

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1 Elektrische Ladung: Kapitel ohne Aufgaben..... | 3 |
| 2 Elektrischer Strom: Kapitel ohne Aufgaben..... | 3 |
| 3 Übungen Ladung Strom..... | 3 |
| 3.1 Mignon-Akku..... | 3 |
| 3.2 Handy-Akku..... | 4 |
| 3.3 Strom- und Spannungsmessung..... | 5 |
| 3.4 Eigenschaften von Strom- und Spannungsmessern..... | 5 |
| 4 Elektrische Spannung: Kapitel ohne Aufgaben..... | 5 |
| 5 Elektrische Energie und Leistung: Kapitel ohne Aufgaben..... | 5 |
| 6 Wirkungsgrad: Kapitel ohne Aufgaben..... | 5 |
| 7 Übungen Spannungen, Energie, Leistung, Wirkungsgrad..... | 6 |
| 7.1 Akku-Schrauber..... | 6 |
| 7.2 Energie..... | 7 |
| 7.3 Vergleich Glühlampe – Energiesparlampe..... | 8 |
| 7.4 Standby-Schaltungen..... | 8 |
| 7.5 Faustformel: was kosten Standby-Schaltungen im Jahr?..... | 9 |
| 7.6 Vergleich Netzteil – Akku – Batterie | 10 |
| 8 Das Ohmsche Gesetz..... | 12 |
| 8.1 Teilkapitel ohne Aufgaben..... | 12 |
| 8.2 Aufgaben: Widerstandskennlinien zeichnen..... | 12 |
| 8.3 Berechnung des Widerstandswertes aus den Materialgrößen..... | 14 |
| 8.4 Aufgabe Elektrozuleitung Küchenherd..... | 14 |
| 8.5 Aufgabe Hochspannungsleitung..... | 15 |
| 9 Elektrischer Stromkreis..... | 15 |
| 10 Parallelschaltung von 3 Solarzellen (3 Spannungsquellen)..... | 15 |
| 11 Reihenschaltung von 3 Solarzellen (3 Spannungsquellen)..... | 15 |
| 11.1 Messung des Kurzschlussstroms..... | 15 |
| 11.2 Messung der Leerlaufspannung..... | 15 |
| 11.3 Reihenschaltung von 3 Verbrauchern..... | 15 |
| 11.4 Gesetze der Reihenschaltung..... | 15 |
| 11.5 Grafische Ermittlung der Größen in einer Reihenschaltung..... | 15 |
| 11.6 Verluste durch Verlängerungskabel..... | 16 |
| 11.7 Potenziometer als veränderbarer Widerstand | 17 |
| 11.8 Potenziometer als Spannungsteiler..... | 17 |
| 11.9 Elektrische Tankanzeige mit Potenziometer..... | 18 |
| 11.10 Stromkreisdanken..... | 18 |
| 11.11 Ersatzschaltbild Leitungswiderstand..... | 19 |
| 12 Spannungsquelle mit Innenwiderstand..... | 19 |
| 12.1 Ersatzschaltbild..... | 19 |
| 12.2 Auswirkungen des Innenwiderstandes..... | 19 |
| 12.3 Berechnung der Klemmenspannung bei bekanntem Innenwiderstand..... | 19 |
| 12.4 Ermittlung des Innenwiderstandes..... | 19 |
| 12.5 Innenwiderstand von elektrischen Geräten..... | 19 |
| 12.6 Aufgabe: Bestimmung des Innenwiderstandes einer Batterie | 20 |
| 12.7 Rollerbatterie..... | 21 |
| 13 Übungen Reihen- und Parallelschaltungen..... | 23 |
| 13.10 Hochspannungsleitung..... | 26 |
| 13.11 Stromkreisdanken..... | 27 |
| 14 Knoten- und Maschenregel..... | 28 |
| 15 Berechnung gemischter Schaltungen..... | 28 |
| 16 Übungen gemischte Schaltungen..... | 28 |

| | |
|---|----|
| 16.1 Aufgabe Gemischt 1 (Labor)..... | 28 |
| 16.2 Aufgabe Gemischt 2 (Labor)..... | 29 |
| 16.3 Aufgabe Gemischt 3..... | 29 |
| 16.4 Aufgabe Gemischt 4..... | 30 |
| 16.5 Aufgabe Gemischt 5..... | 31 |
| 16.6 Aufgabe Gemischt 6..... | 32 |
| 16.7 Weihnachtsbaumbeleuchtung mit parallel geschalteten Lampen | 32 |
| 16.8 Stromkreisdenken..... | 33 |
| 16.9 Autoakku mit Innenwiderstand..... | 35 |
| 16.10 Entladung des Autoakkus mit der Lichtanlage..... | 35 |
| 17 Dioden und LEDs..... | 36 |
| 17.1 Schaltzeichen und Kennzeichnung der Anschlüsse..... | 36 |
| 17.2 Kennlinien..... | 36 |
| 17.3 Beschreibung der Kennlinien..... | 36 |
| 17.4 Typische LED-Schaltung..... | 36 |
| 17.5 Aufgabe des Vorwiderstandes..... | 36 |
| 17.6 Berechnung des Vorwiderstandes..... | 36 |
| 17.7 Grafische Ermittlung des Vorwiderstandes..... | 36 |
| 17.8 Übung: LED –Kennlinie und Arbeitsgerade..... | 36 |
| 17.9 Übung: Versuchsbeschreibung Kennlinienaufnahme..... | 37 |
| 17.10 Übung: E-Bike-Bremslicht..... | 37 |
| 17.11 Vergleich Glühlampe - Energiesparlampe - LED-Beleuchtung..... | 39 |
| 18 Diodenschaltungen: Kapitel ohne Aufgaben..... | 39 |
| 19 Übungen Diode und LED..... | 40 |
| 19.1 Einweggleichrichter..... | 40 |
| 19.2 Verpolungsschutz..... | 41 |
| 19.3 Fön..... | 42 |
| 19.4 Vergleich Widerstands-Schaltung – LED-Schaltung..... | 43 |
| 19.5 LED-Schaltungen..... | 43 |
| 19.6 Zweiweggleichrichter (Brückengleichrichter)..... | 44 |
| 19.7 Solarleuchte..... | 45 |
| 19.8 Fahrrad-LED-Scheinwerfer..... | 45 |
| 19.9 LEDs: Eigenschaften, Versuche und Schaltungen..... | 46 |
| 20 Solarzellen: Kapitel ohne Aufgaben..... | 47 |
| 21 I(U)-Kennlinien von Solarzellen: Kapitel ohne Aufgaben..... | 47 |
| 22 Datenblatt-Beispiel eines Solarmoduls mit Aufgaben..... | 47 |
| 22.1 Kennlinie mit Kennwerten zeichnen..... | 48 |
| 22.2 Wirkungsgradberechnung..... | 48 |
| 22.3 Zusammenschaltung von Solarmodulen..... | 49 |
| 23 Der PN-Übergang von Dioden und Solarzellen..... | 50 |
| 24 Ersatzschaltbild von Solarzellen..... | 50 |
| 25 Laborübung Teil-Verschattung von Solarmodulen..... | 50 |

1 Elektrische Ladung: Kapitel ohne Aufgaben

2 Elektrischer Strom: Kapitel ohne Aufgaben

3 Übungen Ladung Strom

3.1 Mignon-Akku

Auf einem Akku findet man folgende Angaben:
Rechargeable / 2500mAh / AA / 1,2V / NiMH

3.1.1 Was bedeuten diese Angaben?

Rechargeable = wiederaufladbar

Kapazität bzw. maximale Ladungsmenge $Q=2500\text{mAh}$

AA Größe Mignon

$U=1,2\text{V}$ Nennspannung

NiMH Technologie (Materialien aus dem der Akku besteht, hier Nickel-Metallhydrid)

3.1.2 Wie lange dauert das Aufladen des Akkus mit einem Strom von 750mA, wenn die gesamte zugeführte Energie gespeichert wird?

Gegebene Größen: Ladung $Q = 2500\text{mAh}$, Stromstärke $I = 750\text{mA}$

Gesuchte Größe: t

Formel: $I = \frac{Q}{t}$

Rechenweg:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{2500\text{mAh}}{750\text{mA}} = 3,33\text{ h} = 3\text{h } 20\text{min}$$

Die Aufladung mit 750mA dauert 3 Stunden und 20 min.

3.1.3 In der Praxis dauert die Aufladung bei $I = 750\text{mA}$ genau 4 Stunden. Woran liegt das?

Die Aufladung dauert länger, weil ein Teil der zugeführten Energie als Wärme verloren geht.

3.1.4 Wie lange kann der voll aufgeladene Akku eine ultrahelle (Taschenlampen-) LED mit einem Strom von 50mA versorgen? (Der Akku soll sich beim Entladen nicht erwärmen).

Gegeben: $Q = 2500\text{mAh}$, $I = 50\text{mA}$.

Gesucht: t

Formel: $I = \frac{Q}{t}$

Rechenweg:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{2500\text{mAh}}{50\text{mA}} = 50\text{h} = 2\text{Tage } 2\text{h}$$

Im Idealfall würde die LED 2 Tage und 2 Stunden leuchten.

In der Praxis sinkt auch die Spannung des Akkus, wodurch die LED früher erlischt.

In den meisten Taschenlampen muss außerdem noch eine Elektronik versorgt werden, die den Strom durch die LED regelt und die Spannung von 1,2V oder 2,4V auf 4V herauf transformiert. Weiße LEDs benötigen Spannungen größer als 3,5V.

3.2 Handy-Akku

Auf einem Akku findet man folgende Angaben:
Rechargeable / 3.7V / Li-Ion / 900mAh

3.2.1 Was bedeuten diese Angaben?

Rechargeable = wiederaufladbar
Kapazität bzw. maximale Ladungsmenge 900mAh
3,7V Nennspannung
Li-Ion Technologie (Litium-Ionen)

3.2.2 Welcher Aufladestrom fließt, wenn das Aufladen ca. 3 Std. dauert?

Gegeben: $Q = 900\text{mAh}$, $t = 3\text{h}$

gesucht: I

$$\text{Formel: } I = \frac{Q}{t}$$

Rechenweg:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{900\text{mAh}}{3\text{h}} = 300\text{mA}$$

Der Akku wird mit einem Strom von 300mA aufgeladen.

3.2.3 Welchen Strom benötigt das Handy im Standby-Betrieb, wenn der Akku nach 6 Tagen entladen ist?

Gegeben: $Q = 900\text{mAh}$, $t = 6 \cdot 24\text{h} = 144\text{h}$

gesucht: I

$$\text{Formel: } I = \frac{Q}{t}$$

Rechenweg:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{900\text{mAh}}{144\text{h}} = 6,25\text{mA}$$

Das Handy benötigt im Durchschnitt 6,25mA im Standby-Betrieb.

In der Praxis schwankt die Stromaufnahme der Handy-Elektronik stark. Immer, wenn sich das Handy beim Netzbetreiber meldet, ist eine erhöhter Strom notwendig. Die Energie „verschwindet“ u.a. in den Funkwellen!

3.2.4 Überlegen Sie: Woran kann es liegen, dass sich ein Handy-Akku entlädt, obwohl das Handy ausgeschaltet ist?

Achtung: das Handy ist nicht wirklich ausgeschaltet. Die interne Uhr läuft z.B. weiter. Auch bemerkt man, dass man mit einem langen Tastendruck das Handy einschaltet. Dies funktioniert nur, wenn die Elektronik den Taster immer wieder abfragt. Im Handy läuft also ein Programm!

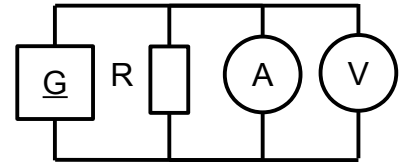
Wenn man ein Handy längere Zeit (mehrere Monate) nicht benötigt, sollte man den Akku herausnehmen, sonst entlädt sich dieser bis zu seinem unwiederbringlichen Tod. (Das nennt man Tiefentladen.)

3.3 Strom- und Spannungsmessung

3.4 Eigenschaften von Strom- und Spannungsmessern

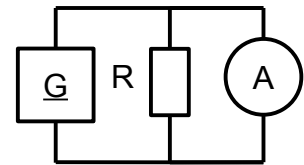
Der Spannungsmesser ist parallel und daher richtig geschaltet
Der Strommesser ist falsch geschaltet und schließt durch seinen geringen Widerstand die Spannungsquelle kurz.

- Entweder brennt die Sicherung des Strommessers sofort durch, dann zeigt dieser 0A an und der Spannungsmesser die Größe der Spannung
- oder der Strommesser zeigt den Kurzschlussstrom an, den das Netzgerät liefern kann und der Spannungsmesser zeigt 0V an.

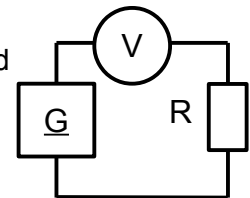


Der Strommesser ist parallel und daher falsch geschaltet.

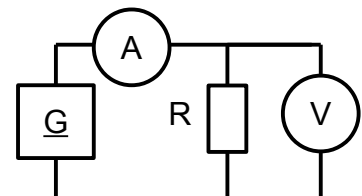
- Entweder brennt die Sicherung des Strommessers sofort durch, dann zeigt dieser 0A an
- oder der Strommesser zeigt den Kurzschlussstrom an, den das Netzgerät liefern kann.



Der Spannungsmesser ist in Reihe und daher falsch geschaltet. Wegen seines sehr großen Widerstandes fließt praktisch kein Strom, daher fällt am Widerstand 0V ab und das Messgerät zeigt die Spannung des Netzgerätes an. Trotzdem ist die Schaltung falsch! Wenn man den Widerstand R sehr groß macht, teilen sich Spannungsmesser und die Widerstand die Spannung des Netzteils und dies ist nicht gewünscht!



Strom- und Spannungsmesser sind richtig geschaltet.
Es wird der im Stromkreis fließende Strom und die am Widerstand anliegende Spannung gemessen.



4 Elektrische Spannung: Kapitel ohne Aufgaben

5 Elektrische Energie und Leistung: Kapitel ohne Aufgaben

6 Wirkungsgrad: Kapitel ohne Aufgaben

7 Übungen Spannungen, Energie, Leistung, Wirkungsgrad

7.1 Akku-Schrauber

Auf dem Akku eines Akku-Schraubers findet man folgende Angaben:

12V / 1,4Ah / 16,8Wh

7.1.1 Welche elektrischen Größen werden hier angegeben? (Name? Formelzeichen?)

Spannung $U=12V$, Ladungsmenge (Kapazität) $Q=1,4Ah$, Energiemenge $W=16,8Wh$

7.1.2 Geben Sie den Zusammenhang zwischen diesen Größen an! (Formel)

$$\text{Spannung} = \frac{\text{Energiemenge}}{\text{Ladungsmenge}} \quad U = \frac{W}{Q} = 12V = \frac{16,8 Wh}{1,4 Ah} = \frac{16,8 VAh}{1,4 Ah}$$

7.1.3 Erklären Sie: Was kann man sich unter der Größe mit der Einheit Ah vorstellen?

Ein Strom von 1 A transportiert in einer Stunde die Ladungsmenge 1 Ah.
Wenn die Ladungen gespeichert sind, nennt man dies Ladungsmenge,
wenn die Ladungen fließen, nennt man dies Strom.

7.1.4 Erklären Sie: Was kann man sich unter der Größe mit der Einheit Wh vorstellen?

Die gespeicherte Energiemenge 1 Wh kann 1 Stunde 1 W leisten.
(Einheit der Leistung ist 1 W)

7.1.5 Im Dauerbetrieb „hält“ eine Akkuladung unter Belastung 30min. Wie groß ist der durch den Motor fließende Strom? Welche Leistung nimmt der 12V-Motor auf?

Gegeben: $Q=1,4Ah$, $W=16,8Wh$, $U=12V$

Gesucht: I , P

Formeln: $I = \frac{Q}{t}$ $P = U \cdot I$

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{1,4 Ah}{0,5 h} = 2,8 A \quad \text{Es fließt ein Motorstrom von 2,8A.}$$

$$P = U \cdot I = 12V \cdot 2,8A = 33,6 W$$

7.1.6 Aus wie viel in Reihe geschalteten Akkuzellen besteht der NiMH-Akku?

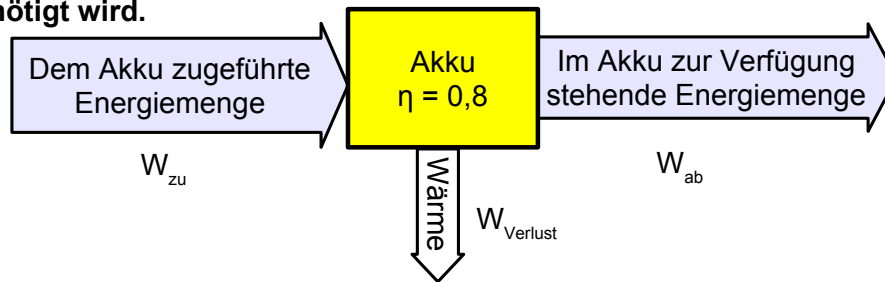
Eine NiMH-Zelle besitzt eine Spannung von 1,2V.
Daher müssen $12V/1,2V = 10$ Stk NiMH-Zellen in Reihe geschaltet werden.

7.2 Energie

Die Fragen beziehen sich auf folgenden Akku:
 3500mAh / 1,2V / NiMH / Auflade-Wirkungsgrad 80%

7.2.1 Welche Energiemenge wird benötigt, um den Akku aufzuladen?

Anleitung: Die nach der Aufladung im Akku zur Verfügung stehende Energiemenge kann mit den oben angegebenen (Nenn-) Daten berechnet werden.
 Beachten Sie, dass auf Grund von Wärmeverlusten mehr Energie zur Aufladung benötigt wird.



Gegeben: $Q = 3500\text{mAh}$, $U = 1,2\text{V}$, $\eta = 0,8$ (80%)

gesucht: W_{zu}

Formeln: $\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{W_{ab}}{W_{zu}}$ $U = \frac{W}{Q}$

$$W_{ab} = U * Q = 1,2\text{ V} * 3,5\text{ Ah} = 4,2\text{ VAh} = 4,2\text{ Wh}$$

$$W_{zu} = \frac{W_{ab}}{\eta} = \frac{4,2\text{ Wh}}{0,8} = 5,25\text{ Wh}$$

Es wird eine Energiemenge von 5,25Wh benötigt, um den Akku aufzuladen.

