

Inhaltsverzeichnis

1 Energie, Arbeit, Wirkungsgrad	5
1.1 Was ist Energie?	5
1.2 Energiearten und Energieumwandlung	5
1.3 Formelzeichen und Einheit von Energie und Arbeit	8
1.4 Wirkungsgrad η	9
1.5 Elektrischer Energietransport	9
2 Elektrische Ladung Q	10
2.1 Beschreibung	10
2.2 Formelzeichen und Einheit der Ladung	10
2.3 Speicherung von Ladungen mit Akkus und Batterien	10
3 Elektrischer Strom I (Stromstärke)	11
3.1 Beschreibung	11
3.2 Formelzeichen und Einheit	12
3.3 Messung der Stromstärke und technische Stromrichtung	12
3.4 Messübung Stromstärke	12
3.5 Wodurch wird die Größe des elektrischen Stromes bestimmt?	13
3.6 Gleichstrom DC	13
3.7 Wechselstrom AC	13
3.8 Einstellungen und Eingänge des Strommessers	13
3.9 Stromstärketabelle	13
3.10 Zusammenfassung Strom	13
4 Übungen Ladung Strom	14
4.1 Aufgabe Mignon-Akku	14
4.2 Aufgabe Handy-Akku	15
5 Elektrische Spannung U	16
5.1 Beschreibung, Formelzeichen und Einheit	16
5.2 Messen der Spannung	16
5.3 Richtung der Spannung / Spannungspfeile	16
5.4 Messübung: Spannungsmessung und Vergleich mit Strommessung	17
5.5 Zusammenhang der Richtungen von Strom und Spannung	18
5.6 Zusammenfassung Spannung	18
5.7 Strom- und Spannungsmessung	19
5.8 Eigenschaften von Strom- und Spannungsmessern	20
5.9 Untersuchung von Messschaltungen	21
6 Elektrische Energie W und elektrische Leistung P	22
6.1 Elektrische Energie	22
6.2 Elektrische Leistung	22
6.3 Messen von Leistung und Energie	23
6.4 Zusammenfassung Leistung und Energie	23
6.5 Leistungs-Tabelle	23
6.6 Messungen der benötigten Leistungen alltäglicher Verbraucher	24
7 Wirkungsgrad (Ergänzungen)	25
8 Übungen Spannungen, Energie, Leistung, Wirkungsgrad	26
8.1 Akku-Schrauber	26
8.2 Energie	28
8.3 Vergleich Glühlampe – LED-Lampe	30
8.4 Faustformel: was kosten Standby-Schaltungen im Jahr?	30
8.5 Standby-Schaltungen	31
8.6 Vergleich Netzteil – Akku – Batterie	32
9 Das Ohmsche Gesetz	34
9.1 I(U)-Kennlinien	34

9.2 Kennlinie eines Widerstands.....	36
9.3 Aufgaben zu Widerstandskennlinien.....	37
9.4 Berechnung des Widerstandswertes aus den Materialgrößen.....	39
9.5 Aufgabe Elektrozuleitung Küchenherd.....	39
9.6 Aufgabe Hochspannungsleitung.....	40
Fragen und Antworten Strom, Spannung, Energie.....	41
9.7 Woher weiß der Strom, wie groß er zu werden hat?.....	41
9.8 Wodurch wird die Spannung an einem Verbraucher bestimmt?.....	41
9.9 Wie kann ich die Größen Ladung und Energie auseinander halten?.....	41
9.10 Wie kann man sich erklären, dass es möglich ist, durch eine große Spannung oder einen großen Strom viel Energie zu übertragen?.....	41
10 Elektrischer Stromkreis.....	42
10.1 Stromkreis und Energieübertragung.....	42
11 Parallelschaltung.....	43
11.1 Plausibilitätsbetrachtung mit Wassermodell.....	43
11.2 Parallelschaltung von 3 Verbrauchern.....	44
11.3 Gesetze der Parallelschaltung.....	45
11.4 Beispiele von Parallelschaltungen.....	46
12 Reihenschaltung.....	47
12.1 Reihenschaltung von 3 Verbrauchern.....	47
12.2 Gesetze der Reihenschaltung.....	48
12.3 Beispiele für die Reihenschaltung.....	49
12.4 Grafische Ermittlung der Größen in einer Reihenschaltung.....	50
12.5 Verluste durch Verlängerungskabel.....	51
12.6 Messtechnische Untersuchung eines Potenziometers.....	52
12.7 Potenziometer als veränderbarer Widerstand.....	52
12.8 Potenziometer als Spannungsteiler.....	53
12.9 Elektrische Tankanzeige mit Potenziometer.....	54
12.10 Stromkreisdenken.....	54
12.11 Ersatzschaltbild Leitungswiderstand.....	55
13 Übungen Reihen- und Parallelschaltungen.....	56
13.1 Reihenschaltung.....	56
13.2 Parallelschaltung.....	57
13.3 Reihenschaltung.....	57
13.4 Parallelschaltung.....	57
13.5 Parallelschaltung zweier Lampen im Nennbetrieb.....	58
13.6 Lampe mit Vorwiderstand.....	58
13.7 Reihenschaltung zweier Lampen.....	58
13.8 Reihenschaltung mit 2 Widerständen.....	59
13.9 Verbraucher mit langer, „dünner“ Zuleitung.....	59
13.10 Hochspannungsleitung.....	60
13.11 Stromkreisdenken.....	62
14 Knoten- und Maschenregel.....	63
14.1 Knotenregel.....	63
14.2 Maschenregel.....	63
15 Berechnung gemischter Schaltungen.....	64
15.1 Gesamtwidestand (Muster).....	64
15.2 Berechnung der einzelnen Ströme und Spannungen (Muster).....	65
16 Übungen gemischte Schaltungen.....	66
16.1 Aufgabe Gemischt 1 (Labor).....	66
16.2 Aufgabe Gemischt 2 (Labor).....	67
16.3 Aufgabe Gemischt 3.....	68
16.4 Aufgabe Gemischt 4.....	69
16.5 Aufgabe Gemischt 5.....	70

