des Bezugspfeils ist, und negativ, wenn diese Richtungen zueinander verschieden sind.

Die Ergebnisse können auch negativ sein, da man Bezugspfeile oft willkürlich setzen kann.

Aufgaben zu 4.5

Die Aufgaben sollen mit Anwendung der Knotenregel und der Maschenregel gelöst werden.

- In Schaltung **Bild 4** ist $I = 2\text{ A}$ und $R_1 = 2\Omega$, die Spannung an G1 beträgt 6V. Wie groß ist die Spannung U am Ladegerät G2?
- Wenn in der Schaltung **Bild 4** die Spannung $U = 10\text{ V}$ beträgt, sind $U_{G1} = 8\text{ V}$ und $I = 4\text{ A}$. Wie viel Ohm hat R_1 ?
- Wie groß ist R_L in Schaltung **Bild 5**, wenn $I_1 = 3\text{ A}$ ist?
- In Schaltung **Bild 5** ist ein Akkumulator frisch geladen, der andere entladen. Welche Stromstärke I_2 stellt sich ohne R_L ein und welche Richtung hat I_2 ?

Knotenregel:	Maschenregel:
$I_1 + I_2 + \dots = 0$	$U_1 + U_2 + \dots = 0$
I_1, I_2, \dots Stromstärken in Richtung der Bezugspfeile U_1, U_2, \dots Teilspannungen an den Schaltelementen	

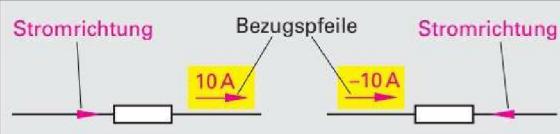


Bild 1: Stromrichtungen und Bezugspfeile

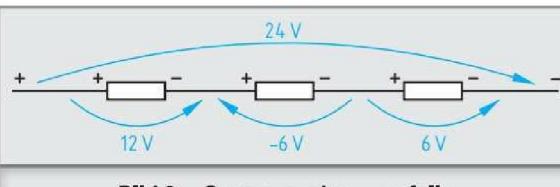


Bild 2: Spannungsbezugspfeile

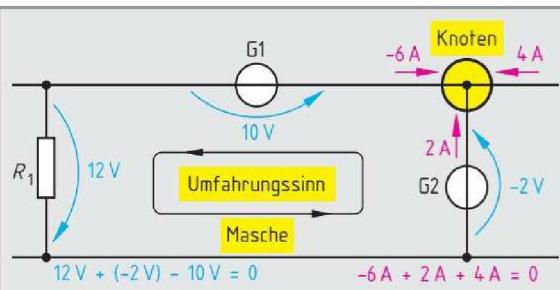


Bild 3: Anwendung der Knotenregel und Maschenregel

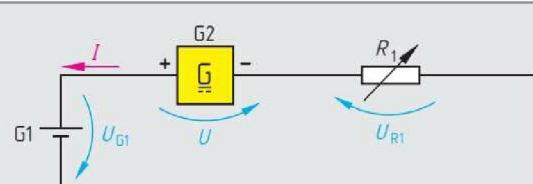


Bild 4: Ladeschaltung für Akkumulator

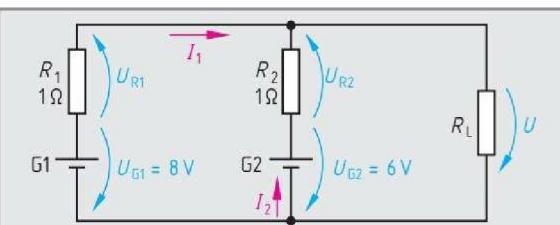


Bild 5: Netzwerk mit Akkumulatoren



- Der Wirkungsgrad η ist das Verhältnis von abgegebener Leistung P_{ab} zur aufgenommenen Leistung P_{zu} .
- Er ist ein Maß für die Wirtschaftlichkeit der Energieumwandlung, z.B. in einem Gerät oder in einem Motor.
- Bei einer Energieumwandlung entstehen immer Verlustleistungen P_v , z.B. Stromwärmeverluste.
- Der Wirkungsgrad soll möglichst groß sein, nahe 1, bzw. 100%.
- Die Formeln für den Wirkungsgrad beziehen sich immer nur auf Wirkleistungen P und gelten für Gleichstrom-, Einphasen-Wechselstrom- und Dreiphasen-Wechselstromkreise.

1. Geben Sie in der **Tabelle** zwei Formeln zum Berechnen des Wirkungsgrades an. Ergänzen Sie die fehlenden Fachbegriffe und Formelzeichen.