7.2.2 Wie lange dauert die Aufladung, wenn das Ladegerät maximal 2 A liefern kann?

Gegeben: $Q = 3500\text{mAh}$, $U = 1,2\text{V}$, $\eta = 0,8$ (80%)

gesucht: t bei $I = 2\text{A}$

Formel: $I = \frac{Q}{t}$ $U = \frac{W}{Q}$

$$Q = \frac{W}{U} = \frac{5,25\text{ Wh}}{1,2\text{ V}} = \frac{5,25\text{ VAh}}{1,2\text{ V}} = 4,375\text{ Ah} > 3500\text{mAh wegen Verlusten!}$$

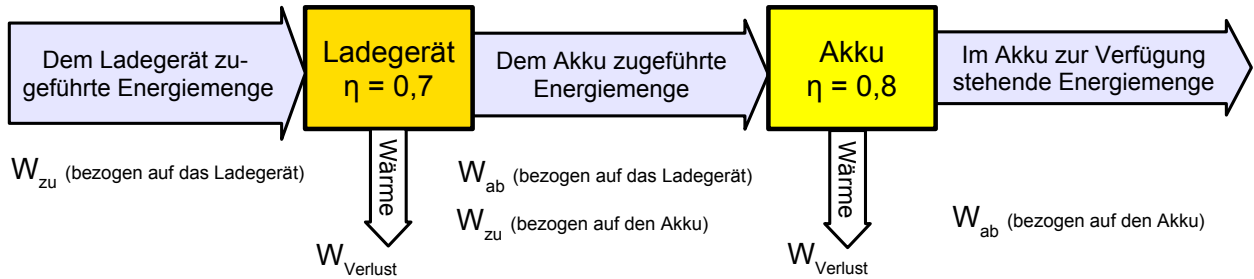
$$t = \frac{Q}{I} = \frac{4,375\text{ Ah}}{2\text{ A}} = 2,1875\text{ h} = 2\text{ h } 11\text{ min}$$

alternative Berechnung: $Q = \frac{W}{U}$ in $t = \frac{Q}{I}$ einsetzen: $t = \frac{W}{U * I} = \frac{5,25\text{ Wh}}{1,2\text{ V} * 2\text{ A}} = 2,19\text{ h}$

Die Aufladung des Akkus dauert 2 Stunden und 11 Minuten.

7.2.3 Das Ladegerät besitzt einen Wirkungsgrad von 70%. Welche Energiemenge muss dem Netz entnommen werden, um den Akku aufzuladen?

Was kostet eine Akku-Ladung, wenn 1kWh elektrische Energie aus dem Stromnetz 19 Cent kostet?



gegeben: $U, W_{ab} = W_{zu(Aufgabe1)}$
 Die Energie, die das Ladegerät abgibt, wird dem Akku zugeführt.

gesucht: W_{zu} , Kosten

Formeln: $\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{W_{ab}}{W_{zu}}$

$W_{zu} = \frac{W_{ab}}{\eta} = \frac{5,25 \text{ Wh}}{0,7} = 7,5 \text{ Wh}$ Dem Netz müssen 7,5Wh entnommen werden.

$1000\text{Wh} \triangleq 19 \text{ Cent}$

$1\text{Wh} \triangleq 0,019 \text{ Cent}$

$7,5\text{Wh} \triangleq 7,5 \cdot 0,019 \text{ Cent} = 0,1425 \text{ Cent}$

Eine Akkuladung kostet 0,14 Cent.

7.3 Vergleich Glühlampe – Energiesparlampe

Eine 60W Glühlampe leuchtet täglich 3 h. Nach einem Jahr ist sie defekt. Eine etwa „gleich helle“ 11W-Energiesparlampe muss bei der gleichen Leuchtdauer dagegen erst nach 6-8 Jahren ausgewechselt werden. 1 kWh kostet 20 Cent. Anschaffungspreise: Glühlampe: 50 Cent, Energiesparlampe 4€.

Vergleichen Sie die entstehenden Kosten nach 1 Jahr und nach 6 Jahren

Die 60W-Lampe benötigt in 1 Jahr die Energiemenge $60\text{W} \cdot 3\text{h} \cdot 365 = 65,7\text{kWh}$.

Die Betriebskosten betragen: $65,7\text{kWh} \cdot 0,2\text{€} = 13,14\text{€}$.

Die Gesamtkosten betragen: $13,14\text{€} + 0,50\text{€} = 13,64\text{€}$ pro Jahr und $81,84\text{€}$ in 6 Jahren.

Die 11 W-Lampe benötigt nur $11\text{W} \cdot 3\text{h} \cdot 365 = 12,05\text{kWh}$.

Die Betriebskosten betragen: $12,05\text{kWh} \cdot 0,2\text{€} = 2,41\text{€}$.

Die Gesamtkosten betragen: $2,41\text{€} + 4\text{€} = 6,41\text{€}$ im ersten Jahr

und je $2,41\text{€}$ in den weiteren Jahren. Nach 6 Jahren sind dies $18,46\text{€}$

7.4 Standby-Schaltungen

DVD-Player und Fernseher benötigen im Standby-Betrieb zusammen 10W, im Betrieb 100W. Beide werden täglich 4 Std. genutzt.

Vergleichen Sie die jährlichen Kosten wenn die Geräte bei Nichtbenutzung im Standby-Betrieb bleiben oder wenn Sie mit Hilfe einer Steckdosenleiste mit Schalter ausgeschaltet werden.

Dann überlegen Sie sich mal, wie viel Standby-Schaltungen in Ihrem Haushalt

vorhanden sind: Telefone mit Steckernetzteil, Telefon-Anlage, DSL-Router, PCs, Bildschirme, PC-Router, DVD-Rekorder, Sat-Receiver, Fernseher, Hifi-Anlage; Kühlschrank, Gefrierschrank, Zirkulationspumpen (Heizung, Warmwasser), Heizungssteuerung

mit Standby:

$$1 \text{ Tag} \quad W = 100\text{W} \cdot 4\text{h} + 10\text{W} \cdot 20\text{h} = 400\text{Wh} + 200\text{Wh} = 600\text{Wh}$$

$$365 \text{ Tage:} \quad W = 365 \cdot 600\text{Wh} = 219\text{kWh}$$

$$\text{Kosten:} \quad 219\text{kWh} \cdot 0,2\text{€} = 43,80\text{€ pro Jahr}$$

ohne Standby:

$$1 \text{ Tag} \quad W = 100\text{W} \cdot 4\text{h} = 400\text{Wh}$$

$$365 \text{ Tage:} \quad W = 365 \cdot 400\text{Wh} = 146\text{kWh}$$

$$\text{Kosten:} \quad 146\text{kWh} \cdot 0,2\text{€} = 29,20\text{€ pro Jahr}$$

Ersparnis: $200\text{Wh} \cdot 365 = 73\text{kWh}$ entspricht 14,60€

7.5 **Faustformel: was kosten Standby-Schaltungen im Jahr?**

Entwickeln Sie eine Faustformel: 1W Standby kostet im Jahr xx € (1 kWh kostet 20 Cent.)

$$1\text{W} \cdot 24\text{h} \cdot 365 = 8,544\text{kWh} \text{ kosten } 1,71\text{€}.$$

$$1 \text{ Watt Standby kosten im Jahr } 1,71\text{€}.$$

$$10 \text{ Watt Standby kosten im Jahr } 17\text{€}.$$

7.6 Vergleich Netzteil – Akku – Batterie

Ein 12V-Schaltnetzteil besitzt einen Wirkungsgrad von 70%.

Ein Akkuladegerät besitzt einen Wirkungsgrad von 70%.

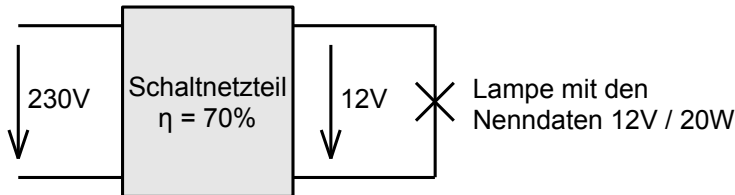
Die 1,2V-Akkus besitzen Wirkungsgrade von 80% und Kapazitäten von je 3500mAh.

Die 1,5V-Batterien besitzen Kapazitäten von je 7800mAh und kosten 1,60€ pro Stück.

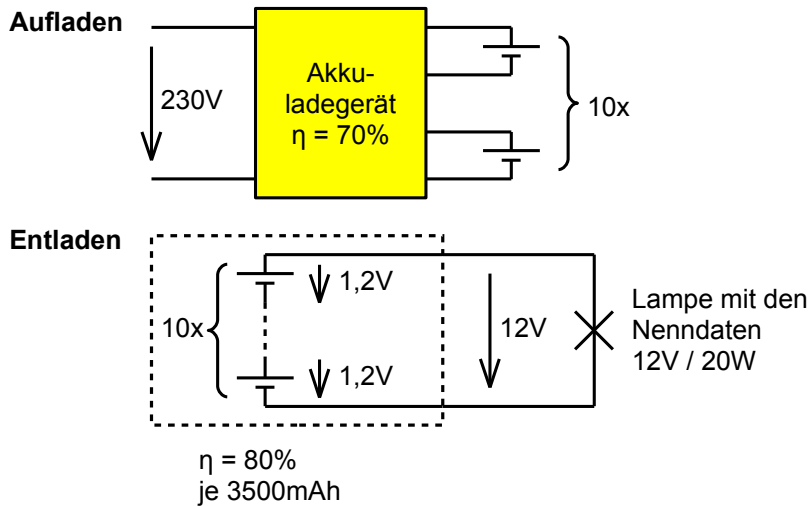
1 kWh elektrische Energie aus dem Stromnetz kostet 20 Cent.

Eine 12V / 20W-Lampe wird auf drei unterschiedliche Arten betrieben:

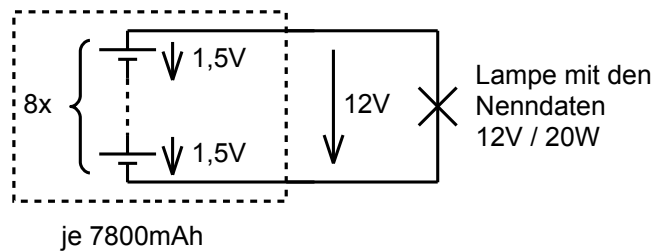
a) mit dem Schaltnetzteil



b) mit 10 in Reihe geschalteten 1,2V-Akkus



c) mit 8 in Reihe geschalteten 1,5V-Batterien.



7.6.1 Welche Stromstärke fließt durch die Lampe, wenn man sie mit 12V betreibt? (Nennbetrieb)

gesucht: I

$$P = U \cdot I \quad I = \frac{P}{U} = \frac{20\text{W}}{12\text{V}} = 1,667 \text{ A}$$

7.6.2 Berechnen Sie die Kosten für 1 Stunde Lampenbetrieb in den Fällen a) b) c). Die Anschaffungskosten für Schaltnetzteil, Akkus, Ladegerät bleiben hier unberücksichtigt. Sie werden später im Fach CT mit einer Kalkulationstabelle berechnet.

gesucht: W für 1h Betrieb, Kosten

$$P = \frac{W}{t} \quad W = P * t = 20W * 1h = 20Wh$$

Die Lampe benötigt in 1 Stunde die Energiemenge $W=20 \text{ Wh}$.

a) Schaltnetzteilbetrieb

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{W_{ab}}{W_{zu}} \quad W_{zu} = \frac{W_{ab}}{\eta} = \frac{20Wh}{0,7} = 28,57 \text{ Wh}$$

Dem Schaltnetzteil müssen 28,57Wh zugeführt werden.

1kWh kostet 20Cent - > 1Wh kostet 0,02 Cent → 28,57Wh kosten 0,571 Cent

b) Betrieb an 10 Stück 1,2V-Akkus

Gesamtwirkungsgrad: Akkueffizienz * Ladegeräteffizienz = $0,8 * 0,7 = 0,56$

$$W_{zu} = \frac{W_{ab}}{\eta} = \frac{20Wh}{0,56} = 35,71 \text{ Wh}$$

Den Akkus müssen 35,71Wh zugeführt werden.

1kWh kostet 20Cent → 1Wh kostet 0,02 Cent → 35,71Wh kosten 0,714 Cent

c) Betrieb an 8 Stück 1,5V-Batterien

Berechnung der Kosten für 1 Wh Batteriestrom

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

Auf den 8 Batterien kann eine Energiemenge von $W = U * Q = 12V * 7,8Ah = 93,6Wh$ gespeichert werden. (Auf einer Batterie nur $1,5V * 7,8Ah$).

Diese Energiemenge kostet $8 * 1,60€ = 12,80€$.

1 Wh kostet $12,80€ / 93,6 = 0,137€ = 13,7 \text{ Cent}$

Die für die Lampe benötigten 20Wh kosten $20 * 0,137€ = 2,73€ !!!$

7.6.3 Wie lange leuchtet die Lampe in den Fällen b) (eine Aufladung) und c) unter der Annahme, dass Strom und Spannung über den gesamten Betriebszeitraum konstant bleiben?

(Im Kapitel 11 lernen wir, warum die Spannung mit zunehmender Entladung leicht sinkt.)

gesucht: t

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{Akkubetrieb: } t = \frac{Q}{I} = \frac{3,5Ah}{1,667A} = 2,1h = 2h 6min$$

$$\text{Batteriebetrieb: } t = \frac{Q}{I} = \frac{7,8Ah}{1,667A} = 4,68h = 4h 41min$$

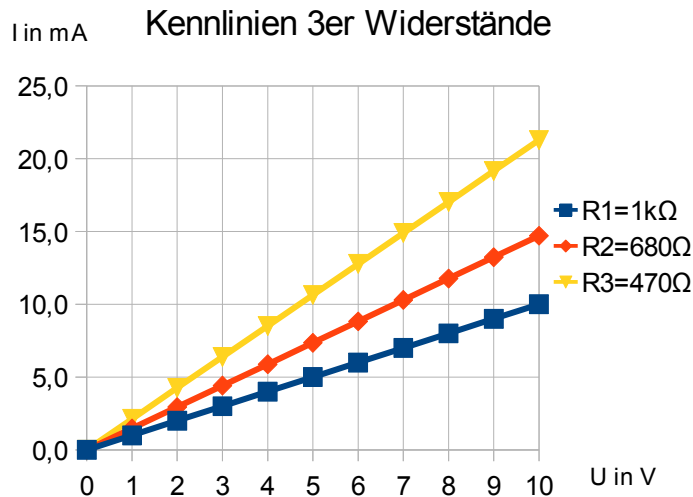
Achtung: die Ladungen der einzelnen Zellen darf man nicht addieren. Jede der Zellen gibt in dieser Zeit ihre Ladungsmenge ab.

8 Das Ohmsche Gesetz

8.1 Teilkapitel ohne Aufgaben

8.2 Aufgaben: Widerstandskennlinien zeichnen

8.2.1 Skizzieren Sie in ein Diagramm die Kennlinien folgender Widerstände: $R = 1\text{k}\Omega$, $R = 680\Omega$, $R = 470\Omega$



Im Labor wurden die Kennlinien zweier Widerstände und einer Lampe aufgenommen (siehe Lösung 8.2.6)

8.2.2 Bestimmen Sie die Widerstandswerte der Widerstände.

Aus Diagramm bei 8.2.6:

Abgelesen: 7V, 152mA: $R1 = \frac{7\text{V}}{152\text{mA}} = 46\Omega$

Abgelesen: 7V, 70mA: $R2 = 100\Omega$

8.2.3 Ergänzen Sie (groß/klein): Steile Kennlinie → kleiner Widerstand
Flache Kennlinie → großer Widerstand

8.2.4 Extrapolieren Sie die Kennlinie des größeren Widerstandes
Entnehmen Sie der Kennlinie: Welcher Strom fließt bei $U = 10,5\text{V}$?
Berechnen Sie zur Kontrolle die Spannung mit dem ohm'schen Gesetz.

Aus Diagramm bei Lösung 8.2.6: Abgelesen bei $U = 10,5\text{V}$: $I = 105\text{mA}$

Bei 105mA wird mit $U = R \cdot I = 100\Omega \cdot 105\text{mA} = 10,5\text{V}$, richtig.

8.2.5 Die Lampe hat eine nichtlineare Kennlinie.

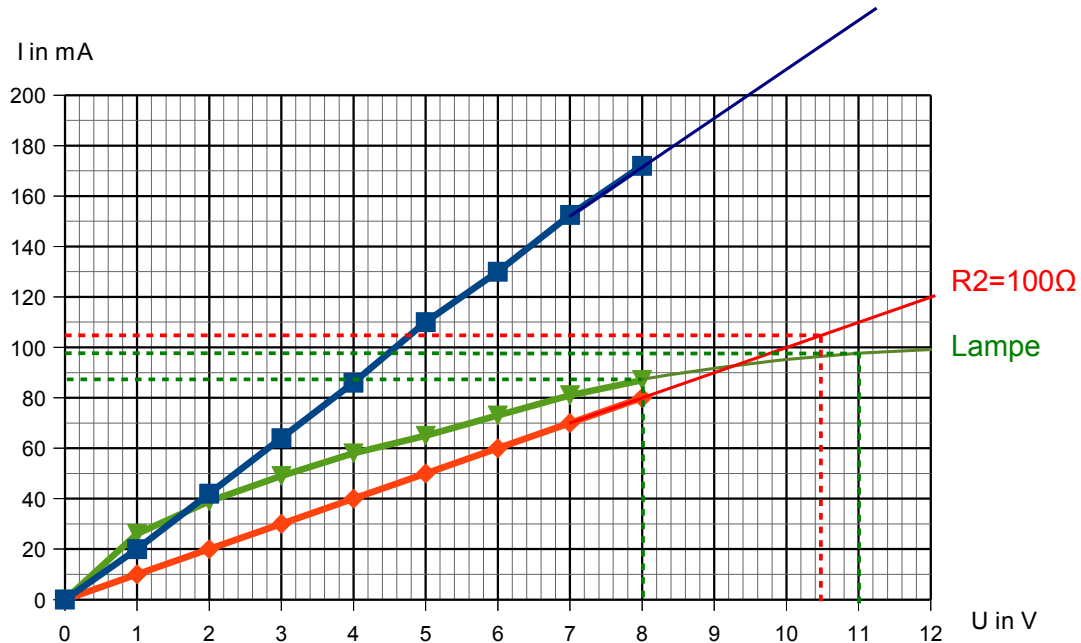
Erklären Sie:

Bei kleinen Spannungen ist der Lampenwiderstand klein wegen steiler Kennlinie
Bei großen Spannungen ist der Lampenwiderstand groß wegen flacher Kennlinie

8.2.6 Extrapolieren Sie die Kennlinie der Lampe. Sie besitzt die Nenndaten 12V / 0,1A. Entnehmen Sie der Kennlinie die fließenden Ströme bei U1=8V und U2 = 11V

Abgelesen bei U1_{Lampe} = 8V: I1_{Lampe} = 87mA

Abgelesen bei U2_{Lampe} = 11V: I2_{Lampe} = 97mA



8.2.7 Berechnen Sie den Widerstand der Lampe bei 12V. Berechnen Sie die Ströme bei U1=8V und U2 = 11V unter der (falschen) Annahme, dass der Lampenwiderstand konstant bliebe.

$$R_{Lampe} = \frac{U_{Lampe}}{I_{Lampe}} = \frac{12V}{0,1A} = 120\Omega$$

$$I1_{Lampe} = \frac{U1_{Lampe}}{R_{Lampe12V}} = \frac{8V}{120\Omega} = 67mA \quad I2_{Lampe} = \frac{U2_{Lampe}}{R_{Lampe12V}} = \frac{11V}{120\Omega} = 92mA$$

8.2.8 Vergleichen Sie die Abweichungen der Ströme bei U1=8V und U2 = 11V von Aufg. 8.2.6 gegenüber Aufg. 8.2.7 .

Unter welchen Bedingungen darf man hilfsweise annehmen (wenn man keine Kennlinie zur Verfügung hat), dass der Widerstand der Lampe bei Spannungsänderung ungefähr konstant bleibt?

Große Abweichung bei U1 = 8V, kleine Abweichung bei U1 = 11V.

Wenn sich die Spannung an der Lampe nur leicht ändert, darf man hilfsweise annehmen, dass der Widerstand ungefähr konstant bleibt.