16.6 Aufgabe Gemischt 6.....	70
16.7 Weihnachtsbaumbeleuchtung mit parallel geschalteten Lampen.....	71
16.8 Stromkreisdenken.....	72
17 Dioden und LEDs.....	74
17.1 Schaltzeichen und Kennzeichnung der Anschlüsse.....	74
17.2 Kennlinien.....	74
17.3 Beschreibung der Kennlinien.....	74
17.4 Typische LED-Schaltung.....	75
17.5 Aufgabe des Vorwiderstandes.....	75
17.6 Berechnung des Vorwiderstandes.....	75
17.7 Grafische Ermittlung des Vorwiderstandes.....	76
17.8 Übung: LED –Kennlinie und Arbeitsgerade.....	77
17.9 Übung: Versuchsbeschreibung Kennlinienaufnahme.....	78
17.10 Übung: E-Bike-Bremslicht.....	78
17.11 Vergleich Glühlampe - Energiesparlampe - LED-Beleuchtung.....	79
17.12 High Power LEDs.....	80
18 Diodenschaltungen.....	82
18.1 Sinusförmige Wechselspannung.....	82
18.2 Diode an Wechselspannung, Einweggleichrichter.....	84
18.3 Zweiweg-Gleichrichter ohne / mit Glättungskondensator.....	85
18.4 LED-Schaltung an Wechselspannung.....	86
18.5 Zweiweggleichrichter mit Spannungsregler.....	87
19 Übungen Diode und LED.....	88
19.1 Einweggleichrichter.....	88
19.2 Fön.....	89
19.3 Vergleich Widerstands-Schaltung – LED-Schaltung.....	90
19.4 Zweiweggleichrichter (Brückengleichrichter).....	90
19.5 Solarleuchte.....	91
19.6 Fahrrad-LED-Scheinwerfer.....	92
19.7 Schaltungen von Hochleistungs-LEDs.....	93
19.8 LED-Modul.....	95
19.9 LEDs: Eigenschaften, Versuche und Schaltungen.....	96
20 Solarzellen.....	97
20.1 Reihenschaltung von 3 Solarzellen: Kurzschlussstrom.....	97
20.2 Reihenschaltung von 3 Solarzellen: Leerlaufspannung.....	97
20.3 I(U)-Kennlinien von Solarzellen.....	98
20.4 Vergleich der Kennlinien bei 200W/m ² und 100W/m ² Strahlungsleistung.....	100
20.5 Vergleich der Kennlinien bei Reihen- und Parallelschaltung.....	101
21 Übungen zu Solarzellen.....	102
21.1 Datenblatt-Beispiel eines Solarmoduls mit Aufgaben.....	102
21.2 Kennlinie mit Kennwerten zeichnen.....	102
21.3 Wirkungsgradberechnung.....	102
21.4 Zusammenschaltung von Solarmodulen.....	102
21.5 Aufgabe zu Kennlinien eines Solarmoduls.....	103
22 Der PN-Übergang von Dioden und Solarzellen.....	104
22.1 P- und N-Dotierung.....	104
22.2 PN-Übergang ohne äußere Spannung.....	104
22.3 PN-Übergang mit äußerer Spannung in Durchlassrichtung.....	104
22.4 PN-Übergang mit äußerer Spannung in Sperrrichtung.....	104
22.5 Beleuchteter PN-Übergang einer Solarzelle.....	105
22.6 Ersatzschaltbild von Solarzellen.....	106
22.7 Laborübung Teil-Verschattung von Solarmodulen.....	107

Learning-Apps

Begriffe, Einheiten, Formelzeichen zur Energie, Arbeit, Leistung, Ladung, Strom, Spannung:

<https://learningapps.org/display?v=peedtz5xn19>

Elektrische Grundgrößen

<https://learningapps.org/display?v=p474djqd517>

einfache Formeln umstellen:

<https://learningapps.org/display?v=pfq1pkwtn19>

Geräte im Stromkreis

<https://learningapps.org/display?v=p6e7v8qk517>

Bauteile im Stromkreis

<https://learningapps.org/display?v=pezt22o5c17>

Spannungsmessung:

<https://learningapps.org/display?v=pwmo24vwc17>

Strommessung:

<https://learningapps.org/display?v=pdy52detj17>

Reihen-und Parallelschaltung:

<https://learningapps.org/display?v=pdoez6t2517>

8 Apps zum elektrischen Stromkreis:

<https://learningapps.org/3074406>

3 Apps zu Dioden und LEDs:

<https://learningapps.org/3079167>

5 Apps zu Solarzellen:

<https://learningapps.org/3120707>

1 Energie, Arbeit, Wirkungsgrad

1.1 Was ist Energie?

Energie ist eine fundamentale physikalische Größe, die in allen Teilgebieten der Physik sowie in der Technik, Chemie, Biologie und der Umwelttechnik eine zentrale Rolle spielt.

Energie ist die Größe, die in einem abgeschlossenen System erhalten bleibt und weder verbraucht noch erzeugt werden kann. (Energieerhaltungssatz).

Bei dem umgangssprachlich verwendeten Begriff Energieerzeuger (z.B. Kraftwerke) wird die Energie nur umgewandelt, z.B. von chemischer Energie in elektrische Energie (Kohlekraftwerk) oder Sonnenenergie in elektrische Energie (Solarzellen).

Bei dem oft verwendeten Begriff Energieverbraucher (z.B. Heizung, Herd, Lampe) wird die Energie ebenfalls nur umgewandelt, z.B. von elektrischer Energie in Wärme oder Licht.

Oft wird die Energie auch definiert als die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten.(z.B. elektrische Energie wird verwendet, um eine E-Bike, Auto oder allgemein einen Motor anzutreiben.

Eine Zufuhr von Energie ist nötig, um einen Körper zu beschleunigen, um eine Substanz zu erwärmen, ein Gas zusammenzudrücken, oder elektromagnetische Wellen (Funk, Wifi, Licht) abzustrahlen. Lebewesen benötigen Energie, um leben zu können. Energie benötigt man auch für den Betrieb von Computersystemen, für Telekommunikation und für jegliche wirtschaftliche Produktion.

1.2 Energiearten und Energieumwandlung

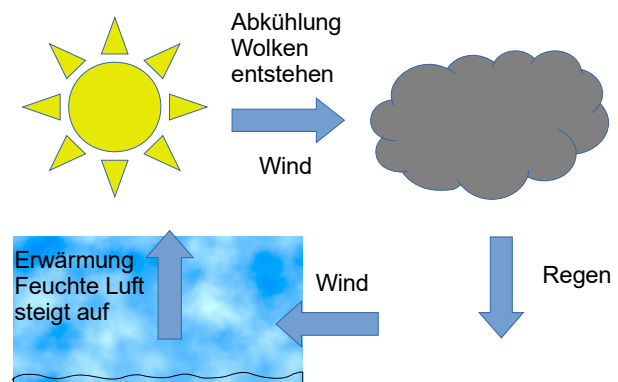
Energie kann in verschiedenen Energieformen vorkommen, beispielsweise als potentielle Energie, kinetische Energie, chemische Energie, elektrische Energie oder thermische Energie. Energie lässt sich von einem System zu einem anderen übertragen und von einer Form in eine andere umwandeln. Dabei sind nicht immer beide Umwandlungsrichtungen möglich, z.B. lässt sich elektrische Energie zu 100% in Wärme umwandeln, jedoch nicht umgekehrt. (Sonst hätten wir kein Klimaproblem...)