Tabelle: Berechnung des Wirkungsgrades

Wirkungsgrad	$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{P_{ab}}{P_{ab} + P_v}$
η	Hirkungsgrad
P_{ab}	Leistungsabgabe
P_{zu}	Leistungsaufnahme
P_v	Verlustleistung

2. Berechnen Sie **a)** die Leistungsabgabe P_{ab} einer 40-W-Glühlampe (**Bild 1**) mit einem Wirkungsgrad von 0,05 und **b)** die Verlustleistung P_v . **c)** Begründen Sie im Antwortsatz das Herstellungsverbot von Glühlampen.

Geg.: $P_{zu} = 40 \text{ W}$, $\eta = 0,05$

Ges.: a) P_{ab} b) P_v

Lösung:

a) $P_{ab} = \eta \cdot P_{zu} = 0,05 \cdot 40 \text{ W} = 2 \text{ W}$

b) $P_v = P_{zu} - P_{ab}$
 $40 \text{ W} - 2 \text{ W} = 38 \text{ W}$



Bild 1: 230-V-Glühlampe

c) Antwortsatz: _____



Bei Elektromotoren ist die angegebene Bemessungsleistung P_N immer die an der Welle abgegebene Wirkleistung P_{ab} .



3. Auf dem Leistungsschild eines Elektromotors steht die Angabe 22 kW. Beim Bemessungsbetrieb treten 2200 W Verluste auf. Berechnen Sie vom Motor den Wirkungsgrad als Dezimalzahl und in %.

Geben Sie das Ergebnis mit einem Antwortsatz an.

Geg.: $P_{ab} = 22 \text{ kW}$, $P_v = 2200 \text{ W}$

Ges.: 22000 W

Lösung:

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{P_{ab}}{P_{ab} + P_v}$$

$$\frac{22000 \text{ W}}{22000 + 2200 \text{ W}} = 0,9 \Rightarrow 90\%$$

Antwortsatz: _____

4. Der Elektromotor einer Schmutzwasser-Tauchpumpe (**Bild 2**) hat eine Bemessungsleistung von 1100 W und nimmt 1392 W aus dem 230-V-Netz auf. Die Wasserpumpe hat einen Wirkungsgrad η_p von 0,75. Berechnen Sie **a)** den Gesamtwirkungsgrad η_G der Motor-Schmutzwasser-Tauchpumpe, **b)** die abgegebene Leistung P_{ab} der Motorpumpe.

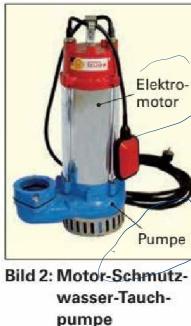
Geg.: $P_{zu}^N = 1100 \text{ W}$
 $P_{zu} = 1392 \text{ W}$
 $\eta_p = 0,75$

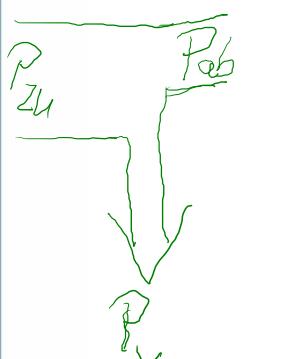
Ges.: a) P_{ab} b) η_G

Lösung:

a) $\eta_M = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{1100 \text{ W}}{1392 \text{ W}} = 0,78$

$\eta_G = \eta_M \cdot \eta_p = 0,78 \cdot 0,75 = 0,60$





$$\eta_M = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

$$\eta_p = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

$$\eta_G = \eta_M \cdot \eta_p$$



4.7.3 Wirkungsgrad und Arbeitsgrad

Wirkungsgrad und Arbeitsgrad sind die Verhältnisse von Nutzen zu Aufwand. Meist verwendet man den Wirkungsgrad. Daneben gibt es den Nutzungsgrad (Amperestundenwirkungsgrad, Ah-Wirkungsgrad) für Akkumulatoren.

Der Gesamtwirkungsgrad berechnet sich als Produkt der Einzelwirkungsgrade.

Beispiel 1: Wirkungsgrad berechnen

Der Motor eines CD-Spielers hat einen Wirkungsgrad von 0,2 und nimmt 2W auf. Wie groß ist seine mechanische Leistungsabgabe?