8.3 Berechnung des Widerstandswertes aus den Materialgrößen

8.4 Aufgabe Elektrozuleitung Küchenherd

8.4.1 Berechnen Sie den Widerstand von 50m langen Kupferkabeln mit den Querschnitten 2,5mm² und 1,5mm².

$$R = \rho \frac{l}{A} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{50\text{m}}{1,5\text{mm}^2} = 0,5933\Omega = 593\text{m}\Omega$$

$$R = \rho \frac{l}{A} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{50\text{m}}{2,5\text{mm}^2} = 0,356\Omega = 356\text{m}\Omega$$

| Material | Spezifischer Widerstand in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ |
|-----------|--|
| Kupfer | 0,0178 |
| Stahl | 0,13 |
| Aluminium | 0,028 |
| Gold | 0,0244 |
| Kohle | 40 |

8.4.2 Berechnen Sie die maximal möglichen Spannungsabfälle an den Leitungen, wenn sie mit 16A-Sicherungen abgesichert sind.

Welche Leistungen gehen dann jeweils an Hin- und Rückleitung verloren?
Wie macht sich dieser Verlust bemerkbar?

1,5mm² – Leitung: $U_{1\text{Leitung}} = R * I = 0,593\Omega * 16\text{A} = 9,49\text{V}$
 $P_{1\text{Leitung}} = U * I = 9,49\text{V} * 16\text{A} = 152\text{W}$, insgesamt: $P_{\text{verlust}} = 304\text{W}$ (Hin+Rück)

2,5mm² – Leitung: $U_{1\text{Leitung}} = R * I = 0,356\Omega * 16\text{A} = 5,696\text{V}$
 $P_{1\text{Leitung}} = U * I = 5,696\text{V} * 16\text{A} = 91,1\text{W}$, insgesamt: $P_{\text{verlust}} = 182\text{W}$ (Hin+Rück)

8.4.3 Warum verwendet man für einen Elektroherd Kupferkabel mit einem Querschnitt von 2,5mm², für normale Steckdosen aber 1,5mm² ?

Bei einem Elektroherd ist immer davon auszugehen, dass große Ströme fließen. Daher versucht man die Verlustleistung in den Zuleitungen möglichst gering zu halten.

An normale Steckdosen schließt man nur selten Verbraucher mit hohen Strömen an, daher spart man hier beim Verlegen der teuren Kupferleitungen.

8.5 Aufgabe Hochspannungsleitung

Eine 380kV- Hochspannungsleitung hat einen Widerstand von $0,0072 \Omega / \text{km}$ (Ohm pro Kilometer Leitungslänge).

Sie darf mit einem Strom von maximal 2460A belastet werden.

8.5.1 Wie groß ist der maximale Spannungsabfall pro km? (der durch den Gleichstromwiderstand hervorgerufen wird.)

$$U_{1\text{km}} = R \cdot I = 0,0072\Omega \cdot 2460\text{A} = 17,71\text{V}$$

8.5.2 Welche Leistung geht dann pro Km verloren?

$$P_{1\text{km}} = U \cdot I = 17,71\text{V} \cdot 2460\text{A} = 43,57\text{kW}$$

8.5.3 Wenn man nicht mit 380kV sondern mit 380V arbeiten würde, müsste zur Übertragung der gleichen Leistung ($P=U \cdot I$) der 1000 fache Strom, also 2.460.000A fließen.

Erklären Sie, warum die Übertragung nicht funktionieren würde.

Berechnen Sie dazu den bei $I = 2.460.000\text{A}$ auftretenden Spannungsabfall an 1km Leitung.

(Natürlich dürfte auch die Leitung nicht mit diesem riesigen Strom belastet werden)

$$U_{1\text{km}} = R \cdot I = 0,0072\Omega \cdot 2460000\text{A} = 17710\text{V}$$

Bei dieser Stromstärke hätte man einen theoretischen Spannungsabfall von 17,7kV, vielmehr als die Ausgangsspannung von 380V.

9 Elektrischer Stromkreis

10 Parallelschaltung von 3 Solarzellen (3 Spannungsquellen)

11 Reihenschaltung von 3 Solarzellen (3 Spannungsquellen)

11.1 Messung des Kurzschlussstroms

11.2 Messung der Leerlaufspannung

11.3 Reihenschaltung von 3 Verbrauchern

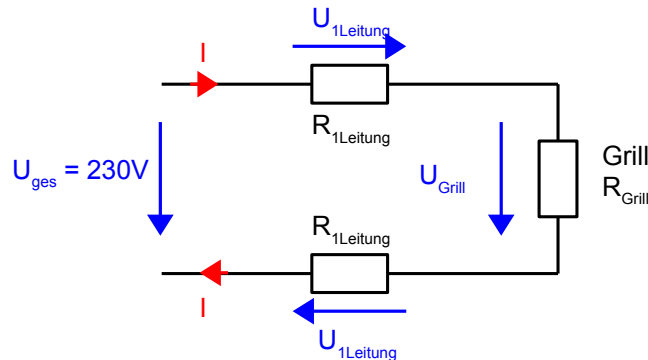
11.4 Gesetze der Reihenschaltung

11.5 Grafische Ermittlung der Größen in einer Reihenschaltung

11.6 Verluste durch Verlängerungskabel

Ein elektrischer Grill mit einer Nennleistung von 3000W wird bei einem Grillfest an einem 100m-Verlängerungskabel betrieben. Die Kupferleitungen im Kabel haben eine Querschnittsfläche von $A=1,5\text{mm}^2$ und den spezifischen Widerstand von $\rho_{\text{Cu}}=0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$.

11.6.1 Skizziere die Schaltung und zeichne die Leitungen als Widerstände ein. Beschrifte die Schaltung mit R_{grill} und $R_{1\text{Leitung}}$ und zeichne alle Ströme und Spannungen ein.



11.6.2 Vergleiche die fließenden Ströme, wenn man den Grill mit und ohne Verlängerungskabel betreibt.

Ohne Verlängerung fließt der Nennstrom und am Grill liegen 230V an:

$$P = U \cdot I \rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{3000\text{W}}{230\text{V}} = 13,04 \text{ A}$$

Mit Verlängerungskabel ergibt sich eine Reihenschaltung aus 2x Leitungswiderstand (Hin- und zurück) + Widerstand de Grills (siehe Skizze). Am Grill liegen keine 230V an.

$$R_{1\text{Leitung}} = \rho \cdot \frac{l}{A} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{100\text{m}}{1,5\text{mm}^2} = 1,19 \Omega$$

$$P_{\text{Grill}} = U \cdot I = \frac{U^2}{R} \rightarrow R_{\text{Grill}} = \frac{U_{\text{Nenn}}^2}{P_{\text{Grill,Nenn}}} = \frac{(230\text{V})^2}{3000\text{W}} = 17,63 \Omega$$

Der Widerstand des Grills bleibt näherungsweise konstant, auch wenn sich die Spannung am Grill durch die lange Zuleitung ändert.

$$R_{\text{ges}} = 2 \cdot R_{1\text{Leitung}} + R_{\text{Grill}} = 2 \cdot 1,19 \Omega + 17,63 \Omega = 20,01 \Omega$$

$$\rightarrow I_{\text{Ges}} = \frac{U_{\text{Ges}}}{R_{\text{Ges}}} = \frac{230\text{V}}{20,0 \Omega} = 11,5 \text{ A}$$

11.6.3 Welche Leistungen werden im Kabel und im Grill in Wärme umgesetzt? Berechne auch die Gesamtleistung.

$$P_{1\text{Leitung}} = U_{1\text{Leitung}} \cdot I = R_{1\text{Leitung}} \cdot I^2 = 1,19 \Omega \cdot (11,5\text{A})^2 = 157\text{W je Leitung}$$

$$P_{\text{Grill}} = R_{\text{Grill}} \cdot I^2 = 17,63 \Omega \cdot (11,5\text{A})^2 = 2332\text{W}$$

$$P_{\text{ges}} = P_{\text{grill}} + 2 \cdot P_{1\text{Leitung}} = 2646\text{W}$$

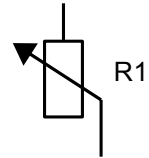
$$\text{andere Möglichkeit: } P_{\text{ges}} = U_{\text{ges}} \cdot I = 230\text{V} \cdot 11,5\text{A} = 2645\text{W}$$

11.6.4 Berechne den Wirkungsgrad des „Systems Verlängerungskabel“

$P_{zu} = 2645W, P_{ab} = 2332W, \rightarrow \eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{2332W}{2645W} = 0,882 \rightarrow \eta = 88,2\%$

11.7 Potenziometer als veränderbarer Widerstand

Man kann das Potenziometer R1 als veränderbaren Widerstand schalten. Dann verwendet man nur 2 Anschlüsse. Je nach Schleiferstellung verändert sich nun die Größe des Widerstandes R1.



Beispiel: Man verwendet ein Potenziometer mit dem aufgedruckten Widerstandswert 100Ω. Stellt man den Schleifer nun in Mittelstellung, so besitzt das Poti zwischen dem oberen Anschluss und dem Schleiferanschluss einen Widerstandswert von 50Ω.

Aufgabe: $U_{ges} = 10V, Poti R1 = 100\Omega$ maximal, $R2 = 100\Omega$.

11.7.1 Auf welchen Wert muss man R1 einstellen, damit $R_{ges} = 130\Omega$ wird?

$R1 = R_{ges} - R2 = 30\Omega$

11.7.2 Welcher Gesamtstrom fließt?

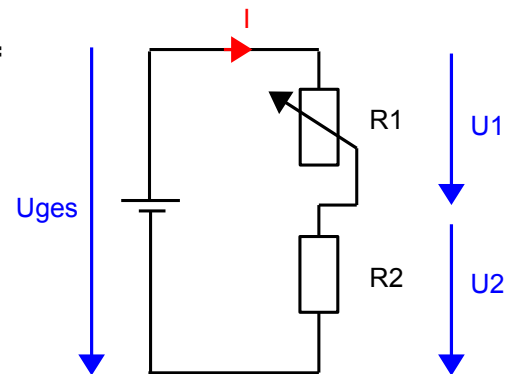
$I_{ges} = U_{ges} / R_{ges} = 10V / 130\Omega = 76,9mA$

$I_{ges} = I1 = I2$

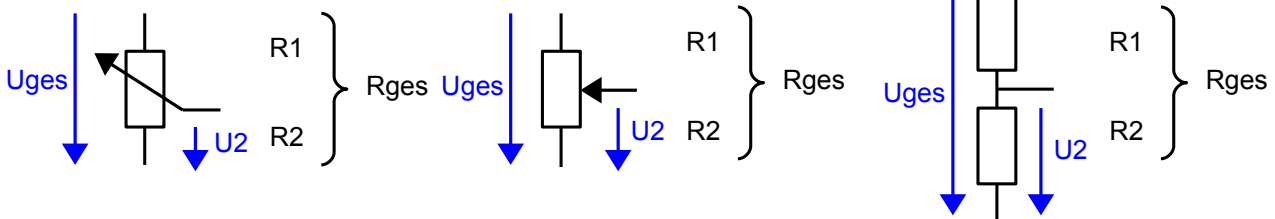
11.7.3 Berechnen Sie die Größe der Spannungen U1 und U2.

$U1 = R1 * I1 = 30\Omega * 76,9mA = 2,3V$

$U2 = U_{ges} - U1 = 7,7V$ oder $U2 = R2 * I2$



11.8 Potenziometer als Spannungsteiler



$U_{ges} = 10V, R_{ges} = 100\Omega$

11.8.1 Poti in Mittelstellung: Berechnen Sie U2.

$I = U_{ges} / R_{ges} = 0,1A$

$U2 = R2 * I = 50\Omega * 0,1A = 5V$

Oder Antwort direkt mit Begründung: In der Mittelstellung ist $R1=R2$, daher sind auch beide Spannungen gleich groß → Die Spannung teilt sich je zur Hälfte auf.

11.8.2 Poti in Stellung $R2 = 1/3 R_{ges}$: Berechnen Sie U2.

$U2 = 3,33V$

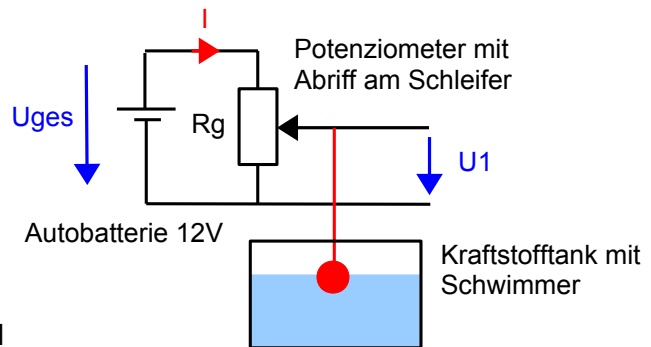
11.8.3 Poti in Stellung $R2 = 1/4 R_{ges}$: Berechnen Sie U2.

$U2 = 2,5V$

11.9 Elektrische Tankanzeige mit Potenziometer

Ein Auto hat einen 50-Liter-Tank mit rechteckigem Querschnitt.

Das Bild zeigt das Prinzip der elektrischen Füllstandsanzeige.



11.9.1 Erklären Sie die Funktionsweise.

Der Schwimmer ist mit dem Potenziometer-Abgriff mechanisch verbunden.

Die Spannung U1 am Abgriff ist eine Teil der Gesamtspannung, das Poti ist ein Spannungsteiler.

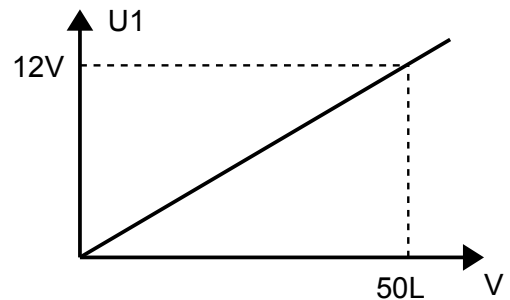
Je nach Höhe des Schwimmers ändert U1.

11.9.2 Wo muss ein Spannungsmesser eingebaut werden, damit die angezeigte Spannung ein Maß für den Füllstand ist?

Es muss U1 gemessen werden.

11.9.3 Skizzieren Sie die Kennlinie dieser Anordnung. Spannung = f (Kraftstoffmenge) Zeichnen Sie Zahlenwerte ein.

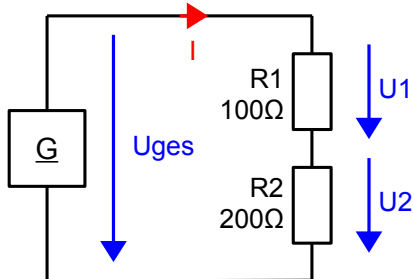
Spannung = f (Kraftstoffmenge)
 Zeichnen Sie Zahlenwerte ein.



11.9.4 Geben Sie die Funktionsgleichung an.

$$U1 = 12V / 50L * V$$

11.10 Stromkreisdanken



11.10.1 Woher „weiß der Strom“, wie groß er zu werden hat?

Die Generatorspannung Uges und der Gesamtwiderstand Rges bestimmen den Strom.

$$I = I_{Ges} = \frac{U_{Ges}}{R_{Ges}}$$

11.10.2 An welchem Widerstand fällt die größere Spannung ab?

Da der Strom I durch beide Widerstände gleich groß ist gilt:
 Am größeren Widerstand fällt die größere Spannung ab. $U = R \cdot I$

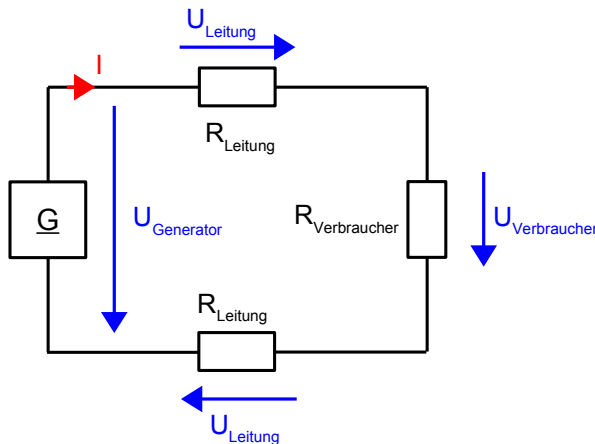
11.10.3 Woher „weiß die Spannung“ am Widerstand, wie groß sie wird?

Der Spannungsabfall am Widerstand wird bestimmt durch den Strom und den Widerstandswert. $U = R \cdot I$

11.10.4 Welcher Widerstand gibt mehr Wärme ab?

Man bestimmt die Leistung der Widerstände. Da $W = P \cdot t$ gilt, gibt auch derjenige Widerstand die größere Wärme ab, dessen elektrische Leistung P größer ist.
 Da I durch beide Widerstände gleich groß ist gilt: Der größere Widerstand hat die größere Leistungsaufnahme. $P = U \cdot I = I^2 \cdot R$

11.11 Ersatzschaltbild Leitungswiderstand



Die beiden Widerstände $R_{Leitung}$ symbolisieren die Widerstände der Leitungen zwischen Generator und Verbraucher.

11.11.1 Woher „weiß der Strom“, wie groß er zu werden hat?

Die Generatorspannung U_{ges} und der Gesamtwiderstand R_{ges} bestimmen den Strom.

$$I = I_{Ges} = \frac{U_{Ges}}{R_{Ges}}$$

11.11.2 Vergleichen Sie die Größen vom $U_{Generator}$ und vom $U_{Verbraucher}$.

$U_{Verbraucher}$ ist kleiner wie $U_{generator}$, da auch an den Leitungswiderständen Spannungen abfallen.

11.11.3 Wie erreicht man es, dass die Spannungsabfälle an den Leitungen $U_{Leitung}$ möglichst klein werden?

Der Widerstand der Leitungen muss klein sein.

11.11.4 Wie groß müssten $R_{Leitung}$ sein, damit $U_{Verbraucher} = U_{Generator}$ wird?

$R_{Leitung}$ müssten im Idealfall 0Ω sein.

$$R_{PT100} = \frac{U_{Mess}}{I_{Mess}}$$

12 Spannungsquelle mit Innenwiderstand

12.1 Ersatzschaltbild

12.2 Auswirkungen des Innenwiderstandes

12.3 Berechnung der Klemmenspannung bei bekanntem Innenwiderstand

12.4 Ermittlung des Innenwiderstandes

12.5 Innenwiderstand von elektrischen Geräten

12.6 Aufgabe: Bestimmung des Innenwiderstandes einer Batterie

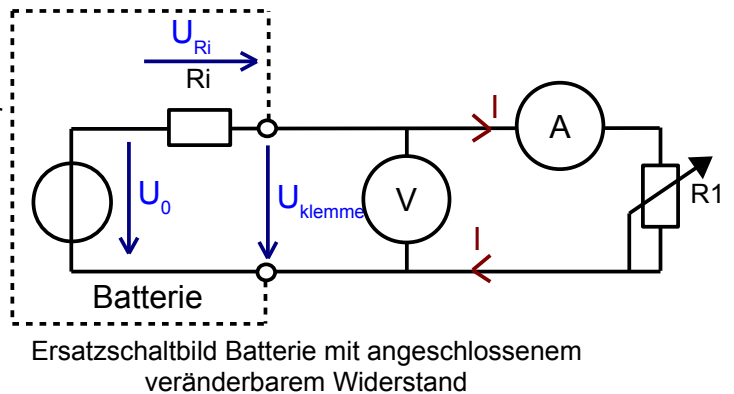
Beim Schülerversuch zur Bestimmung des Innenwiderstands einer Monozelle wurde die folgende Tabelle aufgenommen:

| | | | | |
|--------------------------|------|------|------|------|
| U_{klemme} in V | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 0,86 |
| I in A | 0,20 | 0,30 | 0,50 | 0,80 |

U_{klemme} : Klemmenspannung der Batterie (Monozelle)

12.6.1 Skizzieren Sie eine Schaltung mit dem Ersatzschaltbild der Batterie und den notwendigen Messgeräten. Erklären Sie stichpunktartig die Versuchsdurchführung.