1.2.1 Was sind regenerative Energien?

Es ist üblich, regenerative Energien von allen anderen Energieträgern zu trennen. Als regenerative oder erneuerbare Energien werden Energieträger bezeichnet, die praktisch unerschöpflich zur Verfügung stehen. Zu ihnen zählen

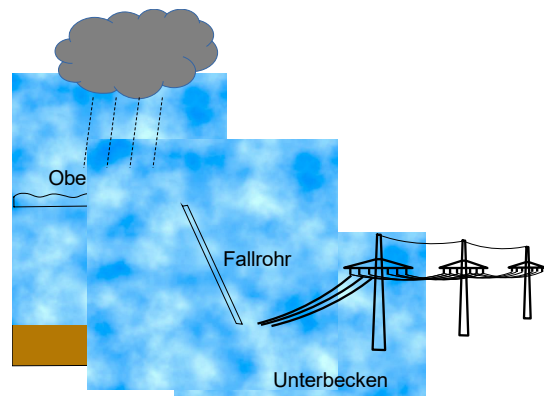
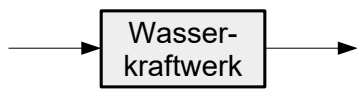
- Wasserkraft,
- Sonnenenergie (Solarenergie)
- Windenergie,
- Bioenergie (Biomasse),
- Geothermie,
- Meeresenergie.

Die zur Zeit wichtigsten regenerativen Energieträger Wasserkraft, Wind- und Sonnenenergie beziehen letztlich alle auf der Energiequelle der Sonne.

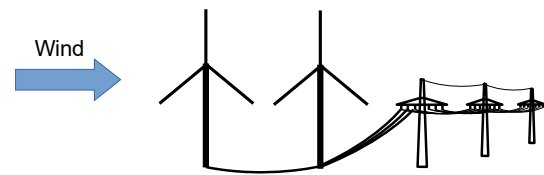


1.2.2 Energie aus Wasserkraft

Beispiel Speicherkraftwerk

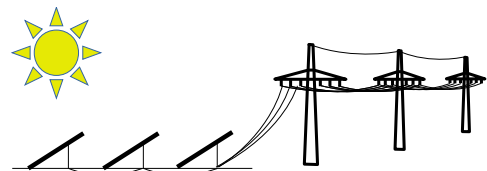
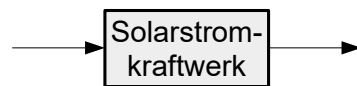


1.2.3 Windenergie



1.2.4 Solarenergie (Photovoltaik und Solarthermie)

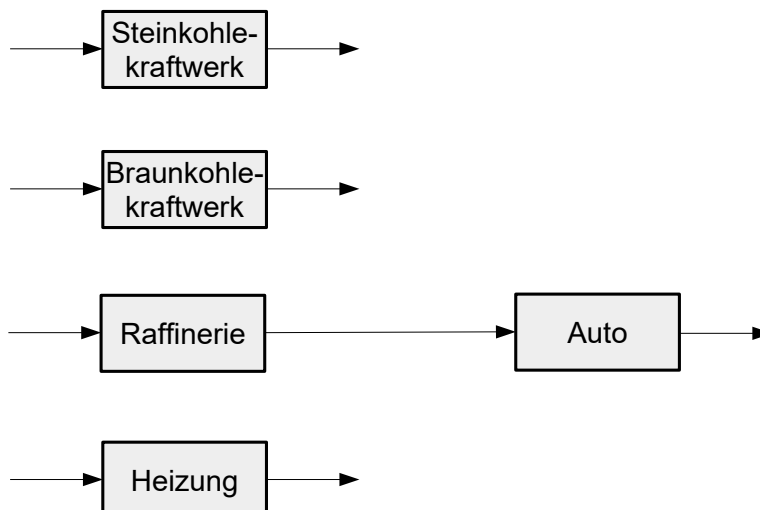
Beispiel Solarstromkraftwerk



1.2.5 Energieumwandlungen beim Akkumulator (Akku)



1.2.6 Nicht erneuerbare Energieträger Steinkohle, Braunkohle, Öl, Gas



1.2.7 Energieträger in Deutschland

Primärenergieverbrauch¹ nach Energieträgern

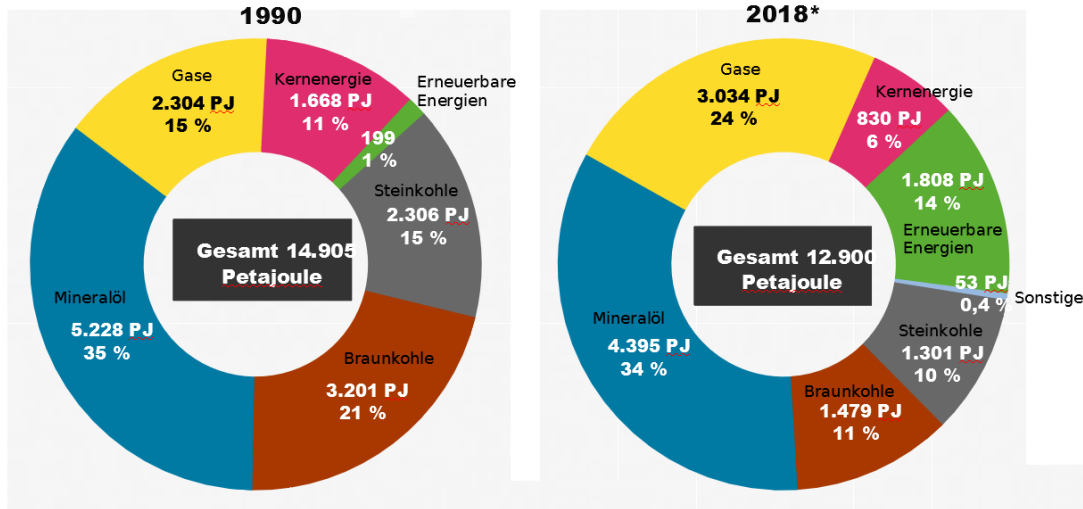


Abbildung 1 Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/primaerenergieverbrauch#textpart-3>

Bruttostromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern

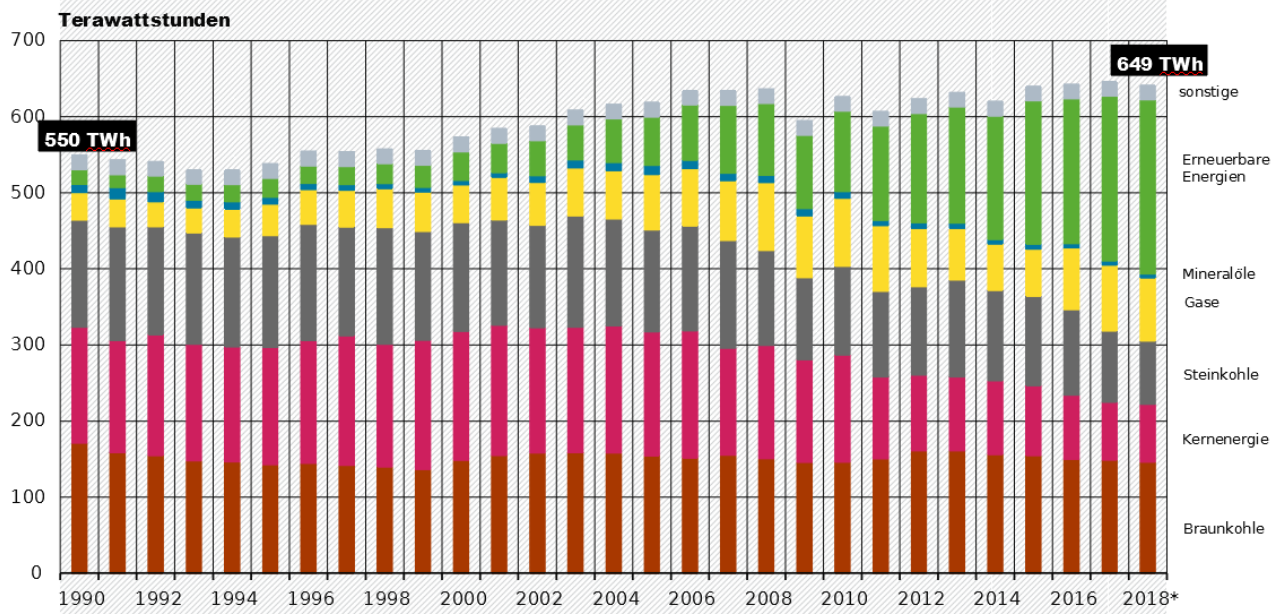


Abbildung 2: Quelle: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/3_abb_bruttostromerzeugung-et_2019-02-26.pdf

1.3 Formelzeichen und Einheit von Energie und Arbeit

Formelzeichen: W (von engl. work)

Hinweis: Oft wird in der Physik auch E verwendet, in der Elektrotechnik aber immer W .

Einheit: $[W] = 1 J$ sprich: die Einheit von W ist 1 Joule

Mechanische Arbeit oder Energie wird häufig in Nm (Newton-Meter) angegeben.

Elektrische Arbeit oder Energie wird häufig in Ws (Watt-Sekunde) oder kWh (Kilo-Watt-Stunde) angegeben.

Wenn die Energien ineinander umgewandelt werden gilt: $1 J = 1 Nm = 1 Ws$

Aufgaben

1.3.1 Wie viele Ws sind 1 kWh?

Umrechnungen:

$$1 k = 1000$$

$$1 h = 60 \text{ min} = 60 \cdot 60 \text{ s} = 3600 \text{ s}$$

Lösung:

1.3.2 Um mit einem E-Bike bei 50% Motorunterstützung 15 km/h schnell einen Hügel von 100 m und 6% Steigung hochzufahren, benötigt man $W = 83.000 \text{ Nm}$ mechanische Energie. (Wie man auf diesen Wert kommt, berechnen wir nächstes Jahr.)

Wie viele kWh elektrische Energie muss man dem Akku entnehmen, um einen Berg mit 1000 m Höhenunterschied zu bezwingen? (Annahme: 100% Energieumwandlung)

Lösung:

Hinweis aus der Praxis:

Akkus von günstigen E-Bikes besitzen einen Speicherinhalt von $W = 288 \text{ Wh}$. Wenn man nun noch berücksichtigt, dass nur ca. 70 % der elektrischen Energie auch in mechanische Energie umgewandelt werden, wird's eng mit der Tretunterstützung bis zur Bergspitze!

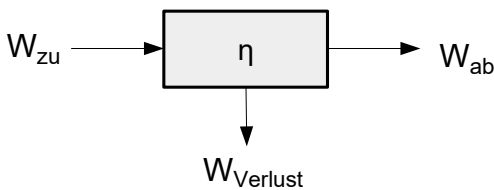
1.4 Wirkungsgrad η

Der **Wirkungsgrad** η (sprich: eta) ist allgemein das Verhältnis von abgegebener Energie (W_{ab} = Nutzen) zu zugeführter Energie (W_{zu} = Aufwand).

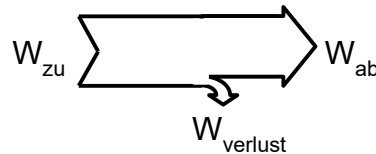
Der Wirkungsgrad gibt also an, wie gut eine Energieform in die andere umgewandelt wird. Als Verlust tritt häufig Wärmeenergie auf.

$$\eta = \frac{W_{ab}}{W_{zu}} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} \quad \rightarrow \quad W_{zu} = W_{\text{Verlust}} + W_{ab} \quad \rightarrow \quad W_{\text{Verlust}} = W_{zu} - W_{ab}$$

Darstellung als energetisches Blockschaltbild



Darstellung als Sankeydiagramm



η ist stets kleiner 1 und eine reine Zahl. Oft wird η auch in Prozent angegeben.

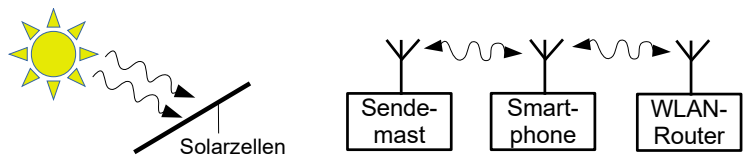
Beispiel: Wirkungsgrads einer Glühlampe

Die einer Glühlampe zugeführte Energie W_{zu} wird nur zu 5% zur Lichterzeugung verwendet, der Rest geht in Wärmeenergie über.

Die Wärmeenergie rechnet man dabei als Verlustenergie W_{Verlust} .

1.5 Elektrischer Energietransport

Die elektrische Energieübertragung kann drahtlos durch elektromagnetische Strahlung oder drahtgebunden in einem elektrischen Leiter erfolgen.