Lösung:

$$\eta = P_{\text{ab}} / P_{\text{auf}} \Rightarrow P_{\text{ab}} = \eta \cdot P_{\text{auf}} = 0,2 \cdot 2 \text{W} = 0,4 \text{W}$$

Aufgaben zu 4.7.3

- Ein Kleinmotor entwickelt ein Kraftmoment von 4mNm bei einer Umdrehungsfrequenz von 100 je s. Seine Stromaufnahme beträgt dabei 3500mA bei einer Spannung von 3,2V. Berechnen Sie den Wirkungsgrad.
- Der Motor einer Kühlpumpe gibt ein Kraftmoment von 1Nm bei einer Umdrehungsfrequenz von 1500 je min ab. Sein Wirkungsgrad wird zu 10% geschätzt. Berechnen Sie die Stromaufnahme bei 6V Gleichspannung.
- Berechnen Sie den Wirkungsgrad des 3,2-V-Motors von Bild 1 bei einer Belastung von 2mNm.
- Berechnen Sie aus den Kennlinien Bild 1 den Wirkungsgrad des 3,2-V-Motors bei einer Drehzahl von 2800/min.
- Berechnen Sie vom stabilisierten Netzgerät Bild 2 a) Ausgangsleistung vom Transformator, b) Ausgangsleistung vom Gleichrichter, c) Eingangsleistung vom Stabilisierungsteil, d) Wirkungsgrad der Strecke Eingang Transformator bis Ausgang Gleichrichter. e) Geben Sie eine Formel zur Berechnung eines Gesamtwirkungsgrades aus den einzelnen Wirkungsgraden an.
- Das Netzgerät Bild 2 besteht aus vier Baugruppen mit verschiedenen Wirkungsgraden. a) Geben Sie eine Formel zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrades aus den Einzelwirkungsgraden an. b) Berechnen Sie die Ausgangsströme der einzelnen Baugruppen.

$\eta = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{auf}}}$	$\eta_{\text{ges}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$
$W_{\text{ab}} = P_{\text{ab}} \cdot t_1$	$\zeta = \frac{W_{\text{ab}}}{W_{\text{auf}}}$
$W_{\text{auf}} = P_{\text{auf}} \cdot t_2$	

η Wirkungsgrad (η griech. Kleinbuchstabe Eta)
 ζ Arbeitsgrad (ζ griech. Kleinbuchstabe Zeta)
 P_{ab} Leistungsabgabe
 P_{auf} Leistungsaufnahme
 W_{ab} abgegebene Arbeit während t_1
 W_{auf} aufgenommene Arbeit während t_2

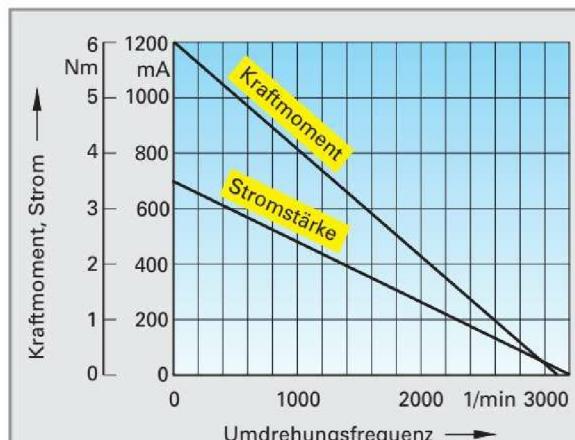


Bild 1: Kennlinien eines Kleinmotors

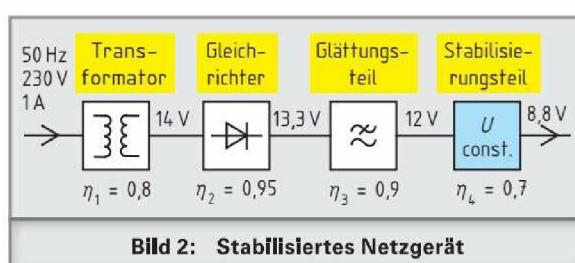


Bild 2: Stabilisiertes Netzgerät

- Ein Transformator für eine Sicherheitsstromversorgung nimmt im Jahr während 4350 Stunden eine Leerlaufleistung von 4W auf. Während 30 Stunden im Jahr gibt er 120W bei einem Wirkungsgrad von 85 % ab. Wie groß sind a) Arbeitsaufnahme, b) Arbeitsgrad?
- Eine Akkumulatorenbatterie für eine unterbrechungsfreie Stromversorgung erfordert während 2400 Stunden zur Erhaltungsladung 15W. Während 1980 Stunden wird mit einem Wirkungsgrad von 80 % eine Leistung von 1,2kW abgegeben. Wie groß sind a) gesamte Arbeitsaufnahme, b) Arbeitsgrad?