- Spannung U_{klemme} an den Klemmen der Batterie messen
- Strom I durch den angeschlossenen Belastungswiderstand messen.
- Belastungswiderstand ändern, U_{klemme} und I messen
- Wertepaare in Tabelle eintragen



12.6.2 Zeichnen Sie eine maßstabsgetreue I – U_{klemme} – Kennlinie. Entnehmen Sie dem Diagramm (durch Extrapolation) die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom.

12.6.3 Berechnen Sie den Innenwiderstand der Monozelle

12.6.4 Geben Sie die Werte in eine Calc-Tabelle ein und erstellen Sie daraus die Belastungskennlinie (Diagrammtyp XY mit Markierung der Messwerte durch Punkte) Fügen Sie eine lineare Trendlinie hinzu und lassen Sie die Gleichung darstellen. Formatieren Sie die Skalierung der Achsen so, dass die Schnittpunkte der Trendlinie mit den Achsen sichtbar sind. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit Teilaufgabe Aufgabe 3.

Abgelesene Werte:

$$I_{\text{kurz}} = 1,75\text{A bei } (U = 0\text{V})$$

$$U_{\text{leer}} = 1,55\text{V (bei } I = 0\text{A)}$$

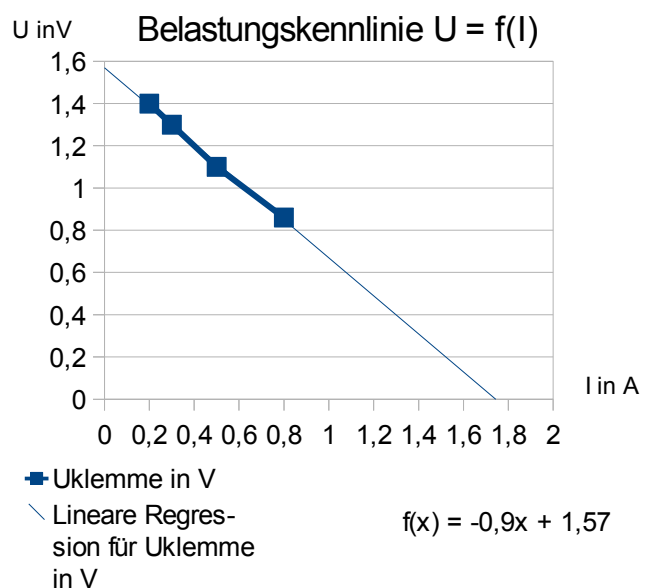
Innenwiderstand:

$$R_i = \frac{U_{\text{leer}}}{I_{\text{kurz}}} = \frac{1,55\text{V}}{1,75\text{A}} = 886\text{m}\Omega$$

Alternative:

$$R_i = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| = \left| \frac{(1,4\text{V} - 0,86\text{V})}{(0,2\text{A} - 0,8\text{A})} \right|$$

$$R_i = |-0,9|\Omega = 0,9\Omega$$



12.7 Rollerbatterie

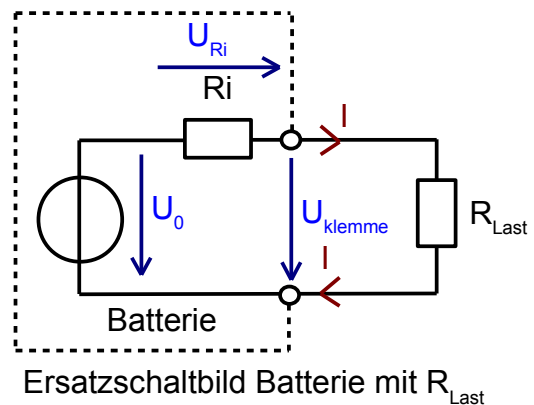
Auf einer Rollerbatterie sind folgende Kenngrößen angegeben: 12V, 8Ah, 80A.

12.7.1 Beim Betätigen des Anlassers wird das Licht deutlich dunkler. Erklären Sie die Ursache für dieses Verhalten mit elektrotechnischen Fachausdrücken.

Bei Belastung der Batterie sinkt die Spannung an den Anschlussklemmen. Dieses Verhalten kann man mit dem Innenwiderstand der Batterie erklären, an dem der Spannungsabfall steigt, je größer die Belastung ist.

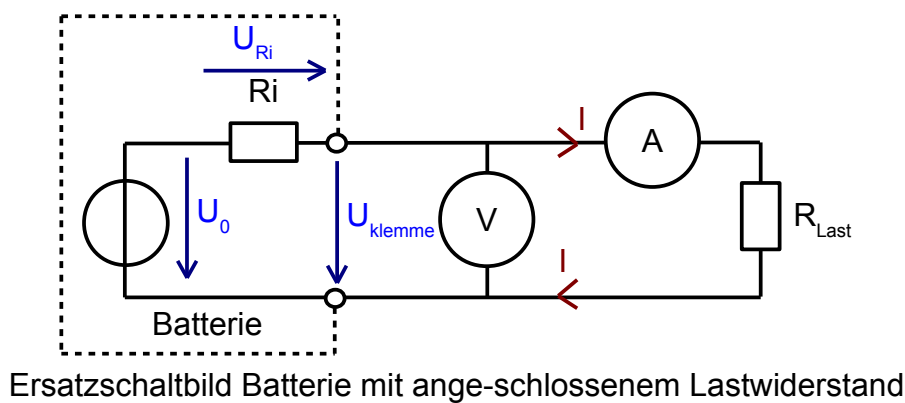
12.7.2 Zeichnen und erklären Sie ein geeignetes Ersatzschaltbild der Rollerbatterie mit Belastungswiderstand R_{Last} . Zeichnen Sie die Anschlussklemmen der Batterie und die Klemmenspannung U_{Klemme} ein.

Die Batterie kann man sich aufgebaut denken aus einer idealen Spannungsquelle U_0 und einem Innenwiderstand R_i .



Mit 2 Lastwiderständen (1Ω , 2Ω) die abwechseln einzeln, in Reihe und parallel verwendet wurden, hat man folgende Belastungskennlinie der Rollerbatterie erstellt: (siehe nächste Seite)

12.7.3 Skizzieren Sie die Messschaltung und zeichnen Sie die verwendeten Strom- und Spannungsmesser ein.

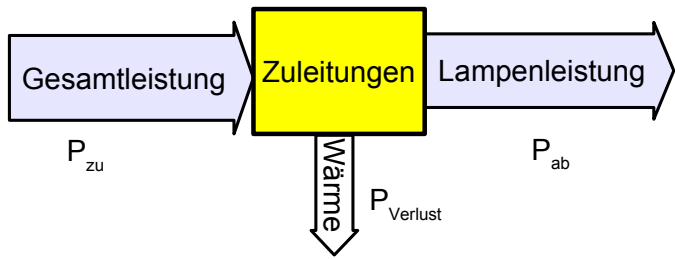


13 Übungen Reihen- und Parallelschaltungen

Fertige bei allen Aufgaben eine Schaltungsskizze an und zeichne die gesuchten Größen ein!

| Aufg | Gegeben | Gesucht |
|------|--|---|
| 13.1 | Reihenschaltung $R_1 = 2\text{ k}\Omega$, $R_2 = 5\text{ k}\Omega$, $U_{R1} = 2\text{ V}$ | $I_{R2} =$ mA $U_{\text{ges}} =$ V $P_{\text{ges}} =$ mW |
| | <ul style="list-style-type: none"> Schaltung skizzieren Alle gegebenen Größen einzeichnen (hier rot dargestellt). Jeder Widerstand oder Schaltungsteil hat 4 schaltungstechnisch interessante Größen: U, I, R, P. Das Bauteil suchen, bei dem 2 Werte gegeben sind. Aus 2 gegebenen Werten (hier U und R) lassen sich die anderen beiden Werte berechnen (hier $I = U/R$ und $P = U \cdot I$) $I_{R1} = \frac{U_{R1}}{R1} = \frac{2\text{ V}}{2\text{ k}\Omega} = 1\text{ mA}$ $I_{R1} = I_{R2} = I_{\text{ges}}$ wegen Reihenschaltung Neu berechnete Größen einzeichnen. Man setzt die Berechnung an dem Bauteil fort, an dem nun 2 Größen gegeben sind: An R_2 ist I und R gegeben \rightarrow U berechnen $U_{R2} = R_2 \cdot I_{R2} = 5\text{ k}\Omega \cdot 1\text{ mA} = 5\text{ V} \rightarrow$ einzeichnen! Da nun beide Einzelspannungen gegeben sind, lässt sich die Gesamtspannung der Reihenschaltung berechnen: $U_{\text{ges}} = U_{R1} + U_{R2} = 7\text{ V}$ Die Gesamtleistung ermittelt man entweder durch Berechnung der Einzelleistungen $P_1 = U_{R1} \cdot I_{R1}$; $P_2 = U_{R2} \cdot I_{R2} \rightarrow P_{\text{ges}} = P_1 + P_2$ oder mit $P_{\text{ges}} = U_{\text{ges}} \cdot I_{\text{ges}}$ Merke: Bei allen Formeln $U = R \cdot I$, $P = U \cdot I$ usw. immer die zusammengehörenden Größen eintragen, z.B. $U_1 = R_1 \cdot I_1$ und $U_{\text{ges}} = I_{\text{ges}} \cdot R_{\text{ges}}$ <p>Ergebnisse: $I_{R2} = 1\text{ mA}$ $U_{\text{ges}} = 7\text{ V}$ $P_{\text{ges}} = 7\text{ mW}$</p> | |
| 13.2 | Parallelschaltung $R_1 = 2\text{ k}\Omega$, $R_2 = 5\text{ k}\Omega$, $I_{R1} = 2\text{ mA}$ | $U_{\text{ges}} =$ V $I_{R2} =$ μA $P_{\text{ges}} =$ mW |
| | | $U_{\text{ges}} = 4\text{ V}$ $I_{R2} = 800\text{ }\mu\text{A}$ $P_{\text{ges}} = 11,2\text{ mW}$ |

| | | |
|------|--|--|
| 13.3 | Reihenschaltung R1 = 2 kΩ, R2 = 5 kΩ, R3 = 10kΩ, Uges = 10V | Iges = mA U1 = V Pges = mW |
| | | Iges = 0,588 mA = 588μA U1 = 1,18 V Pges = 5,88 mW |
| 13.4 | Parallelschaltung R1 = 2 kΩ, R2 = 5 kΩ, R3 = 10kΩ, Uges = 10V | Rges = kΩ Iges = mA Pges = mW |
| | | Rges = 1,25 kΩ Iges = 8 mA Pges = 80 mW |
| 13.5 | Parallelschaltung zweier Lampen mit den Nenndaten 6V / 2,4W und 6V / 0,1A | R1, R2, Rges, Iges |
| | $I = \frac{U}{R} \text{ einsetzen in } P = U \cdot I \text{ ergibt } P = \frac{U^2}{R} ; \text{ aufgelöst nach R: } R = \frac{U^2}{P}$ $R1 = \frac{U^2}{P} = \frac{(6V)^2}{2,4W} = 15 \Omega$ $R2 = \frac{U}{I} = \frac{6V}{0,1A} = 60 \Omega$ <p>Parallelschaltung von R1 und R2 ergibt: Rges = 12 Ω Iges = 0,5A = 500mA</p> | |
| 13.6 | Gesucht der der Wert des Vorwiderstandes, so das eine Lampe an einer 6V-Spannungsquelle mit ihren Nenndaten 4V / 1W betrieben werden kann. | R = Ω |
| | $I_{\text{lampe}} = 0,25A = I_R$ $U_R = 6V - 4V = 2V$ $R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{2V}{0,25A} = 8 \Omega$ | |
| 13.7 | Warum darf man die Lampen mit den Nenndaten 6V / 2,4W und 6V / 0,1A nicht in Reihe an 12 V anschließen? Anleitung: Berechne R1, R2, Iges, U1 und U2. | |
| | $R1 = \frac{U^2}{P} = \frac{(6V)^2}{2,4W} = 15 \Omega \quad R2 = \frac{U}{I} = \frac{6V}{0,1A} = 60 \Omega \quad R_{\text{ges}} = R1 + R2 = 75 \Omega$ $I_{\text{ges}} = U_{\text{ges}} \text{ oder } R_{\text{ges}} = \frac{12V}{75 \Omega} = 0,16 A = 160mA$ <p>U1 = R1 * I1 = 2,4V U2 = R2 * I2 = 9,6V Lampe 2 wird überlastet! Spannung und Strom sind zu groß. P2=1,5W statt 0,6W!</p> | |
| 13.8 | Reihenschaltung mit 2 Widerständen. Es gilt: $\frac{U1}{U2} = \frac{R1}{R2}$ und $\frac{U_{\text{ges}}}{U2} = \frac{R_{\text{ges}}}{R2}$ und allgemein: „Die Spannungen verhalten sich wie die Widerstände“. Zeige die Gültigkeit dieser Formeln. Hinweis: Je Formel für U1 und U2 angeben, dann U1 durch U2 teilen. | |

| | | |
|--------------------|--|--|
| | $U_1 = R_1 \cdot I_1 \quad U_2 = R_2 \cdot I_2 \quad \text{In der Reihenschaltung gilt: } I = I_1 = I_2 = I_{\text{ges}}$ $\rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1 \cdot I}{R_2 \cdot I} = \frac{R_1}{R_2}$ $U_{\text{ges}} = R_{\text{ges}} \cdot I_{\text{ges}} \quad U_2 = R_2 \cdot I_2 \rightarrow \frac{U_{\text{ges}}}{U_2} = \frac{R_{\text{ges}} \cdot I}{R_2 \cdot I} = \frac{R_{\text{ges}}}{R_2}$ | |
| <p>13.9</p> | <p>Eine Halogenlampe 12V/50W wird fälschlicherweise an eine 10m lange 2-adrige Kupfer-Leitung mit einem Querschnitt von 2x0,5mm² angeschlossen ($\rho_{\text{Cu}} = 17,8 \cdot 10^{-3} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$). Skizze!!! Erklären Sie mithilfe der rechts aufgeführten Größen, warum die Lampe nicht die gewünschte Helligkeit erreicht. (12V-Halogenbeleuchtungen mit werden mit 2x2,5mm²-Leitungen geliefert....)</p>  <p>Berechnen Sie den Wirkungsgrad dieses Systems!</p> | <p>R_{Lampe} $R_{1\text{Leitung}}$ R_{ges} (Leitungen + Lampe) I_{ges} U_{Lampe} P_{Lampe}</p> |
| | $P = \frac{U^2}{R} \rightarrow R_{\text{Lampe}} = \frac{U^2}{P} = \frac{12\text{V}^2}{50\text{W}} = 2,88 \Omega$ $R_{1\text{Leitung}} = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{17,8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 10\text{m}}{0,5 \text{mm}^2} = 0,356 \Omega$ $R_{\text{ges}} = R_{\text{Lampe}} + 2 \cdot R_{1\text{Leitung}} = 2,88 \Omega + 2 \cdot 0,356 \Omega = 3,592 \Omega$ $I_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = \frac{12\text{V}}{3,592 \Omega} = 3,341 \text{A}$ $U_{\text{Lampe}} = R_{\text{Lampe}} \cdot I_{\text{ges}} = 9,62 \text{V} \quad \text{!! nicht 12V!!}$ $P_{\text{Lampe}} = U_{\text{Lampe}} \cdot I_{\text{Lampe}} = 32,1 \text{W} \quad \text{!! statt 50W !!}$ <p>Die Widerstände der Leitungen sind zu groß. An den Leitungswiderständen fällt eine zu große Spannung ab, so dass für die Lampe nur noch 9,62V zur Verfügung stehen!</p> | |

13.10 Hochspannungsleitung

Hochspannungsleitungen übertragen elektrische Energie über große Entfernungen.

Folgende Anforderungen werden an die Leitung gestellt:

- Geringer Widerstand → geringe Verluste → Material mit geringem spezifischen Widerstand
- Zugfest und stabil → Stahlkern
- Bezahlbar → Aluminiummantel



Eine 110kV-Leitung besteht z.B. aus einem 7-adrigen Stahlkern, dessen Gesamtquerschnittsfläche $A_{\text{Stahl}} = 60\text{mm}^2$ beträgt. Dieser ist mit Aluminiumadern der Gesamtfläche $A_{\text{Al}} = 257\text{mm}^2$ ummantelt.

13.10.1 Wie groß ist der Widerstand und die Masse einer 1km langen Hochspannungsleitung vom angegebenen Typ?

Leitfähigkeiten: $\rho_{\text{Stahl}} = 0,13 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$, $\rho_{\text{Alu}} = 0,028 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$

Dichte: $\rho_{\text{Stahl}} = 7,8 \text{ g} / \text{cm}^3$, $\rho_{\text{Alu}} = 2,7 \text{ g} / \text{cm}^3$

Widerstand des Stahlkerns:

$$R_{\text{Stahl}} = \rho_{\text{Stahl}} \cdot \frac{l}{A_{\text{Stahl}}} = 0,13 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{1000\text{m}}{60\text{mm}^2} = 2,167 \Omega$$

Widerstand des Aluminiummantels

$$R_{\text{Alu}} = \rho_{\text{Alu}} \cdot \frac{l}{A_{\text{Alu}}} = 0,028 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{1000\text{m}}{257\text{mm}^2} = 0,109 \Omega$$

Gesamtwiderstand der Hochspannungsleitung

= Parallelschaltung des Stahlkerns und Aluminiummantels

$$\frac{1}{R_{\text{Ges}}} = \frac{1}{R_{\text{Stahl}}} + \frac{1}{R_{\text{Alu}}} = \frac{1}{2,167 \Omega} + \frac{1}{0,109 \Omega} \rightarrow R_{\text{Ges}} = 0,104 \Omega$$

Masse des Stahlkerns

Achtung: das Formelzeichen ρ verwendet man für den spezifischen Widerstand und für die Dichte obwohl dies 2 verschiedene Dinge sind!

$$m_{\text{Stahl}} = \rho_{\text{Stahl}} \cdot A_{\text{Stahl}} \cdot l = 7,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 60\text{mm}^2 \cdot 1000\text{m}$$

$$m_{\text{Stahl}} = 7,8 \frac{\text{g}}{10^3 \text{mm}^3} \cdot 60\text{mm}^2 \cdot 1000 \cdot 10^3 \text{mm} = 468 \cdot 10^3 \text{g} = 468\text{kg}$$

Masse des Aluminiummantels:

$$m_{\text{Alu}} = \rho_{\text{Alu}} \cdot A_{\text{Alu}} \cdot l = 2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 257\text{mm}^2 \cdot 1000\text{m}$$

$$m_{\text{Alu}} = 2,7 \frac{\text{g}}{10^3 \text{mm}^3} \cdot 257\text{mm}^2 \cdot 1000 \cdot 10^3 \text{mm} = 693900 \cdot 10^3 \text{g} = 694\text{kg}$$

Gesamtmasse: $m_{\text{ges}} = m_{\text{Stahl}} + m_{\text{Alu}} = 1162\text{kg} = 1,16 \text{ t}$

13.10.2 Wie verteilt sich der Gesamtstrom von 550A auf den Stahlkern und den Aluminiummantel?

Parallelschaltung des Stahlkerns und Aluminiummantels

$$U_{Alu} = U_{Stahl} = U_{ges} \quad R_{Alu} \cdot I_{Alu} = R_{Stahl} \cdot I_{Stahl} = R_{Ges} \cdot I_{Ges}$$

$$\rightarrow \frac{I_{Alu}}{I_{Stahl}} = \frac{R_{Stahl}}{R_{Alu}} \quad \text{und} \quad \frac{I_{Alu}}{I_{Ges}} = \frac{R_{Ges}}{R_{Alu}}$$

$$I_{Alu} = I_{ges} \cdot \frac{R_{Ges}}{R_{Alu}} = 550A \cdot \frac{0,104\Omega}{0,109\Omega} = 524A \quad I_{Stahl} = I_{ges} \cdot \frac{R_{Ges}}{R_{Stahl}} = 550A \cdot \frac{0,104\Omega}{2,167\Omega} = 26A$$

13.10.3 Welche Leistung geht auf 1km Länge der Hochspannungsleitung verloren?

$$P_{1km} = U_{1km} \cdot I_{1km} = R_{1km} \cdot I_{1km}^2 = 0,104\Omega \cdot (550A)^2 = 31,46kW$$

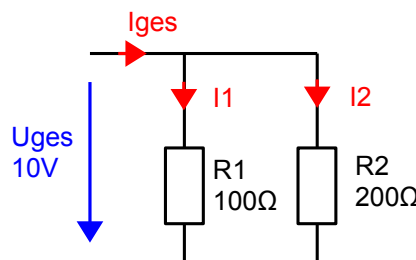
13.10.4 Welche Gesamtleistung überträgt eine 110kV-Leitung, wenn 550A fließen?