Die Energieübertragung in Leitung beschreibt man durch folgendes Modell:

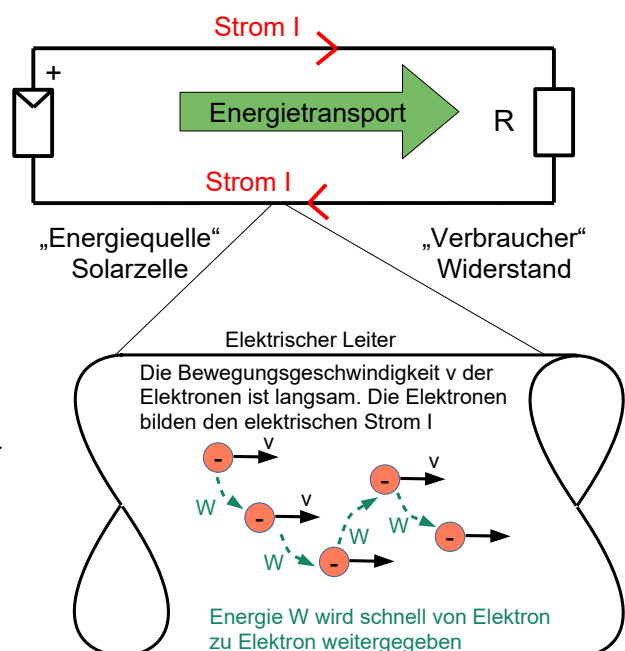
Elektronen transportieren die Energie von der Quelle zum Verbraucher.

Die in der Leitung fließenden Elektronen bilden den elektrischen Strom I .

Die „Elektronenfließgeschwindigkeit“ ist relativ langsam, jedoch geben die Elektronen die Energie von Elektron zu Elektron fast mit Lichtgeschwindigkeit weiter.

Für den Elektronenfluss muss der Stromkreis geschlossen sein. Die Elektronen fließen von der Quelle zum Verbraucher und zurück!

Der Energietransport erfolgt jedoch nur in eine Richtung!



2 Elektrische Ladung Q

2.1 Beschreibung

Elektrische Ladung ist eine Eigenschaft von Elementarteilchen. Es gibt positive und negative Ladungen. z.B. hat ein Elektron die Ladung $-e$, ein Proton die Ladung $+e$.

Da die Elementarladung e sehr klein ist, werden $6,25 \times 10^{18}$ Elementarladungen zu einer Ladungsmenge Q von 1 Coulomb zusammengefasst.

Daher hat ein Elektron e die Ladung von $-1,602 \times 10^{-19}$ Coulomb.

2.2 Formelzeichen und Einheit der Ladung

Das Formelzeichen der elektrischen Ladung ist Q (von lat. quantum).

Die Ladung wird im internationalen Einheitensystem in der Einheit Coulomb C gemessen.

$[Q] = 1C$ spricht: die Einheit der Ladung Q ist 1 Coulomb.

Wenn sich elektrische Ladungen bewegen, spricht man von elektrischem Strom.

Fließt ein Strom konstanter Stärke I während der Zeit t , so transportiert er die Ladung $Q = I \cdot t$.

Da die Einheit des Stromes A (Ampere) und die Einheit der Zeit s (Sekunde) ist, ergibt sich:

$1C = 1A \cdot 1s$ (sprich: 1 Coulomb ist gleich 1 Ampere mal 1 Sekunde)

Oft wird auf elektrischen Energiespeichern die Ladungsmenge in Ah oder mAh angegeben.

Aufgabe: Geben Sie die Umrechnungen zwischen den Einheiten C und mAh sowie C und Ah an.

1 Ah =

1 mAh =

1C =

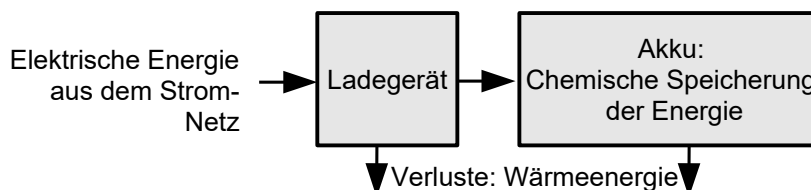
2.3 Speicherung von Ladungen mit Akkus und Batterien

Ein **Akkumulator** (kurz *Akku*) ist ein elektrochemischer Speicher für Energie, d.h. ein Akku kann Ladungen speichern. Die Spannung einer elektrochemischen Zelle hängt vom verwendeten Materialien ab, z.B. liefert eine NiMH-Zelle eine Spannung von 1,2V.

(NiMH = Nickel-Metall-Hydrid, verbesserte Technologie gegenüber Nickel-Cadmium (NiCd)-Zellen.

Zur Erhöhung der Gesamtspannung können in einem Akku mehrere Zellen in Reihe geschaltet sein, z.B. liefert ein „9 V-Block“ in NiMH-Technologie nicht 9 V sondern $7 \cdot 1,2 V = 8,4 V$. Er besteht also aus 7 in Reihe geschalteten NiMH-Zellen.

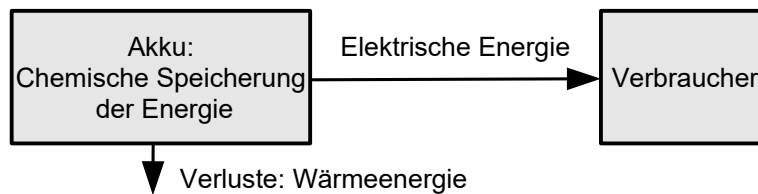
Aufladen:



Beim Aufladen wird elektrische Energie in chemische Energie gewandelt.

Dabei wird auch Wärme freigegeben, wodurch ein Teil der zum Aufladen aufgewandten Energie verloren geht. Das Verhältnis der entnehmbaren zu der beim Laden aufzuwendenden Energie wird als Ladewirkungsgrad bezeichnet. Er liegt meist bei etwa 80 %.

Entladen:



Wird ein Verbraucher angeschlossen, so wird die chemische Energie wieder in elektrische Energie zurück gewandelt.

Batterien sind im Gegensatz zu Akkus *nicht* wiederaufladbar.

Die Ladungsmenge Q, die ein Akkumulator oder eine Batterie speichern kann, wird in Ampèrestunden (Ah) angegeben und oft als „Kapazität“ bezeichnet.

Beispiel: Der dargestellte Akku

- ist in der Baugröße AA (Mignon) ausgeführt
- in der Technologie NiMH (Nickel-Metall-Hydrid) aufgebaut
- gibt eine Spannung von 1,2V ab
- besitzt eine Kapazität von 2700 mAh (sprich: Milli-Ampere-Stunden)
 d.h. er speichert eine Ladungsmenge von
 $2700 \text{ mAh} = 2,7\text{Ah} = 2,7\text{A} \cdot 3600\text{s} = 9720 \text{ As}$
 Er könnte im Idealfall 1 Stunde lang einen Strom von 2,7A liefern,
 bzw. 10 Stunden lang 270mA, bzw. 100 Stunden 27mA



3 Elektrischer Strom I (Stromstärke)

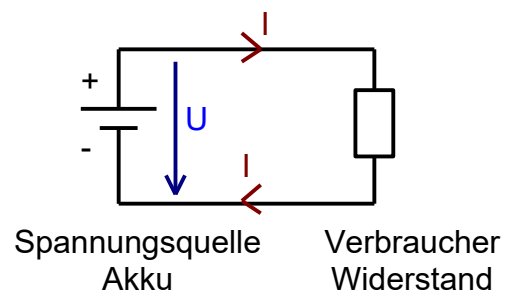
3.1 Beschreibung

Bewegen sich elektrische Ladungen, z.B. Elektronen, in einem Leiter, so spricht man von einem **Elektrischen Strom**. **Strom fließt also immer!**

Die physikalische Größe der **Stromstärke I**, also die pro Zeit fließende Ladung, wird umgangssprachlich oft auch nur als „Strom“ bezeichnet.