4.10.3 Sekundärelemente (der Energieelektronik) aufladen

Die elektrische Ladung Q ist das Produkt aus Stromstärke I und der Zeit t . Ihre Einheit ist die Amperesekunde bzw. im besonderen Coulomb¹ (C). Umgangssprachlich wird sie oft als Ladekapazität bezeichnet.

Beispiel 1: Akkumulator laden

Ein Saugroboter hat eine durchschnittliche Leistung von 30W bei $U = 14,4\text{V}$. Die Ladekapazität beträgt 2700mAh. Berechnen Sie a) den Ladestrom I , wenn der Saugroboter in 3h vollständig geladen wird, b) die Zeit t bis zur Rückkehr zur Ladestation.

Lösung:

$$\text{a)} I = \frac{Q}{t} = \frac{2700\text{mAh}}{3\text{h}} = 900\text{mA}$$

$$\text{b)} t = \frac{U \cdot Q}{P} = \frac{14,4\text{V} \cdot 2700\text{mAh}}{30\text{W}} = 1,3\text{h}$$

Aufgaben zu 4.10.3

- Berechnen Sie nach **Tabelle 1 a)** die elektrische Energie, b) die Ladedauer t bei einem mittleren Ladestrom von 400mA bzw. 1,5A.
- Die Batterie eines Elektrofahrzeugs wird an einer Stamtankstelle geladen (**Bild 1**). Berechnen Sie die Ladung Q .
- Drei Powerpacks besitzen Lithium-Ionen-Akkumulatoren mit Kenndaten nach **Tabelle 2**. Berechnen Sie a) die gespeicherte Energie je Powerpack, b) die maximale Leistung am jeweiligen Ausgang, c) die Entladedauer in h, wenn die komplette Energie am Ausgang 2 eines Powerpacks P3 entnommen wird, d) den Ladestrom, wenn bei einem Powerpack P2 nach 468 min die Ladeanzeige 75% anzeigen soll.
- 1kWh aus erneuerbaren Energien kostet ca. 0,35 €. Berechnen Sie die Kosten für 1kWh, wenn Sie Zellen von Typ AA (Mignon) verwenden. ($8 \times 1,5\text{V}/2,8\text{Ah}$ für 1,69 €)
- Ein Elektrofahrrad besitzt einen tragbaren Lithium-Ionen-Akkumulator mit 423Wh. a) Wie groß ist die Ladung, wenn es sich um eine 48-V-Batterie handelt? b) Welche Stromstärke ist notwendig, wenn die Batterie in 3h bei einer Restladung von 20% auf 80% geladen werden soll?
- Bestimmen Sie den durchschnittlichen Energiebedarf im Intervall von 0 bis 14 min. (**Bild 2**)

$Q = I \cdot t$	$W = P \cdot t$	$W = U \cdot Q$
Q Ladung I Stromstärke t Zeit	W Elektrische Energie U Spannung P Leistung	

Die Fläche unter der Ladekurve entspricht der Ladung.

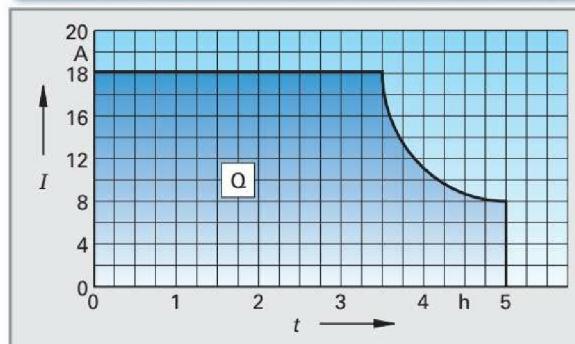


Bild 1: Ladekurve eines Elektrofahrzeugs

Tabelle 1: Akku-Werkzeuge

Bezeichnung	Akkuspannung	Ladekapazität
Stichsäge	18,0V	4000mAh
Schrauber	7,2V	1300mAh
Klebe pistole	7,2V	1300mAh
Universalschneider	3,6V	1300mAh
Multischleifer	10,8V	1500mAh
Bohrhammer	14,4V	3000mAh

Tabelle 2: Kenndaten Powerpacks

Art	U_{Akku}	Ladekapazität	Ausgang 1	Ausgang 2
P1-2600	3,3V	2600mAh	5V/1A	—
P2-5200	3,3V	5200mAh	5V/1A	5V/2,1A
P3-7800	3,3V	7800mAh	5V/1A	5V/2,1A