übertragene Leistung $P_{ges} = 110kV \cdot 550A = 60,5 MW$

13.10.5 Wie groß ist der prozentuale Verlust pro km, wenn insgesamt 60,5MW übertragen werden?

$$\frac{x}{100\%} = \frac{31,46kW}{60,5MW} \rightarrow x = 0,052\%$$

13.11 Stromkreisdiken



13.11.1 Woher „wissen die Ströme“, wie groß sie zu werden haben?

I_{ges} wird bestimmt von U_{ges} und R_{ges} . $I_{Ges} = \frac{U_{Ges}}{R_{Ges}}$

Die Einzelströme werden durch die Spannung und die Größe der Einzelwiderstände.

$$U_{ges} = U_1 = U_2; \quad I_1 = \frac{U}{R_1}$$

13.11.2 Durch welchen Widerstand fließt der größere Strom?

Da beide Widerstände an der gleichen Spannung liegen gilt:
 Durch den kleineren Widerstand fließt der größere Strom.

13.11.3 Welcher Widerstand gibt mehr Wärme ab?

Da beide Widerstände an der gleichen Spannung liegen gilt:
 $P_1 > P_2 \rightarrow R_1$ gibt mehr Wärme ab.

13.11.4 Schätzen Sie den Gesamtwiderstand durch Überlegung ab: Liegt Rges in der Größenordnung 300Ω, 150Ω oder 70Ω?

Durch die Parallelschaltung verringert sich der Widerstand. Der Gesamtwiderstand muss daher kleiner werden als R_1 , also wird R_{ges} in der Größenordnung von 70Ω liegen.

14 Knoten- und Maschenregel**15 Berechnung gemischter Schaltungen****16 Übungen gemischte Schaltungen****16.1 Aufgabe Gemischt 1 (Labor)**

- a) Berechne alle Ströme und Spannungen und messe diese nach!

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \rightarrow R_{23} = 1,939\text{k}\Omega$$

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_{23} = 4,139\text{k}\Omega$$

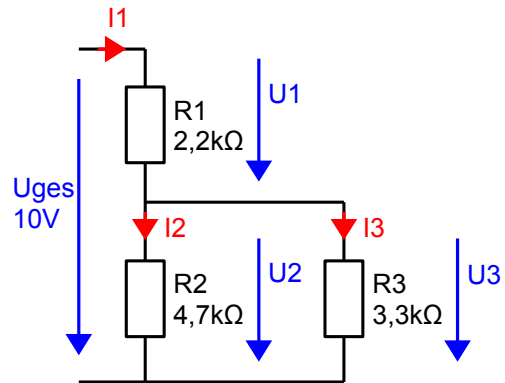
$$I_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = 2,416\text{mA} = I_1$$

$$U_1 = R_1 \cdot I_1 = 5,32\text{V}$$

$$U_2 = U_3 = U_{\text{ges}} - U_1 = 4,68\text{V}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = 0,996\text{mA}$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = 1,42\text{mA} \quad \text{oder} \quad I_3 = I_1 - I_2 = 1,42\text{mA}$$



- b) Wie ändern sich I_1 und U_2 , wenn zu R_3 ein $1\text{k}\Omega$ -Widerstand parallel geschaltet wird?
Messung und Begründung (Wirkungskette).

$1\text{k}\Omega$ parallel zu $R_3 \rightarrow R_{234} \downarrow \rightarrow R_{\text{ges}} \downarrow \rightarrow I_1 = I_{\text{ges}} \uparrow \rightarrow U_1 \uparrow \rightarrow U_2 \downarrow$

In Worten: Durch die Parallelschaltung eines $1\text{k}\Omega$ -Widerstandes zu R_3 erniedrigt sich der sich daraus ergebende Widerstand R_{234} . Daher sinkt auch R_{ges} ($R_1 + R_{234}$).

Der Gesamtstrom steigt ($I_{\text{ges}} = U_{\text{ges}} / R_{\text{ges}}$) und der Spannungsabfall am Widerstand R_1 steigt ebenfalls ($U_{R1} = R_1 \cdot I_{\text{ges}}$).

Da die Gesamtspannung konstant bleibt, muss U_2 sinken ($U_2 = U_{\text{ges}} - U_1$).

16.2 Aufgabe Gemischt 2 (Labor)

- a) Berechne alle Ströme und Spannungen und messe diese nach!

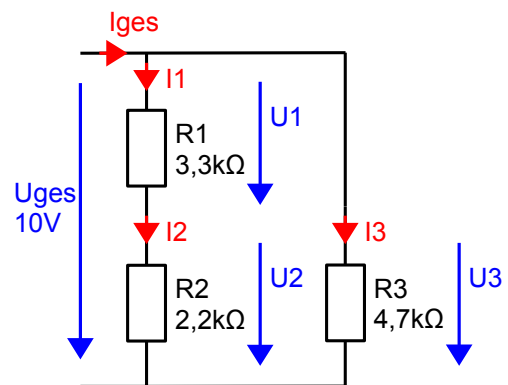
$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = 2,128 \text{ mA}$$

$$R_{23} = R_1 + R_2 = 5,5 \text{ k}\Omega$$

$$I_1 = I_2 = I_{23} = \frac{U_{23}}{R_{23}} = \frac{10 \text{ V}}{5,5 \text{ k}\Omega} = 1,818 \text{ mA}$$

$$U_1 = R_1 \cdot I_1 = 6 \text{ V}$$

$$U_2 = U_{ges} - U_1 = 4 \text{ V}$$



- b) Wie ändert sich I_1 wenn man einen $1 \text{ k}\Omega$ -Widerstand in Reihe zu R_1 und R_2 schaltet?
Messung und Begründung (Wirkungskette)

$1 \text{ k}\Omega$ in Reihe zu $R_{12} \rightarrow R_{124} \uparrow \rightarrow I_1 \downarrow$

(I_3 bleibt unverändert)

- c) Wie ändert sich I_1 wenn man einen $1 \text{ k}\Omega$ -Widerstand parallel zu R_3 schaltet?
Messung und Begründung (Wirkungskette).

$1 \text{ k}\Omega$ parallel zu $R_3 \rightarrow I_1$ ändert sich nicht, da sich weder U_{ges} noch R_{12} ändern.

16.3 Aufgabe Gemischt 3

Zwei Lampen mit den Nennwerten $12 \text{ V} / 160 \text{ mA}$ werden parallel geschaltet. In Reihe dazu schaltet man einen Vorwiderstand R_v . Die Gesamtschaltung wird an 15 V angeschlossen.

- a) Skizziere die Schaltung
b) Berechne R_v so, dass die Lampen mit ihren Nennwerten betrieben werden. Ist es ausreichend, wenn man einen $1/2 \text{ W}$ -Widerstand verwendet?

$$I_R = 2 \cdot 160 \text{ mA} = 320 \text{ mA}$$

$$U_R = 15 \text{ V} - U_L = 3 \text{ V}$$

$$R_v = \frac{U_R}{I_R} = 9,04 \Omega$$

$$P_v = U_R \cdot I_R = 0,996 \text{ W}$$

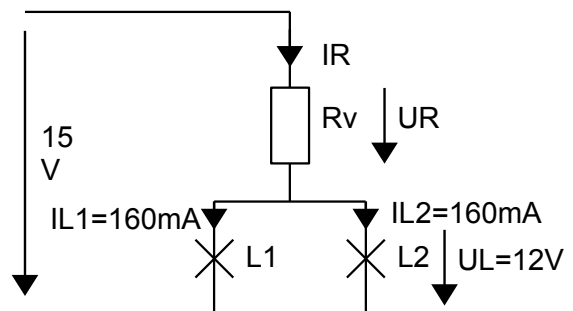
ein $1/2 \text{ W}$ -Widerstand ist nicht ausreichend.

- c) Was passiert, wenn eine Lampe defekt ist?
Gib eine Erklärung.

Für eine Lampe braucht man einen Widerstand von

$$R_v = \frac{3 \text{ V}}{160 \text{ mA}} = 18,75 \Omega$$

Daher ist der vorhandene Widerstand zu klein, die Lampe erhält einen zu großen Strom, und an ihr liegt eine zu große Spannung an.



16.4 Aufgabe Gemischt 4

- a) Welche 7 Gesamtwiderstandswerte lassen sich aus 1 bis 3 gleichen 1kΩ-Widerständen durch beliebige Reihen- und Parallelschaltung herstellen?
Fertige 7 kleine Schaltungsskizzen an und berechne jeweils die Gesamtwiderstände.
b) Zeichne bei allen Widerständen von a) die Größe der anliegenden Spannungen und die Größe der fließenden Ströme ein. Die Gesamtspannung beträgt in allen Fällen 10V.

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{10V}{1k} \Omega = 10mA$$

$$R_{ges} = R_1 + R_2 = 2k\Omega$$

$$I_{ges} = \frac{U_{ges}}{R_{ges}} = \frac{10V}{2k} \Omega = 5mA$$

$$U_{R1} = U_{R2} = 5V$$

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + R_3 = 3k\Omega$$

$$I_{ges} = \frac{U_{ges}}{R_{ges}} = \frac{10V}{3k} \Omega = 3,33mA$$

$$U_{R1} = U_{R2} = U_{R3} = R_3 \cdot I_{ges} = 3,33V$$

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R_{ges} = 500\Omega$$

$$I_1 = I_2 = 10mA$$

$$I_{ges} = I_1 + I_2 = 20mA$$

$$U_1 = U_2 = 10V$$

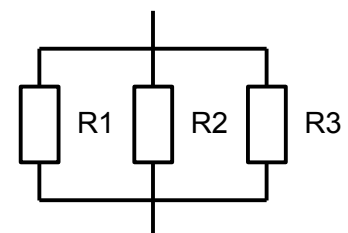
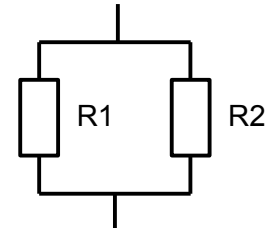
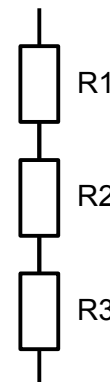
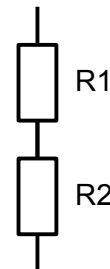
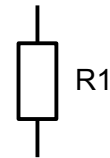
$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_{ges} = 333,3\Omega$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = 10mA$$

$$I_{ges} = I_1 + I_2 + I_3 = 30mA$$

$$U_1 = U_2 = U_3 = 10V$$



$$R_{12} = R_1 + R_2 = 2\text{k}\Omega$$

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_{\text{ges}} = 666,7\Omega$$

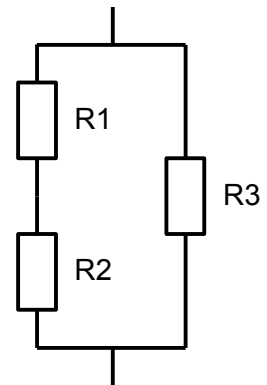
$$U_1 = U_2 = 5\text{V}$$

$$U_3 = 10\text{V}$$

$$I_{12} = 5\text{mA}$$

$$I_3 = 10\text{mA}$$

$$I_{\text{ges}} = I_{12} + I_3 = 15\text{mA}$$



$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_{23} = 500\Omega$$

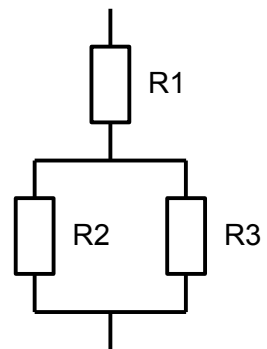
$$R_{\text{ges}} = R_{23} + R_1 = 1,5\text{k}\Omega$$

$$I_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = 6,667\text{mA} = I_1$$

$$U_{R1} = R_1 \cdot I_1 = 6,67\text{V}$$

$$U_2 = U_3 = 10\text{V} - U_{R1} = 3,33\text{V}$$

$$I_2 = I_3 = \frac{I_{\text{ges}}}{2} = 3,33\text{mA} \quad \text{oder} \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{3,33\text{V}}{1\text{k}\Omega} = 3,33\text{mA}$$



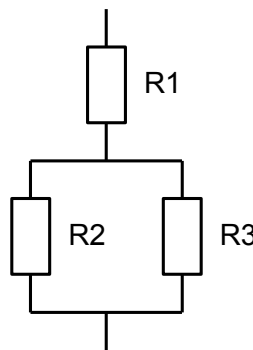
16.5 Aufgabe Gemischt 5

$$R_1 = 1\text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 2\text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 6\text{ k}\Omega$$

$$U_{\text{ges}} = 10\text{V}$$



$$R_{23} =$$

$$R_{\text{ges}} =$$

$$I_1 =$$

$$I_2 =$$

$$I_3 =$$

$$U_1 =$$

$$U_2 =$$

$$U_3 =$$

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \rightarrow R_{23} = 1,5\text{k}\Omega$$

$$R_{\text{ges}} = R_{23} + R_1 = 2,5\text{k}\Omega$$

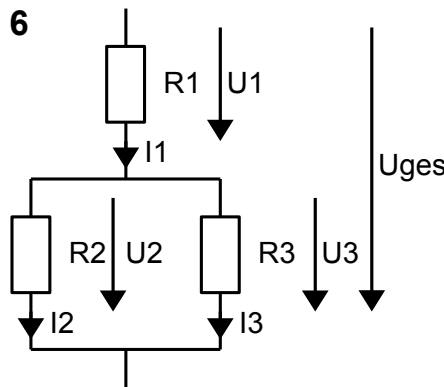
$$I_1 = I_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = 4\text{mA}$$

$$U_1 = R_1 \cdot I_1 = 4\text{V} \rightarrow U_2 = U_3 = U_{\text{ges}} - U_1 = 6\text{V}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = 3\text{mA} \rightarrow I_3 = I_1 - I_2 = 1\text{mA}$$

16.6 Aufgabe Gemischt 6

$I_1 = 2 \text{ mA}$
 $I_2 = 0,5 \text{ mA}$
 $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$
 $U_{ges} = 2 \text{ V}$



$R_3 =$
 $R_1 =$

$$U_2 = R_2 \cdot I_2 = 1 \text{ V} = U_3 \rightarrow U_1 = U_{ges} - U_2 = 1 \text{ V}$$

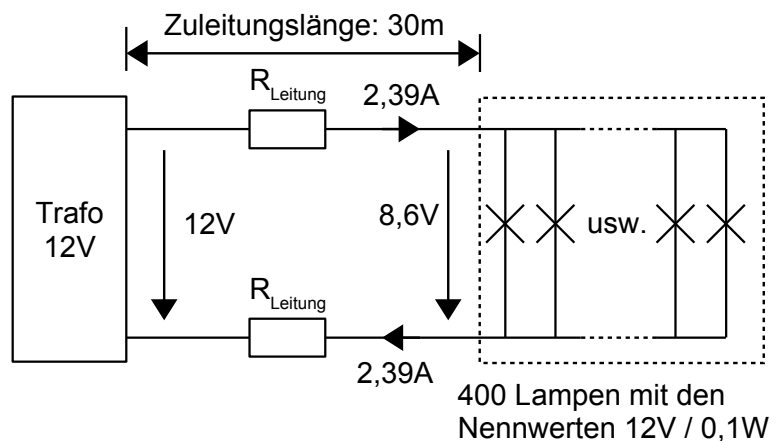
$$R_1 = U_1 / I_1 = 500 \Omega$$

$$I_3 = I_1 - I_2 = 1,5 \text{ mA}$$

$$R_3 = U_3 / I_3 = 667 \Omega$$

16.7 Weihnachtsbaumbeleuchtung mit parallel geschalteten Lampen

400 parallel geschaltete Lampen sind in 30 m Entfernung vom Trafo an einem Weihnachtsbaum angebracht. Ein Hobby-Elektriker wundert sich, warum die Lampen so „dunkel“ leuchten und geht der Sache meßtechnisch auf den Grund: Direkt am Trafo-Ausgang mißt er 12V, an den Lampen jedoch nur 8,6V. In der Zuleitung fließt ein Strom von 2,39A. Annahme: Die Lampen verhalten sich wie ohm'sche Widerstände.



16.7.1 Welche Querschnittsfläche besitzt eine Ader der Kupferzuleitung? $\rho_{Cu}=0,0178 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

$$U_{ges} = U_{Leitung} + U_{Leitung} + U_{Lampen}$$

$$U_{ges} = 2 \cdot U_{Leitung} + U_{Lampen}$$

$$\rightarrow U_{Leitung} = (U_{ges} - U_{Lampen}) / 2 = (12 \text{ V} - 8,6 \text{ V}) / 2 = 1,7 \text{ V}$$

$$R_{Leitung} = \frac{U_{Leitung}}{I_{Leitung}} = \frac{1,7 \text{ V}}{2,39 \text{ A}} = 0,7113 \Omega$$

$$R_{Leitung} = \rho_{Cu} \cdot \frac{l}{A} \rightarrow A = \rho_{Cu} \cdot \frac{l}{R_{Leitung}} = 0,0178 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{30 \text{ m}}{0,7113 \Omega} = 0,75 \text{ mm}^2$$

16.7.2 Welche Leistung gibt eine Lampe ab? (nicht 0,1W!)

16.7.3 Welche Leistung geben alle Lampen zusammen ab?

$$P_{400Lampen} = 2,39 \text{ A} \cdot 8,6 \text{ V} = 20,554 \text{ W}$$

$$P_{1Lampe} = P_{400Lampen} / 400 = 51,4 \text{ mW} \text{ (statt } 100 \text{ mW wenn die Lampen an } 12 \text{ V liegen)}$$

Andere Berechnungsmöglichkeit: Mit den Nennwerten 12V / 0,1W den Widerstand der Lampen ausrechnen. $I_{1Lampe} = 2,39A / 400$. $P_{1Lampe} = I^2 * R_{1Lampe}$ (nicht mit dem Nennwert-Strom rechnen!)