Am Beispiel eines Akkus lässt sich das Prinzip des Stromflusses veranschaulichen. Beim Aufladen werden im Akku Ladungen getrennt, die Elektronen werden auf einer Seite gesammelt (Minuspol), auf der anderen Seite abgezogen (Pluspol). Dadurch entsteht eine elektrische Spannung U zwischen den Polen.

Schließt man nun einen Verbraucher (Widerstand) an den Akku an, so entsteht ein geschlossener Stromkreis und die Ladungen fließen durch das Kabel und den Widerstand und gleichen sich im Akku aus, der Akku entlädt sich. Die fließenden Ladungen nennt man Strom. Die Trennung der Ladungen beim Aufladen erforderte elektrische Energie, die im Akku chemisch gespeichert wird. Der Strom transportiert die Energie beim Entladen von der Spannungsquelle (Akku) zum Verbraucher, wo sie in Form von Wärme an die Umwelt abgegeben wird.



3.2 Formelzeichen und Einheit

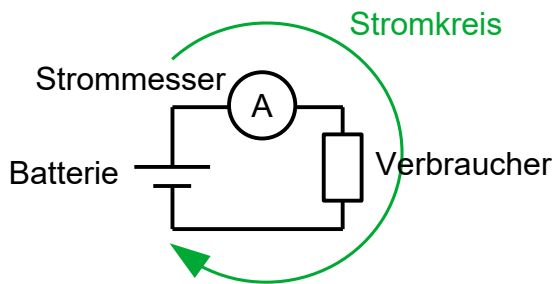
Das Formelzeichen für die elektrische Stromstärke ist I . Gemessen wird die Stromstärke in Ampere (,benannt nach dem französischen Physiker und Mathematiker Ampère). Das Einheitenzeichen ist A. Das Ampere ist SI-Basiseinheit.

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{Stromstärke} = \frac{\text{Ladungsmenge}}{\text{Zeit}} \quad [I] = A = \frac{As}{s}$$

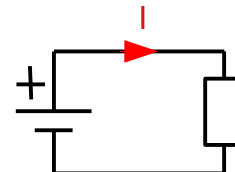
3.3 Messung der Stromstärke und technische Stromrichtung

Die technische Stromrichtung ist von Plus nach Minus festgelegt. (Die Elektronen fließen von - nach +) Zur Strommessung wird der Stromkreis aufgetrennt und der Strommesser **in den Stromkreis** geschaltet (Reihenschaltung). Der Strom muss durch den Strommesser fließen.

Das Symbol des Strommessers ist ein Kreis mit der Beschriftung A oder I.

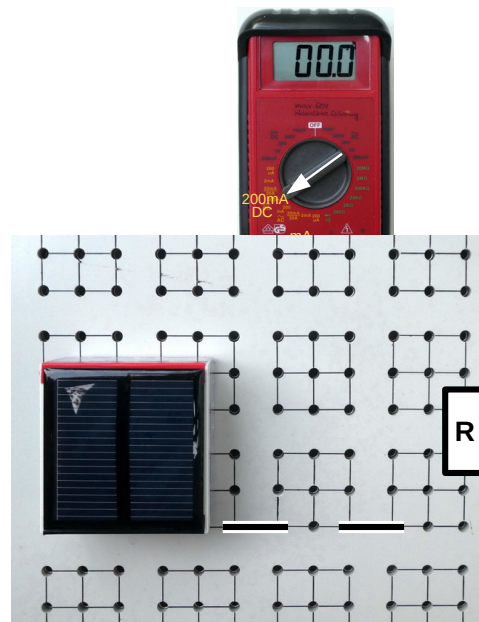
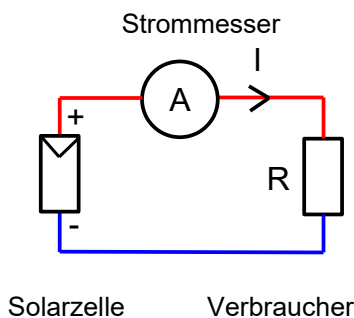


So zeichnet man die Schaltung:



Den Strompfeil zeichnen wir auf die Leitung um zu verdeutlichen, dass der Strom in der Leitung fließt.

3.4 Messübung Stromstärke



Aufgaben

- 3.4.1 Bauen Sie die Schaltung auf um messen Sie die Größe des fließenden Stromes. $I =$
- 3.4.2 Halbieren Sie die Größe $R \rightarrow I =$
- 3.4.3 Entfernen Sie $R \rightarrow I =$

Merke: Ein Strom fließt nur, wenn

3.5 Wodurch wird die Größe des elektrischen Stromes bestimmt?

Bei uns wird die Größe des fließenden Stromes I fast immer durch den Verbraucher festgelegt.

(Dies lernen wir im Kapitel 9 „Das Ohmsche Gesetz“, Die Größe des elektrischen Stromes wird festgelegt durch die Größe des Widerstandes R . Es gilt $I = U / R$.)

3.6 Gleichstrom DC

Gleichstrom (engl. *Direct Current*, abgekürzt *DC*) bleibt zeitlich konstant.

Praktisch alle elektronischen Geräte im Haushalt wie Radio- und Fernsehempfänger, Computer, Steuerungen von Waschmaschinen usw. benötigten für ihre Stromversorgung Gleichstrom. Gleichrichter können den aus dem öffentlichen Stromnetz entnommenen Wechselstrom in Gleichstrom umwandeln. Batterien, Akkus und Solarzellen liefern Gleichstrom.

3.7 Wechselstrom AC

Bei Wechselstrom (engl. *Alternating Current*, abgekürzt *AC*) ändert sich die Stromrichtung fortlaufend. Dabei gibt die Frequenz an, wie oft sich die Stromrichtung pro Sekunde ändert. Der technische Vorteil von Wechselstrom ist seine leichte Umwandelbarkeit zwischen verschiedenen Spannungen mit Hilfe von Transformatoren. Daher findet Wechselstrom vor allem in öffentlichen Stromversorgungsnetzen Anwendung. In Europa und vielen anderen Ländern der Welt beträgt die Netzfrequenz 50 Hz. In Nordamerika und Teilen von Japan 60 Hz.