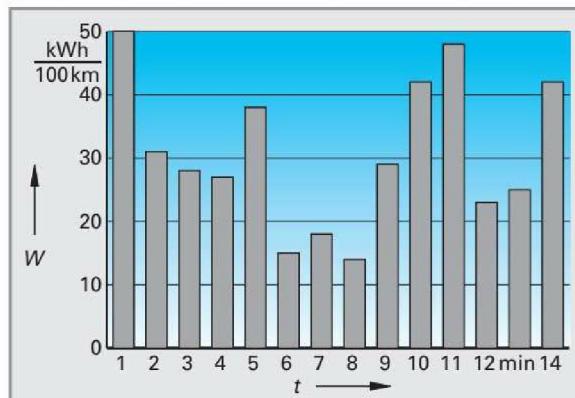


Bild 2: Energiebedarf in Segmenten

¹ CHARLES AUGUSTIN DE COULOMB, franz. Physiker, 1736 bis 1806

[VAh]
[Wh]

$$Q = I \cdot t$$

1. Übungsaufgabe

Diese Aufgabe ist bewusst sehr einfach gehalten und dient dem grundsätzlichen Verständnis! Die Übungsaufgaben 2 und folgende entsprechen dann dem Niveau der IHK Prüfungen!

Auf einem Akku mit 12 V Spannung ist der Wert 2200 mAh angegeben. Wie lange hält der Akku bei einer konstanten Stromentnahme von 900 mA?

$$\begin{aligned} & \text{Circuit diagram: } 12V \text{ battery, } 900 \text{ mA load, } 2200 \text{ mAh capacity.} \\ & t = \frac{Q}{I} = \frac{2200 \text{ mAh}}{900 \text{ mA}} = 2,44 \text{ h} \\ & 0,44 \cdot 60 = 26,4 \text{ min} \end{aligned}$$

2. Übungsaufgabe

Zur Datensicherheit sollen alle Geräte im Serverraum der Dagobert Duck GmbH an eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) vom Typ VFI angeschlossen werden. Als Leistungsreserve soll mit 30 % gerechnet werden. Bitte wählen Sie aus den unten aufgeführten USVs diejenige aus, die alle Anforderungen erfüllt.

Zur Umrechnung der Scheinleistung in die Wirkleistung kann mit der Formel $VA = 1,55 * W$ gerechnet werden.

Geräte im Serverraum:

- 1 x Fileserver / Windows Server 2016 650 W
- 1 x Webserver / Linux Ubuntu Server 16.04 650 W
- 1 x Verwaltungsserver 600 W
- 1 x Router mit Firewall 120 W
- 3 x Monitor 45 W
- 5 x LAN Switch 35 W

$$\left. \begin{array}{l} 1 x \text{ Fileserver / Windows Server 2016 650 W} \\ 1 x \text{ Webserver / Linux Ubuntu Server 16.04 650 W} \\ 1 x \text{ Verwaltungsserver 600 W} \\ 1 x \text{ Router mit Firewall 120 W} \\ 3 x \text{ Monitor 45 W} \\ 5 x \text{ LAN Switch 35 W} \end{array} \right\} 2330 \text{ W} \cdot 1,55 = 3615 \text{ VA} \cdot 73 = 4095 \text{ VA}$$

USVs die zur Auswahl stehen:

- A. Online USV mit 4000 VA
- B. Online USV mit 5000 VA ←
- C. Offline USV mit 5000 VA
- D. Line Interactive USV mit 6000 VA

3. Übungsaufgabe

Zwei Disk-Arrays mit einer Leistungsaufnahme von jeweils 360 VA sollen an eine Online USV angeschlossen werden. Die USV enthält 24 Akkumulatoren mit jeweils 12 V Spannung und einer Kapazität von jeweils 3,6 Ah.

Bei einem Netzausfall soll die USV den Betrieb der Disk-Arrays aufrecht erhalten, solange bis die Akkus eine Restladung von 35% erreicht haben. Danach sollen die Disk Arrays kontrolliert herunter gefahren werden.

Wie lange kann die USV den Betrieb der Disk-Arrays aufrecht erhalten (Autonomiezeit), wenn davon ausgegangen wird, dass die alle 24 Akkumulatoren bei Eintritt des Stromausfalls zu 100% aufgeladen sind?

$$\begin{aligned} Q &= \frac{W}{U} [t] \\ Q \cdot t &= \frac{W \cdot t}{U} (\approx Q) \\ Q \cdot t &= \frac{W}{Q} \end{aligned}$$

$$2 \cdot 360 \text{ VA} = 720 \text{ VA}$$

$$Q = \frac{W}{U} \Rightarrow t = \frac{W}{Q}$$

$$\frac{674 \text{ VAh}}{720 \text{ VA}} \approx 0,94 \text{ h} \approx 56 \text{ min}$$