- 16.7.4 Der Hobby-Elektriker ersetzt die 2-adrige Zuleitung durch eine andere mit einem Querschnitt von 2 x 3mm². (2 Adern mit je 3mm² Querschnittsfläche). Welche Leistungen geben jetzt die Lampen ab? (gesucht: P_{400Lampen} und P_{1Lampe})**
Achtung: Nur Uges und RLampe bleiben konstant!

$$R_{Leitung} = \rho_{Cu} * \frac{l}{A} = 0,0178 \Omega \frac{mm^2}{m} * \frac{30m}{3mm^2} = 0,178 \Omega$$

$$P_{1Lampe} = \frac{U^2}{R_{1Lampe}} \rightarrow R_{1Lampe} = \frac{U^2}{P_{1Lampe}} = \frac{(12V)^2}{0,1W} = 1440 \Omega$$

$$\frac{1}{R_{400Lampen}} = \frac{1}{R_{1Lampe}} + \frac{1}{R_{1Lampe}} + \dots = \frac{400}{R_{1Lampe}} \rightarrow R_{400Lampen} = \frac{R_{1Lampe}}{400} = 3,6 \Omega$$

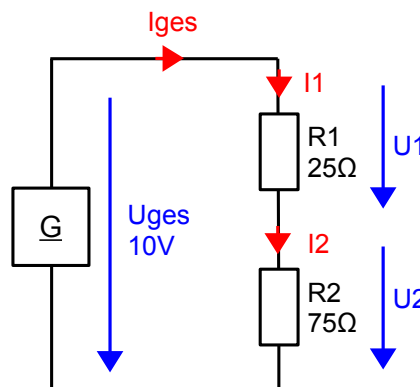
$$R_{ges} = 2 * R_{leitung} + R_{400Lampen} = 3,956 \Omega$$

$$I_{ges} = 12V / R_{ges} = 3,033A$$

$$P_{400Lampen} = I^2 * R_{400Lampen} = 33,1W$$

$$P_{1Lampe} = P_{400Lampen} / 400 = 82,8mW \quad (\text{ideal } 100mW \text{ wenn } 12V \text{ an den Lampen anliegt})$$

16.8 Stromkreisdanken



- 16.8.1 Woher „weiß der Strom“, wie groß er zu werden hat?**

Der Strom wird bestimmt vom Gesamtwiderstand.

- 16.8.2 An welchem Widerstand fällt die größere Spannung ab?**

Am größeren Widerstand fällt die größere Spannung ab. $U = R \cdot I$

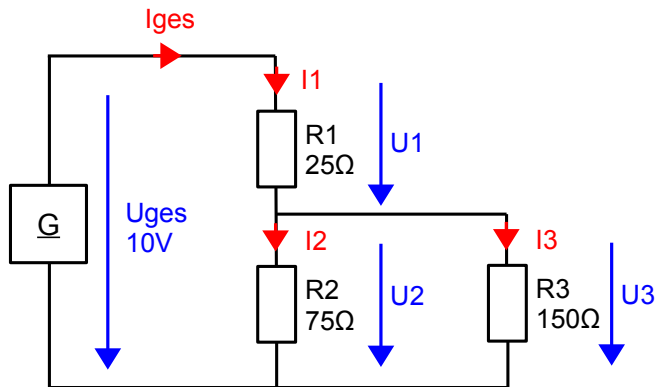
- 16.8.3 Woher „weiß die Spannung“ am Widerstand, wie groß sie wird?**

Die Größe der Spannung ist abhängig von der Größe des Stromes und des Widerstandes.

- 16.8.4 Welcher Widerstand gibt mehr Wärme ab?**

Der größere Widerstand hat die größere Leistung $P = U \cdot I$, daher gibt dieser auch mehr Wärme ab.

Zu R2 wird ein weiterer Widerstand R3 = 150Ω parallel geschaltet.



16.8.5 Wie ändert sich der Gesamtwiderstand?

$R_{23} \downarrow \rightarrow R_{ges} \downarrow$

16.8.6 Wie ändert sich der Gesamtstrom?

$R_{23} \downarrow \rightarrow R_{ges} \downarrow \rightarrow I_{ges} \uparrow$

16.8.7 Wie ändert sich U_1 ?

$R_{23} \downarrow \rightarrow R_{ges} \downarrow \rightarrow I_{ges} \uparrow \rightarrow U_1 \uparrow$

16.8.8 Wie ändert sich U_2 ?

$R_{23} \downarrow \rightarrow R_{ges} \downarrow \rightarrow I_{ges} \uparrow \rightarrow U_1 \uparrow \rightarrow U_2 \downarrow$

16.8.9 Was kann man über die Größe der Ströme I_1 , I_2 , I_3 sagen?

$I_1 = I_2 + I_3$

$I_{ges} = I_1 \uparrow$

$U_2 \downarrow \rightarrow I_2 \downarrow$

I_3 kommt neu dazu, daher kann es sein, dass I_2 sinkt obwohl I_1 steigt.

16.9 Autoakku mit Innenwiderstand

Der Innenwiderstand eines üblichen 12V-Blei-Akkumulators liegt im mΩ-Bereich. Er ist vom Ladezustand, der Temperatur und dem Alter des Akkus abhängig.

Die Leerlaufspannung sei $U_0 = 12V$, der Innenwiderstand $R_i = 50m\Omega$.

16.9.1 Welcher Strom fließt, wenn ein Anlasser mit $R_a = 0,3\Omega$ mit dem Akku betrieben wird?

Wie groß ist in diesem Fall die Klemmenspannung am Akku?
 Fertigen Sie eine Schaltungsskizze an.

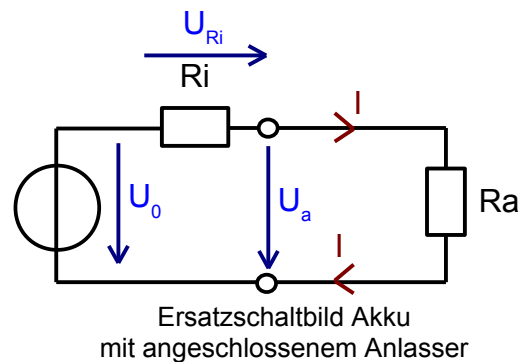
$$R_{ges} = R_i + R_a = 0,05 \Omega + 0,3 \Omega = 0,35 \Omega$$

$$I = \frac{U_0}{R_{ges}} = \frac{12V}{0,35 \Omega} = 34,29 A$$

$$U_a = R_a * I = 0,3 \Omega * 34,29 A = 10,29 V$$

Das Auto mit obiger Batterie wurde schon lange nicht mehr gefahren und es ist kalt. Der Innenwiderstand ist auf 150 mΩ angestiegen.

Der Fahrer hat beim Starten fälschlicherweise die Lichtanlage des Autos (Gesamtwiderstand 1,0Ω) eingeschaltet.



16.9.2 Kann damit der Anlasser noch ordnungsgemäß betätigt werden, wenn dieser eine Mindestspannung von 9,0 V benötigt?

$$\frac{1}{R_{aLicht}} = \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_{Licht}} = \frac{1}{0,3 \Omega} + \frac{1}{1 \Omega}$$

$$R_{aLicht} = 0,2308 \Omega$$

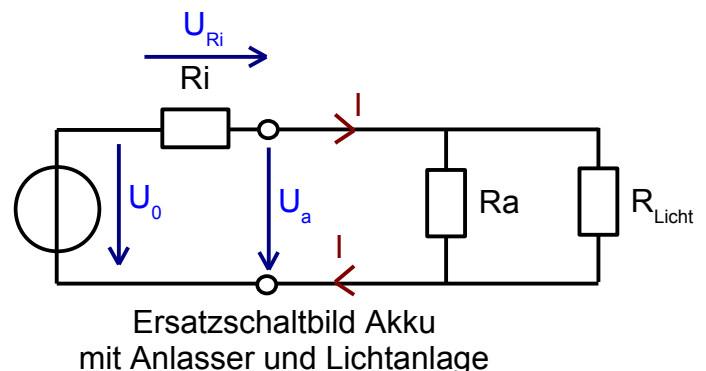
$$R_{Ges} = R_{aLicht} + R_i = 0,15 \Omega + 0,2308 \Omega$$

$$R_{Ges} = 0,3808 \Omega$$

$$I = \frac{U_0}{R_{Ges}} = \frac{12V}{0,3808 \Omega} = 31,51 A$$

$$\rightarrow U_a = R_{aLicht} * I = 0,2308 \Omega * 31,51 A = 7,27 V$$

Die Spannung sinkt auf 7,27V. Der Anlasser wird nicht mehr ordnungsgemäß funktionieren.



16.10 Entladung des Autoakkus mit der Lichtanlage

Die Autolichtanlage (120W/12V) ist an den Akku (12V; Innenwiderstand $R_i = 0,010\Omega$; Ladung 45Ah) des Autos angeschlossen.

16.10.1 Wie lange würde der Scheinwerfer leuchten, wenn vergessen worden wäre ihn auszuschalten. (Annahme: $U_0=12V$ und R_i bleiben während der Entladung konstant.)

17 Dioden und LEDs

17.1 Schaltzeichen und Kennzeichnung der Anschlüsse

17.2 Kennlinien

17.3 Beschreibung der Kennlinien

17.4 Typische LED-Schaltung

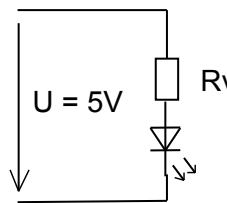
17.5 Aufgabe des Vorwiderstandes

17.6 Berechnung des Vorwiderstandes

17.7 Grafische Ermittlung des Vorwiderstandes

17.8 Übung: LED –Kennlinie und Arbeitsgerade

Die Tabelle beschreibt die Kennlinie der nebenstehenden roten Niedrigstrom-LED.



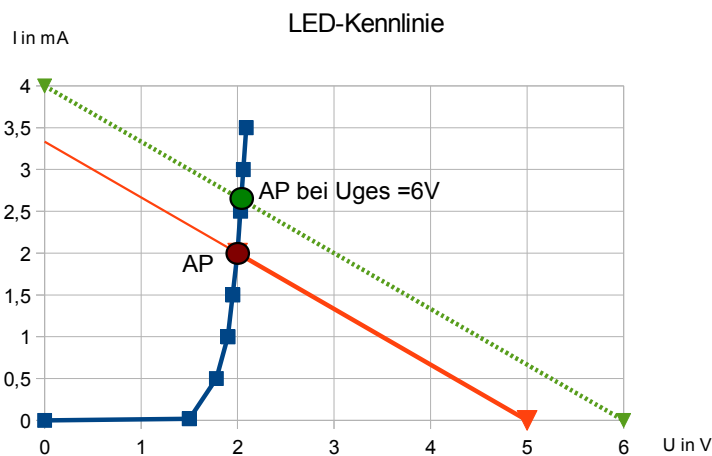
| U in V | I in mA |
|--------|---------|
| 0 | 0 |
| 1,5 | 0,02 |
| 1,78 | 0,5 |
| 1,9 | 1 |
| 1,95 | 1,5 |
| 2 | 2 |
| 2,03 | 2,5 |
| 2,06 | 3 |
| 2,09 | 3,5 |

17.8.1 Skizzieren Sie die Diodenkennlinie mit den angegebenen Werten.

17.8.2 Wählen Sie einen Arbeitspunkt.

17.8.3 Zeichnen Sie die Arbeitsgerade ein.

17.8.4 Berechnen Sie den Widerstand Rv mit Hilfe der Arbeitsgeraden.



$$R = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| = \left| \frac{0V - 5V}{3,3mA - 0mA} \right| = 1510 \Omega$$

17.8.5 Berechnen Sie R ohne Arbeitsgerade mit den Werten

$I_{LED} = 2mA$, $U_{LED} = 2V$.

$$U_{LED} = 2V \rightarrow U_R = U_{ges} - U_{LED} = 3V$$

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{3V}{2mA} = 1500 \Omega$$

17.8.6 Auf welchen Wert ändert sich der Strom durch die LED, wenn die Gesamtspannung auf 6V erhöht wird?

Annahme: U_{LED} bleibt ungefähr gleich (steile Kennlinie)

$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{4V}{1500\Omega} = 2,67 \text{ mA}$$

Arbeitsgerade zeichnen:

Schnittpunkt mit X-Achse (5V/0A)

Schnittpunkt mit Y-Achse: (0V/ 4mA) weil $6V/1500\Omega = 4\text{mA}$

→ abgelesen: $I = 2,7\text{mA}$

17.9 Übung: Versuchsbeschreibung Kennlinienaufnahme

Beschreiben Sie einen Versuch zur Bestimmung der Kennlinie einer LED.
 Verlangt: Schaltungsskizze mit Messgeräten, Vorgehensweise.

Siehe Laborbericht

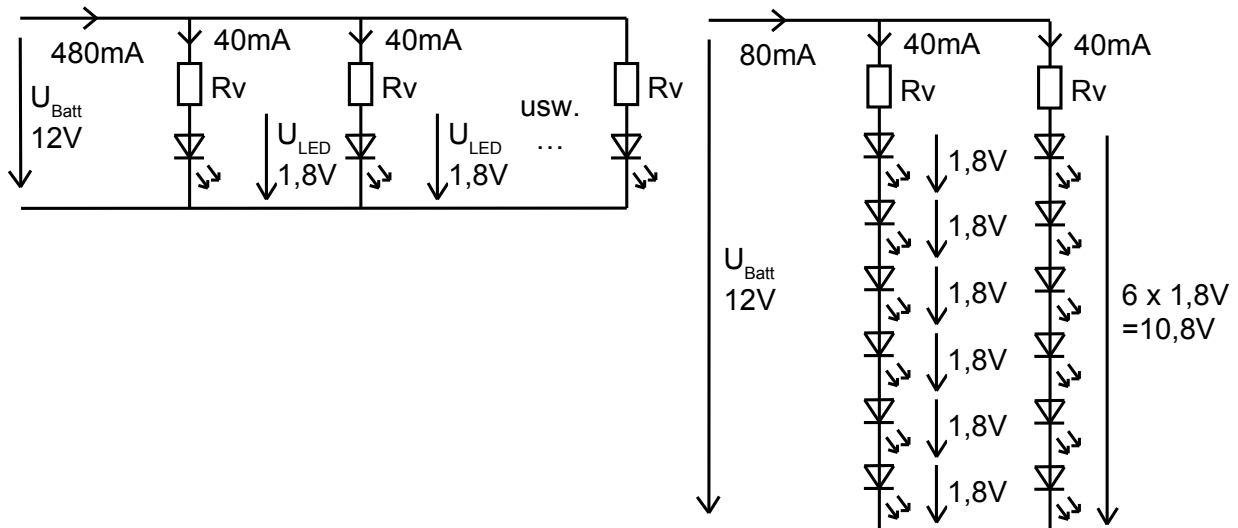
17.10 Übung: E-Bike-Bremslicht

Eine LED-Schaltung mit 12 ultrahellen, roten LEDs für ein E-Bike-Bremslicht wird gesucht. Die Schaltung wird an 12V (Batterie) betrieben. Gesucht ist eine Schaltung, bei der möglichst wenig Verlustleistung in Form von Wärme erzeugt wird.

LED-Daten: $U_F = 1,8V$, $I_F = 40 \text{ mA}$

17.10.1 Skizzieren Sie 2 Varianten:

- a) alle 12 LEDs parallel mit je einem Vorwiderstand
- b) 6 LEDs in Reihe mit Vorwiderstand, parallel dazu noch einmal 6 LEDs in Reihe mit Vorwiderstand



17.10.2 Berechnen Sie für a) die Vorwiderstände, die Leistung eines Widerstandes, die Gesamtleistung der Widerstände und die Gesamtleistung der Schaltung.

$$R_V = \frac{U_{RV}}{I} = \frac{(12V - 1,8V)}{40\text{mA}} = 255\Omega$$

$$P_{RV} = U_{RV} * I = 10,2V * 40\text{mA} = 408\text{mW}$$

$$P_{RVges} = 12 * P_{RV} = 4,9W$$

$$P_{ges} = U_{ges} * I_{ges} = 12V * (12 * 40\text{mA}) = 5,76W$$

17.10.3 Berechnen Sie für b) die Vorwiderstände, die Leistung der Widerstände und die Gesamtleistung der Schaltung.

$$R_V = \frac{U_{Rv}}{I} = \frac{(12V - 6 * 1,8V)}{40mA} = \frac{1,2V}{40mA} = 30\Omega \quad P_{Rv} = U_{Rv} * I = 1,2V * 40mA = 48mW$$

$$P_{ges} = U_{ges} * I_{ges} = 12V * (2 * 40mA) = 0,96W$$

17.10.4 Warum kann man nicht alle 12 LEDs in Reihe schalten?

Die Gesamtspannung müsste größer als $12 * 1,8V = 21,6V$ sein.

17.10.5 Diskutieren Sie die Vor- und Nachteile der Schaltungen a) und b).

a) viel größerer Energieverbrauch, wenn eine LED oder ein LED-Anschluss-Kontakt* defekt ist, leuchten die anderen LEDs trotzdem. (* kommt häufiger vor als ein LED-Defekt)

b) viel geringerer Energieverbrauch, wenn eine LED oder ein LED-Anschluss-Kontakt* defekt ist, leuchten die Hälfte der LEDs nicht.

17.10.6 Auf welchen Wert ändert sich der Strom durch die LEDs, wenn bei Schaltung b) die Gesamtspannung 14V (statt 12V) beträgt? (Hinweis: nach der Berechnung wissen Sie, warum die LEDs häufig mit einer Konstantstromquelle betrieben werden.)

$$I = \frac{U_{Rv}}{Rv} = \frac{3,2V}{30\Omega} = 107mA$$

Hinweis: Spannungsschwankungen am Akku sind nichts Ungewöhnliches. Dies würde dazu führen, dass die Helligkeit der LEDs sich sehr stark verändern würde. Daher verwendet man statt des Vorwiderstandes häufig eine Konstantstromquelle, die man im einfachsten Fall aus einem Transistor und einem Widerstand aufbauen kann. Es gibt aber auch ICs, die speziell für diesen Zweck entwickelt wurden und nur wenig mehr als eine ultrahelle LED kosten.

17.11 Vergleich Glühlampe - Energiesparlampe - LED-Beleuchtung

Recherchieren Sie die Eigenschaften, Vor- und Nachteile und Einsatzgebiete dieser 3 möglichen Beleuchtungsarten und stellen sie diese tabellarisch gegenüber.