3.8 Einstellungen und Eingänge des Strommessers



3.9 Stromstärketabelle

LED zur Anzeige	ca. 0,02 A = 20 mA
LED zur Beleuchtung	1A
Elektrolokomotive	über 300 A
Blitz	ca. 100.000 A bis 1.000.000 A

3.10 Zusammenfassung Strom

- Strom sind fließende Elektronen
- Strom transportiert elektrische Energie
- Formelzeichen I
- Einheit A (Ampere)
- zur Messung Stromkreis auftrennen, Strommesser in den Stromkreis schalten

4 Übungen Ladung Strom

Learning-App Strommessung: <https://learningapps.org/display?v=pty52detj17>

4.1 Aufgabe Mignon-Akku

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

4.1.1 Was bedeuten diese Angaben?

Rechargeable

2500mAh

AA

1,2V

NiMH

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

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

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

4.2 Aufgabe Handy-Akku

Auf einem Akku findet man folgende Angaben:
Rechargeable / 3,7V / Li-Ion / 900 mAh

4.2.1 Was bedeuten diese Angaben?

Rechargeable

3,7V

Li-Ion

900 mAh

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

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

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

5 Elektrische Spannung U

5.1 Beschreibung, Formelzeichen und Einheit

Die **elektrische Spannung** ist eine physikalische Größe, die angibt, wie viel Arbeit bzw. Energie nötig ist, um elektrische Ladung zu trennen. Nach der Ladungstrennung ist die Energie mit den Ladungen gespeichert. Spannung ist also das Arbeitsvermögen der Ladung.

Elektrische Spannung = $\frac{\text{Arbeit beim Transport der Ladung}}{\text{Ladungsmenge}}$

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

$$[U] = V = \frac{Ws}{As}$$

Formelzeichen: U

Einheit: V (Volt) benannt nach Alessandro Volta.

Auf „natürliche“ Weise entsteht elektrische Spannung zum Beispiel durch Reibungselektrizität, bei Gewittern und bei bestimmten chemischen Reaktionen.

Zur technischen Nutzung werden Spannungen meistens durch „elektromagnetische Induktion“ im Generator sowie durch Elektrochemie erzeugt.

Viel wichtiger als die physikalische Definition ist in der Elektrotechnik die messtechnische Bedeutung:

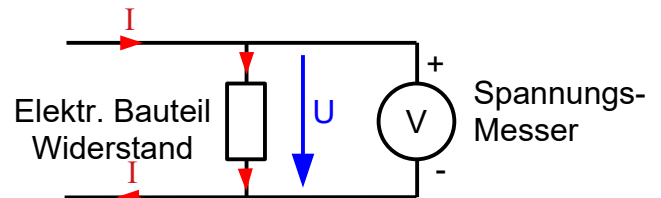
Spannungen kann man als einzige elektrische Größe an jedem Bauteil und in jeder Schaltung sehr leicht messen.

Daher ist es sehr wichtig zu wissen, wie man Spannungen misst und was Spannungspfeile bedeuten.

5.2 Messen der Spannung

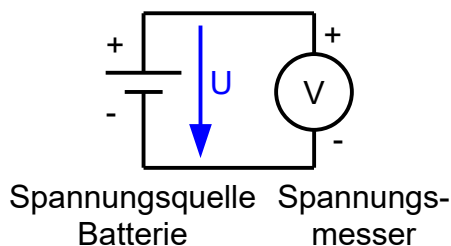
Die Spannung wird immer zwischen 2 Punkten der Schaltung gemessen, hier zum Beispiel an einem Widerstand.

Der Spannungsmesser wird parallel geschaltet. Der Spannungspfeil gibt an, wie das Messgerät zu schalten ist: Pfeilende + Pfeilspitze -. Durch den Spannungsmesser fließt kein Strom!



5.3 Richtung der Spannung / Spannungspfeile

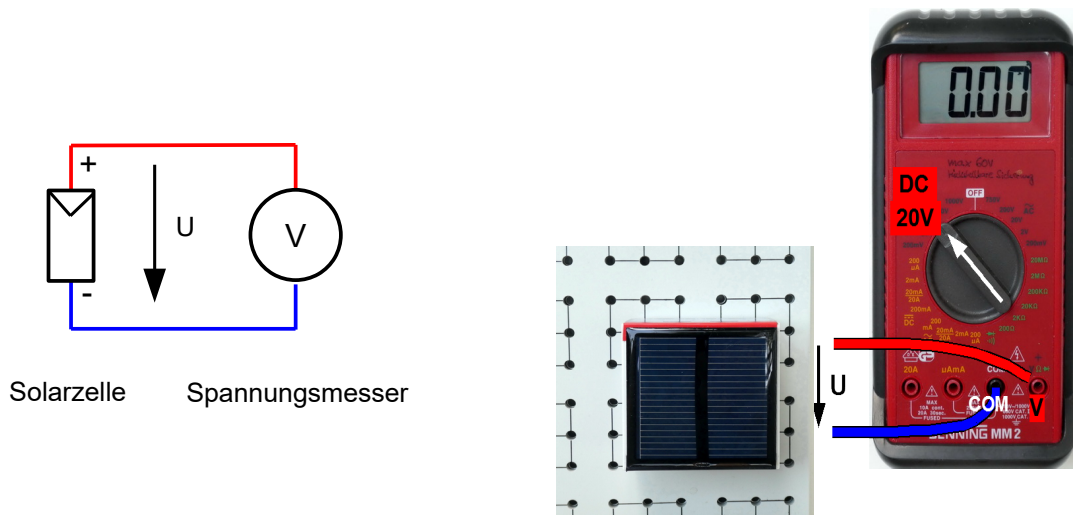
Ein Pfeil gibt die Richtung der Spannung an und ist zugleich die Vorschrift, wie ein Spannungsmesser zu schalten ist: Verbindet man den Pluspol der Batterie mit dem Pluspol des Spannungsmessers und den Minuspol der Batterie mit dem Minuspol des Spannungsmessers, so ergibt sich eine positive Spannung.



5.4 Messübung: Spannungsmessung und Vergleich mit Strommessung

5.4.1 Messen Sie die Spannung einer Solarzelle.

Es muss kein Verbraucher angeschlossen werden, daher fließt auch kein Strom.



Die Spannung misst man immer zwischen 2 Punkten der Schaltung.

5.4.2 In diesem Fall ist die gemessene Spannung kleiner als die Maximalspannung (2V) des nächst kleineren Messbereichs. Daher kann man auf den 2V-Messbereich umschalten.