Stellen Sie die Anschaffungs- und Betriebskosten für 1 Jahr bei einer durchschnittlichen täglichen Leuchtdauer von 2 Stunden gegen über:

- 60W-Glühlampe
- vergleichbare Energiesparlampe
- vergleichbare LED-Beleuchtung

| Glühlampe | Energiesparlampe | LED-Beleuchtung |
|---|--|-----------------------------|
| 60W | 12W | 8W |
| $60W * 2h * 365Tage = 43,8kWh$ | $12W * 2h * 365Tage = 8,76kWh$ | $8W * 2h * 365Tage=5,84kWh$ |
| $43,8kWh * 0,2€/kWh = 8,76€$ | $8,76kWh * 0,2€/KWh = 1,75€$ | $5,84kWh * 0,2€/kWh =1,17€$ |
| Sonnenähnliches Lichtspektrum | Erreichen maximale Helligkeit erst nach Minuten | Maximale Helligkeit sofort |
| Nur 95% der Energie wird in Licht umgesetzt | Enthält Quecksilber Entsorgung auch der elektronischen Steuerung problematisch | Teuer in der Anschaffung |
| Lebensdauer 1000h | Lebensdauer 10000h | Lebensdauer 20000h |

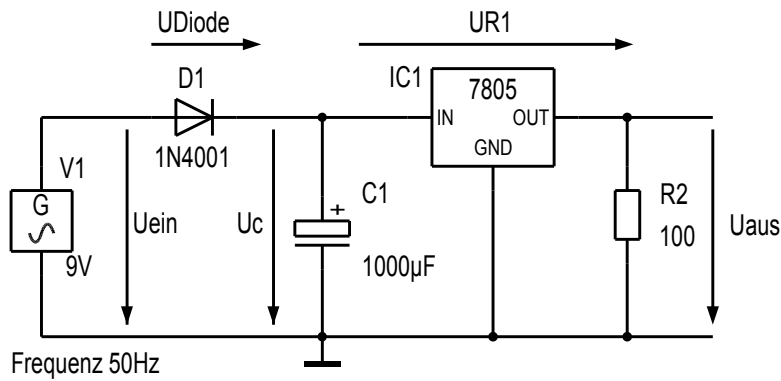
| Vergleichstabelle: Abgestrahlte Lichtmenge für verschieden Beleuchtungen | | | |
|--|-----------|------------------|-----|
| Lichtmenge | Glühlampe | Energiesparlampe | LED |
| 100lm | 15W | 3W | 2W |
| 200lm | 25W | 5W | 4W |
| 400lm | 40W | 7W | 5W |
| 700lm | 60W | 12W | 8W |
| 900lm | 75W | 15W | 10 |
| 1400lm | 100W | 20W | 13W |

18 Diodenschaltungen: Kapitel ohne Aufgaben

19 Übungen Diode und LED

19.1 Einweggleichrichter

19.1.1 Skizzieren Sie eine Schaltung, die aus einer 9V-Wechselspannung eine 5V-Gleichspannung erzeugt. Die Schaltung soll u.a. einen Einweggleichrichter und einen Spannungsregler enthalten.



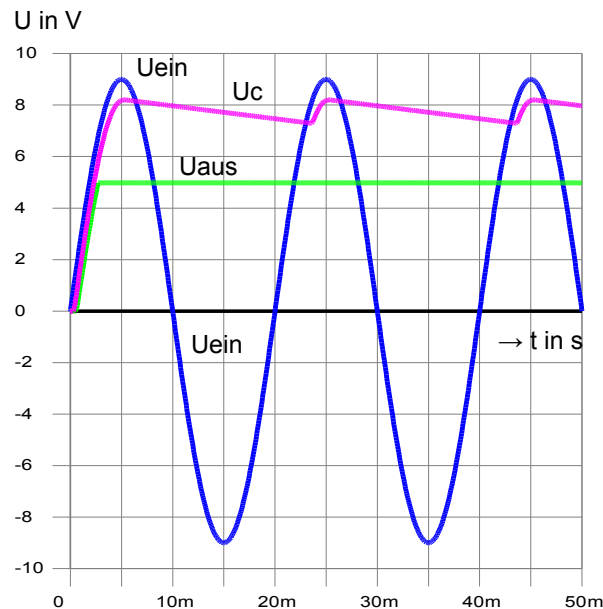
19.1.2 Erklären Sie die Aufgabe der Bauteile Ihrer Schaltung.

D1: Gleichrichterdiode

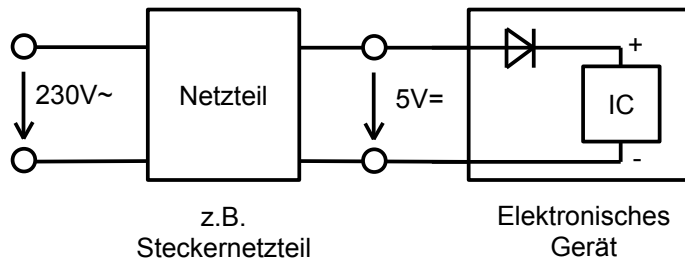
C1: Ladekondensator: überbrückt die „Spannungstäler“ wenn U_{ein} negativ ist.

IC1: Spannungsregler erzeugt eine feste 5V-Gleichspannung

19.1.3 Skizzieren Sie die zeitlichen Verlauf aller wichtigen Spannungen Ihrer Schaltung in ein gemeinsames Diagramm $U(t)$



19.2 Verpolungsschutz



In elektronischen Geräten sind fast immer elektrische Schaltkreise (ICs) enthalten, die mit Gleichspannung betrieben werden. Wenn die Spannung verpolt wird (+ und – vertauscht), können die ICs zerstört werden, daher wird hier eine Verpolungsschutz-Diode vorgesehen.

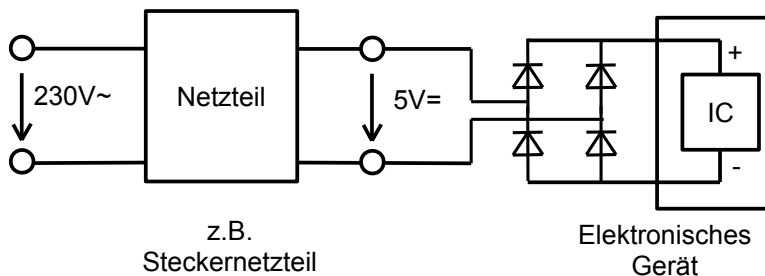
19.2.1 Welche Spannungen liegen an dem IC an, wenn die 5V-Gleichspannung a) richtig gepolt b) falsch gepolt angeschlossen wird?

a) $5V - 0,7V = 4,3V$ (An der Diode fallen $0,7V$ ab)

b) $0V$ weil die Diode sperrt.

Statt der Diode wird ein Brückengleichrichter am Eingang des elektronischen Geräts vorgesehen.

19.2.2 Skizzieren Sie die Schaltung.



19.2.3 Welche Spannungen liegen an dem IC an, wenn die 5V-Gleichspannung a) richtig gepolt b) falsch gepolt angeschlossen wird?

a) $5V - 1,4V = 3,6V$

b) $5V - 1,4V = 3,6V$ (2x $0,7V$ an Dioden)

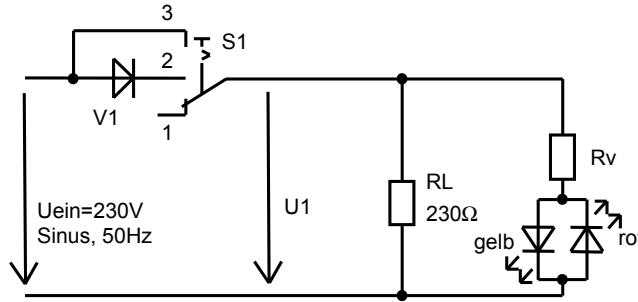
19.2.4 Welche Vor- und Nachteile besitzen die beiden Verpolungsschutz-Lösungen?

Einweggleichrichter: Nur eine Steckerpolung möglich, nur $0,7V$ Spannungsabfall

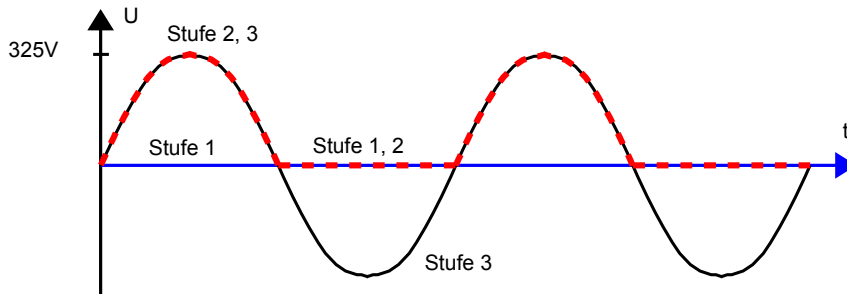
Zweiweggleichrichter: Polung des Steckernetzteils gleichgültig, aber $1,4V$ Spannungsabfall.

19.3 Fön

Die Schaltung befindet sich in einem Föhn. S1 ist ein 3-Stufen-Schalter (Stufen 1, 2, 3). RL ist der Heizwiderstand.



19.3.1 Skizzieren Sie U1 für die 3 Schalterstellungen in ein Diagramm. Beschriften Sie die Kurven mit Stellung 1,2,3. (Spitzenwert: $230V * \sqrt{2} = 325V$)



19.3.2 Begründen Sie, welche LED in welcher Schalterstellung leuchtet.

Die gelbe LED leuchtet in Stufe 2 und 3 bei den positiven Halbwellen.

Die rote LED leuchtet nur in Stufe 3 bei den negativen Halbwellen.

Da die halbwellen 50x in der Sekunde auftreten, sieht es für das menschliche Auge so aus, als wenn die rote LED in Stufe 3 dauernd leuchtet und die gelbe LED in den Stufen 2 und 3 fortwährend leuchtet.

19.3.3 Berechnen Sie Rv für einen maximalen LED-Strom von 40mA. U_{LED-rot}=1,6V; U_{LED-gelb}=2V.

$$R_v = \frac{(325V - 1,6V)}{0,04 A} = 8,085 \text{ k}\Omega$$

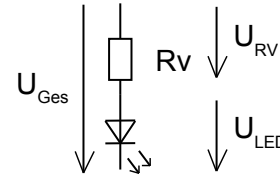
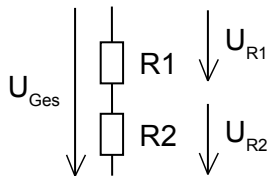
19.4 Vergleich Widerstands-Schaltung – LED-Schaltung

19.4.1 Skizzieren Sie folgende 2 Schaltungen:

Nr 1: Reihenschaltung aus 2 Widerständen (R1, R2), $U_{R2} = 2V$, $I = 20mA$, $U_{ges} = 5V$

Nr 2: Reihenschaltung aus Widerstand R1 und LED, $U_{LED} = 2V$, $I = 20mA$, $U_{ges} = 5V$.

19.4.2 Wie ändern sich die Ströme und Spannungen in beiden Schaltungen, wenn man U_{ges} erhöht? (z.B. von 5V auf 6V)



bei $U_{ges} = 5V$:

$$R2 = \frac{U2}{I2} = \frac{2V}{20mA} = 100\Omega$$

$$R1 = \frac{U1}{I1} = \frac{3V}{20mA} = 150\Omega$$

$$R_{ges} = R1 + R2 = 250\Omega$$

$$Rv = \frac{U_{RV}}{I1} = \frac{3V}{20mA} = 150\Omega$$

bei $U_{ges} = 6V$:

$$I = \frac{U_{ges}}{R_{ges}} = \frac{6V}{250\Omega} = 24mA$$

$$U_{R1} = R1 * I = 100\Omega * 24mA = 2,4V$$

$$U_{R2} = R2 * I = 150\Omega * 24mA = 3,6V$$

$$U_{LED} = 2V \text{ bleibt ungefähr konstant}$$

$$U_{RV} = U_{ges} - U_{LED} = 6V - 2V = 4V$$

$$I = \frac{U_{RV}}{Rv} = \frac{4V}{150\Omega} = 26,7mA$$

19.5 LED-Schaltungen

Ein Bastler möchte zwei 3W-LEDs an die 12V-Gleichspannung eines Schaltnetzteils anschließen. Laut Datenblatt liegt an der LED im Nennbetrieb eine Spannung von 4,2V an.

19.5.1 Welcher maximale Strom darf durch eine dieser LEDs fließen?

$$P_{LED} = U_{LED} * I_{LED} \rightarrow I_{LED} = \frac{P_{LED}}{U_{LED}} = \frac{3W}{4,2V} = 714,3mA$$

19.5.2 Dimensionieren Sie die Vorwiderstände, wenn Sie die LEDs parallel betreiben. (Je 1 Vorwiderstand für eine LED. Berechnen Sie R und P der Widerstände.)

$$Rv = \frac{U_{RV}}{I_{RV}} = \frac{(12V - 4,2V)}{714,3mA} = \frac{7,8V}{714,3mA} = 10,92\Omega \quad P_{RV} = U_{RV} * I_{RV} = 7,8V * 714,3mA = 5,57W$$

Da am Vorwiderstand eine größere Spannung als an der LED abfällt muss der Vorwiderstand auch eine viel größere Leistung aufnehmen → sehr unökonomisch!

19.5.3 Dimensionieren Sie den Vorwiderstand, wenn Sie die LEDs in Reihe betreiben.

$$Rv = \frac{U_{RV}}{I_{RV}} = \frac{(12V - 2 * 4,2V)}{714,3mA} = \frac{3,6V}{714,3mA} = 5,04\Omega$$

$$P_{RV} = U_{RV} * I_{RV} = 3,6V * 714,3mA = 2,57W$$

19.5.4 Diskutieren Sie die Vor- und Nachteile der Schaltungen .2 und.3.

Die Parallelschaltung benötigt genau die doppelte Gesamtleistung weil der doppelte Strom fließt, jedoch leuchtet immer noch die andere LED, wenn eine LED defekt ist.

Als alternative Spannungsversorgung schlägt der Bastler einen billigeren Halogenlampentrafo vor, der eine Wechselspannung von 12V abgibt.

19.5.5 Diskutieren Sie Vor- und Nachteile der beiden Spannungsversorgungen.

| | |
|---|--|
| Schaltnetzteil | Konventioneller Halogenlampentrafo |
| klein | Groß, schwer |
| Geringer Eigenverbrauch Geringe Erwärmung Energieeffizient großer Wirkungsgrad | Größe Verluste Erwärmung schlechterer Wirkungsgrad |
| | Gleichrichtung notwendig |

Hinweis: Zwischenzeitlich sind speziell für die Ansteuerung von LEDs ausgelegte Vorschaltgeräte erhältlich. Diese arbeiten nach dem Schaltnetzteil-Prinzip und bringen oft weitere Vorteile mit::

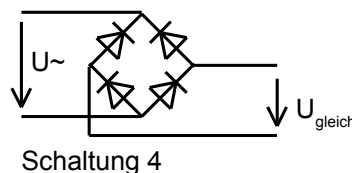
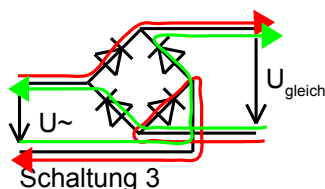
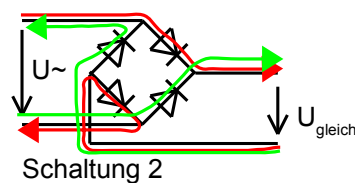
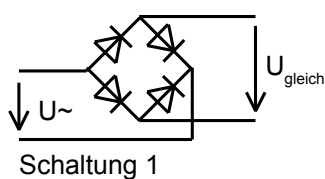
- Konstantstromquellen, daher unterschiedlich viele LEDs in Reihe schaltbar,
- dimmbar
- Fernbedienung

19.5.6 Warum darf man die Schaltungen .2 und .3 nicht ohne Schaltungsänderungen anschließen?

19.5.7 Welche Schaltungsänderungen sind gemeint?

LEDs werden zerstört, wenn man sie an negative Spannungen anschließt. Daher muss die Wechselspannung eines Halogenlampentrafos zunächst gleichgerichtet werden.

19.6 Zweiweggleichrichter (Brückengleichrichter)

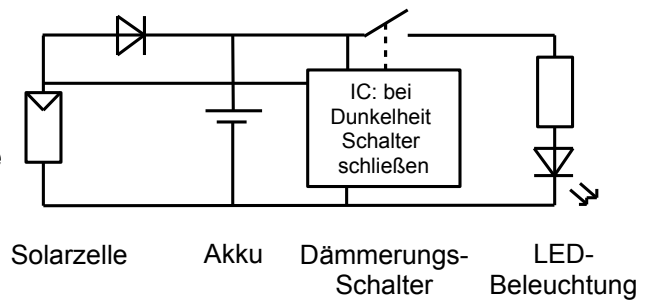


19.6.1 Welche der Schaltungen stellen funktionierende Zweiweggleichrichter dar?

19.6.2 Zeichnen Sie die beiden Stromverläufe bei der positiven und der negativen Halbwelle der sinusförmigen Eingangsspannung in eine funktionierende Schaltung ein.

19.7 Solarleuchte

In einer Solarleuchte wird Sonnenenergie am Tag in einem Akku gespeichert. Bei Dunkelheit wird die gespeicherte Energie an eine LED abgegeben.



19.7.1 Welche Aufgabe hat die Diode?

Hinweis: Eine Solarzelle kann auch als „Verbraucher“ betrieben werden.

19.7.2 Beschreiben Sie die Stromkreise a) bei Tag und b) bei Nacht.

a) Der Akku wird von der Solarzelle über die Diode aufgeladen. Wenn die Akku-Spannung größer als Spannung an der Solarzelle ist (z.B. bei Dunkelheit oder bei Verschattung durch eine Wolke), sperrt die Diode. Sonst würde sich der Akku über die Solarzelle entladen.

b) Bei Dunkelheit schließt das IC den Schalter und die LED leuchtet. Ist der Akku zu weit entladen, öffnet der Schalter wieder, um den Akku vor Tiefentladung zu schützen.

Der Akku muss vor „Tiefentladung“ geschützt werden: Entlädt man einen Akku bis auf 0V, so ist er tiefentladen und wird zerstört.

19.7.3 Beschreiben Sie die Aufgaben der integrierten Schaltung (IC).

Warum führen 3 Anschlüsse an das IC?

Hinweis: Ein Transistor, der die LED ein- und ausschaltet, wird hier als elektronischer Schalter dargestellt.

Das IC benötigt eine Spannungsversorgung, daher benötigt es 2 Anschlüsse, die parallel am Akku angeschlossen sind.

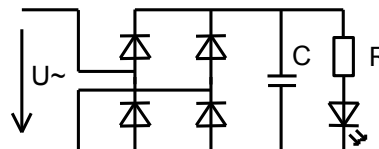
Bei Dunkelheit wird der Schalter geschlossen, jedoch nicht, wenn die Spannung am Akku zu klein ist.

Um zu erkennen, wann es dunkel ist, führt ein weiterer Anschluss (und GND) von der Solarzelle an das IC. Damit wird die Spannung an der Solarzelle gemessen.

19.8 Fahrrad-LED-Scheinwerfer

Daten: $U_{\sim \text{Spitze}} = 8,5V$
 $R = 4,7\Omega$

$C = 1000\mu F$
 $U_{LED} = 3,5V$
 $U_{1Diode} = 0,7V$



19.8.1 Welcher maximale Strom (Spitzenstrom) fließt durch die LED?

An den Dioden des Zweiweggleichrichters fallen je 0,7V ab.

$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{(8,5V - 2 \cdot 0,7V - 3,5V)}{4,7\Omega} = 0,766A$$

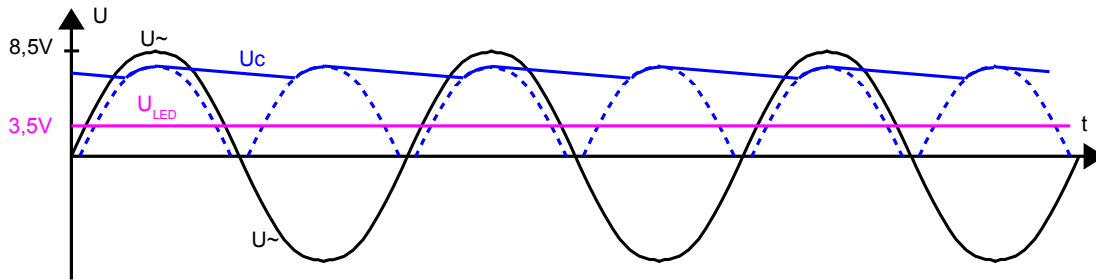
19.8.2 Welche maximale Leistung (Spitzenleistung) geben die LED und der Widerstand ab?

$$P_{LED} = 3,5V \cdot 0,766A = 2,68W \quad P_R = 3,6V \cdot 0,766A = 2,76W$$

19.8.3 Welche maximale Leistung muss der Dynamo abgeben, der U~ erzeugt?

$$P_{\text{dynamoMax}} = U_{\text{ges}} \cdot I_{\text{ges}} = 8,5V \cdot 0,766A = 6,5W$$

19.8.4 Zeichnen Sie die Spannungen U_C und U_{LED} in das Diagramm ein und erklären Sie den Verlauf.

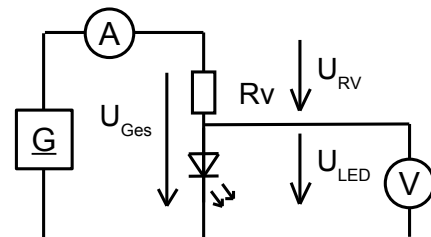


19.9 LEDs: Eigenschaften, Versuche und Schaltungen

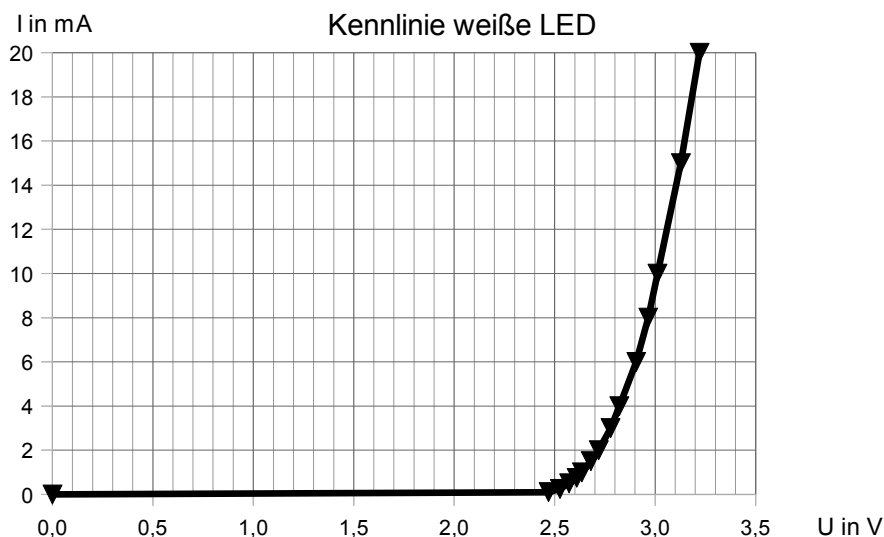
Ihr Freund erwirbt auf einem Flohmarkt 4 baugleiche, ultrahelle weiße LEDs und einen 12V-Wechselspannungstrafo. Da er weiß, dass Sie eine gute elektrotechnische Grundbildung besitzen, fragt er Sie um Rat, bevor er die LEDs an den Trafo anschließt.

19.9.1 Beschreiben Sie einen Versuch zur Bestimmung der Durchlass-Spannung einer LED. Skizzieren Sie die Schaltung mit allen notwendigen Bauteilen und Messgeräten.

LED mit Vorwiderstand (z.B. 1kΩ) an eine Gleichspannung anschließen. Spannung an der LED messen.
 Wenn die LED nicht hell genug leuchtet, Widerstand verringern.
 Die Spannung an der LED ändert sich dabei nur wenig.



19.9.2 Skizzieren Sie die Kennlinie einer weißen LED und erklären Sie den Kennlinienverlauf.
 (Achsen beschriften, positive und negative Spannungs-Achse)
 Was bedeutet der Kennlinienverlauf für den praktischen Einsatz von LEDs?



Bis ca. 2,5V sperrt die LED, sie leuchtet nicht. Bei größeren Spannungen führt eine kleine Spannungsänderung zu einer großen Stromänderung. Die „Durchlassspannung“ wird häufig bei 20mA angegeben, dies wären hier 3,2V.

19.9.3 Warum darf man eine LED niemals direkt an eine Spannungsquelle anschließen?

Durch die sehr steile Kennlinie kann eine LED den Strom niemals „selbst“ begrenzen. Zur Einstellung des Stromes ist immer ein Vorschaltgerät, z.B. eine Konstantstromquelle oder ein Widerstand notwendig.

19.9.4 Eine Reihenschaltung von 2 weißen LEDs soll an 12V Gleichspannung betrieben werden.

Daten einer LED: $U_F = 3,8V$ $I_F = 250mA$. Skizze der Schaltung!

Berechnen Sie die Größe des Vorwiderstandes.

Welche Leistungen geben die LEDs und der Widerstand ab?

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{(12V - 2 * 3,8V)}{250mA} = 17,6 \Omega$$

$$P_R = U_R * I = 4,4V * 250mA = 1,1W \quad P_{1LED} = U_{1LED} * I = 3,8V * 250mA = 0,95W$$

$$P_{2LEDs} = 2 * P_{1LED}$$

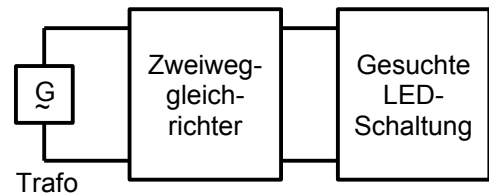
19.9.5 Sie schalten 2 LEDs mit Vorwiderstand und dazu antiparallel die anderen 2 LEDs mit Vorwiderstand an den Wechselspannungstrafo an.

Skizzieren Sie die Schaltung. Welchen Nachteil hat diese Schaltung?

Es leuchten bei jeder Halbwelle immer nur 2 LEDs aber nie alle 4 gleichzeitig. Dadurch erreicht man nur die halbe Helligkeit.

19.9.6 Wie schalten Sie die 4 LEDs sinnvollerweise, wenn Sie zwischen Wechselspannungstrafo und LED-Schaltung einen Zweiweggleichrichter verwenden?

2 LEDs mit Vorwiderstand und dazu parallel die anderen 2 LEDs mit Vorwiderstand.



19.9.7 Welchen Vorteil hat der Betrieb der LEDs mit der Schaltung .6 gegenüber der Schaltung .5?

Nun leuchten immer alle 4 LEDs. Die Vorwiderstände müssen jedoch kleiner dimensioniert werden, da am Gleichrichter 1,4V abfallen. Mehr Energie geht dadurch nicht verloren, da es egal ist, ob die Spannung am Vorwiderstand oder an den Dioden abfällt.

19.9.8 Berechnen Sie die Vorwiderstände in ihrer Schaltung .6.

$U_{trafo} = 12V$, $U_{LED} = 3,8V$ $I_{LED} = 250mA$, $U_{Diode} = 0,7V$

$$R = \frac{U_R}{I} = \frac{(12V - 2 * U_{LED} - 2 * U_{Diode})}{I_{LED}} = \frac{(12V - 2 * 3,8V - 2 * 0,7V)}{0,25A} = 12 \Omega$$

20 Solarzellen: Kapitel ohne Aufgaben

21 I(U)-Kennlinien von Solarzellen: Kapitel ohne Aufgaben

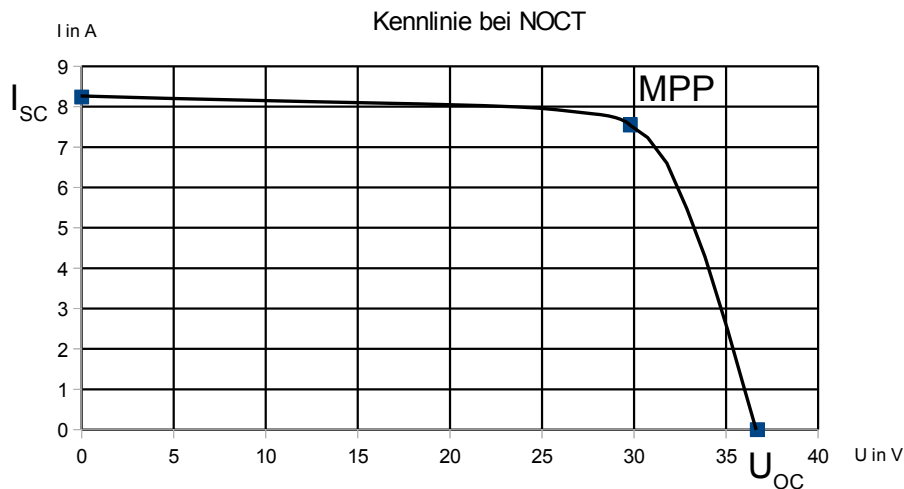
22 Datenblatt-Beispiel eines Solarmoduls mit Aufgaben

22.1 Kennlinie mit Kennwerten zeichnen

22.1.1 Skizzieren Sie den ungefähren Verlauf der I(U)-Kennlinie bei Standard-Test-Bedingungen (STC) mithilfe der gegebenen Werte.

22.1.2 Beschriften Sie diese Werte in Ihrer Kennlinie .

| | | | |
|---|----|------------------|------|
| Daten bei Standard-Test-Bedingungen (STC): 1000W/m ² , AM 1,5, Zelltemperatur 25°C | | | |
| Nennleistung | Wp | P _{MPP} | 225 |
| Nennspannung | V | U _{MPP} | 29,8 |
| Nennstrom | A | I _{MPP} | 7,55 |
| Leerlaufspannung | V | U _{OC} | 36,7 |
| Kurzschluss-Strom | A | I _{SC} | 8,24 |
| Modulwirkungsgrad | % | η | 13,4 |
| Bei 200W/m ² werden 97% von η _{STC} erreicht | | | |



22.2 Wirkungsgradberechnung

22.2.1 Berechnen Sie mithilfe der

- Solarzellengröße,
- der Anzahl der Solarzellen,
- der Strahlungsstärke 1000W/m²
- und der angegebenen Nennleistung

den Wirkungsgrad des Solarmoduls.

$$P_{\text{Sonne}} = 60 * 0,156^2 \text{ mm}^2 * 1000 \text{ W / mm}^2 = 1460\text{W}$$

$$\eta = P_{\text{MPP}} / P_{\text{Sonne}} = 225\text{W} / 1460\text{W} = 0,154 = 15,4\%$$

22.2.2 Wodurch könnte die Abweichung zum angegebenen Modulwirkungsgrad entstehen?

Mögliche Gründe für die Abweichung: schon eine Größentoleranz der Zellen von 1mm ergibt 0,2% Abweichung im Wirkungsgrad. Oft haben die Solarzellen Aussparungen an den Ecken, wodurch sich die effektiv genutzte Fläche deutlich verkleinert.



22.3 Zusammenschaltung von Solarmodulen

Es steht eine fensterlose Dachfläche von 5,1 m x 6,1 m zur Verfügung.

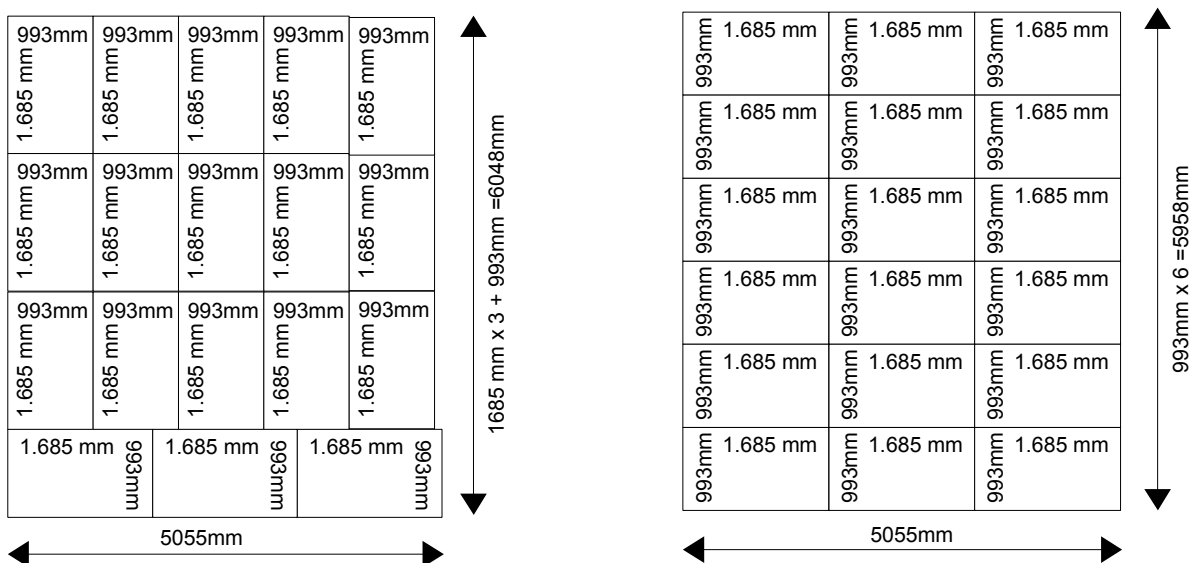
22.3.1 Ordnen Sie möglichst viele der beschriebenen Module an.

22.3.2 Welche Werte sind für die Gesamtspannung, den Gesamtstrom, die Nennleistung bei Zellen-Nennbetriebstemperatur (NOCT)

- a) in Reihenschaltung, b) in Parallelschaltung
- b) wenn die Hälfte der Module in Reihenschaltung parallel zur anderen Hälfte der Module in Reihenschaltung geschaltet sind

zu erwarten ?

18 Module können montiert werden.



| Daten bei Zellen-Nennbetriebstemperatur (NOCT): 800W/m ² | | | | 18 Module | | |
|---|------|------------------|-------|-----------|-------|-------|
| | | | | a) | b) | c) |
| Nennleistung | in W | P _{MPP} | 161 | 2898 | 2898 | 2898 |
| Nennspannung | in V | U _{MPP} | 26,9 | 484,2 | 26,9 | 242,1 |
| Nennstrom I = P/U | in A | I _{MPP} | 5,985 | 5,985 | 107,7 | 11,97 |

22.3.3 Sehr viele Wechselrichter werden für maximale Gleichspannungen im Bereich von 400V bis 600V angeboten. Für welche Schaltungsvariante a) bis c) entscheiden Sie sich?

Bei starker Einstrahlung, z.B. 1000W/m² können Spannungen von z.B. 29,8V * 18 = 537V bei Reihenschaltung im Nennbetrieb erwartet werden, eventuelle auch über 600V. Daher wäre aus Sicherheitsgründen die Variante c) zu bevorzugen. Variante b) scheidet wegen zu hoher Ströme und den damit verbundenen Verlusten in den Zuleitungen aus.

23 Der PN-Übergang von Dioden und Solarzellen

24 Ersatzschaltbild von Solarzellen

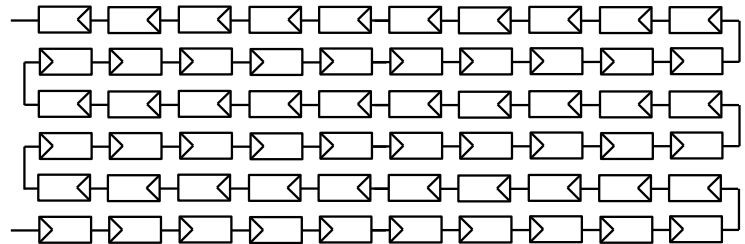
25 Laborübung Teil-Verschattung von Solarmodulen

Riesen-Verlust: Ahornblatt legt Solaranlage lahm!

Könnte es diese Überschrift in einer Zeitschrift wirklich geben?

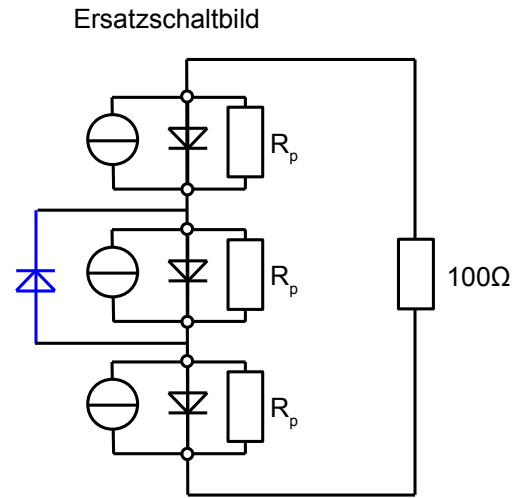
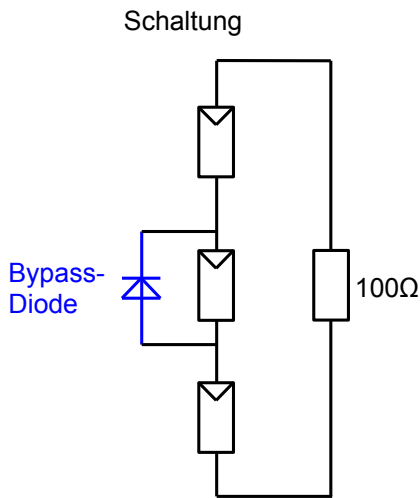
Das nebenstehende Bild zeigt die typische Verschaltung eines Solarmoduls mit 60 Solarzellen.

Wenn ein Blatt eine Solarzelle abdeckt, so lässt diese nur noch einen sehr kleinen Strom fließen. Ohne eine Schutzschaltung würde wirklich die gesamte Anlage lahmgelegt!



Welche „Schutzschaltung“ ist nötig?

- Bauen Sie die Schaltung mit 3 beleuchteten Solarzellen, einer Bypass-Diode an der mittleren Solarzelle und einem Verbraucher von 100Ω auf.



- Messen Sie den Strom und die Gesamtspannung.
- Verdunkeln Sie nacheinander immer eine der 3 Solarzellen und interpretieren Sie die Ergebnisse. Machen Sie sich in allen Fällen den Weg des Stromflusses klar.
- Erklären Sie die Ergebnisse mithilfe des Ersatzschaltbildes.
- Erklären Sie nun die Aufgabe der Bypass-Diode.
- Im Datenblatt zum oben aufgeführten Solarmodul mit 60 Solarzellen ist angegeben, dass 3 Bypass-Dioden im Modul eingebaut sind.
 - An welchen Stellen würden Sie diese einsetzen?
 - Wovor „schützen“ sie und wovor „schützen“ sie nicht?
- Bauen Sie eine Parallelschaltung aus 3 Solarzellen ohne Bypass-Diode auf.
- Prüfen Sie durch Verschattung, ob hier ähnliche Probleme auftreten können.
- Stellen Sie die Vor- und Nachteile von Reihen- und Parallelschaltung von Solarzellen einander gegenüber.