Beobachtung:

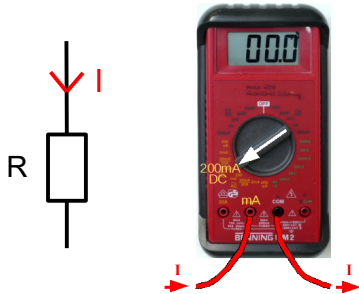
5.4.3 Vertauschen Sie die Leitungen an den Eingängen COM und V und beobachten Sie die Anzeige.

Folgerung:

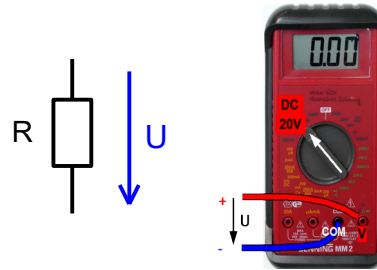
5.4.4 Zusammenfassung

5.5 Zusammenhang der Richtungen von Strom und Spannung

Die Strom- und Spannungspfeile in einer Schaltung geben an, in welcher Richtung die Größen gemessen werden. Daher kann man die Pfeile auch als Messvorschrift auffassen:



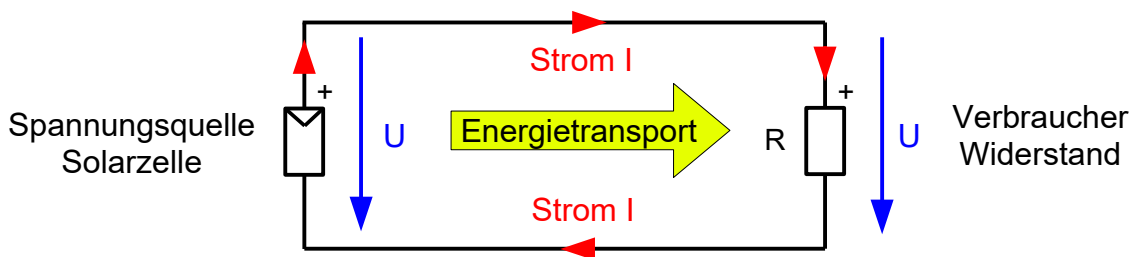
Wird der Strom positiv angezeigt, so fließt er in Richtung des Strompfeils, im Beispiel von „oben nach unten“.



Wird die Spannung positiv angezeigt, so ist das Potenzial oben positiver als unten.

Wird der Strom negativ angezeigt, so fließt er gegen die Pfeilrichtung.

Wird die Spannung negativ angezeigt, so ist das Potenzial oben negativer als unten.



Die technische Stromrichtung ist für den Verbraucher definiert von + nach -.

Spannungsquelle:
 Strompfeil entgegengesetzt zum Spannungspfeil.

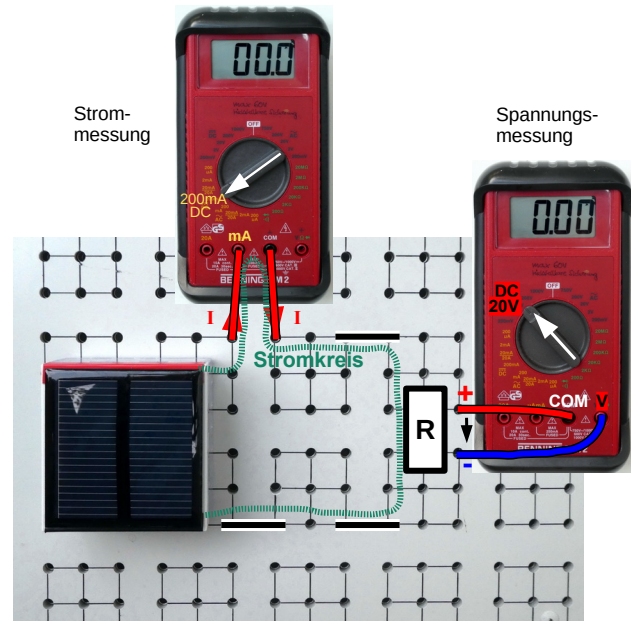
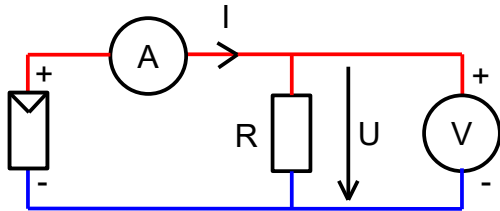
Verbraucher:
 Strompfeil und Spannungspfeil in die gleiche Richtung

Im dargestellten Stromkreis sind 2 Spannungen vorhanden:
 Die Batterie liefert eine Quellenspannung. Hier sagt die Größe der Spannung aus, wie viel Energie pro Ladung die Quelle liefert.
 Beim Verbraucher spricht man von einem Spannungsabfall.
 Hier sagt die Spannung aus, wie viel Energie pro Ladung in Form von Wärme abgegeben wird.
 Im Stromkreis findet immer ein Energietransport von der Quelle zum Verbraucher statt. Der Strom transportiert die Energie.

5.6 Zusammenfassung Spannung

- Formelzeichen U
- Einheit V (Volt)
- Spannung liegt an.
- Spannung wird parallel zum Bauteil gemessen.
- Spannung wird zwischen 2 Punkten der Schaltung gemessen

5.7 Strom- und Spannungsmessung



Geräte

- G _____
- A _____
- R _____
- V _____

Bedeutung der Farben im Stromkreis:

- rot
- blau (oder schwarz)

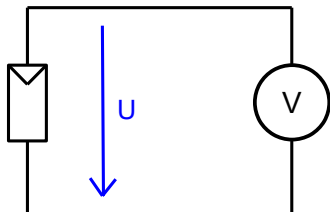
Strommessung: (Begriffe: COM, A, A, negativer, in Reihe, auftrennen, durchfließt) [A oder mA]

- Stromkreis _____
- Strommesser _____
- Wahlschalter auf _____ stellen
- Der Strom _____ das Messgerät vom _____-Anschluss zum _____-Anschluss.
- Wenn man die Anschlüsse A und COM vertauscht, wird ein _____ Strom angezeigt.
- Denkmodell: Der Strommesser ist ein dicker Draht, der Stromfluss wird fast nicht behindert.
- Vergleich Strommessung vor und hinter dem Widerstand:

Spannungsmessung: (Begriffe: COM, V, V, kein Strom, parallel schalten,) [V oder 20V]

- Spannungsmesser _____
- Wahlschalter auf _____ stellen.
- Die Spannung wird gemessen vom _____-Anschluss zum _____-Anschluss.
- Durch den Spannungsmesser fließt praktisch _____.
- Denkmodell: Der Spannungsmesser ist eine Leitungs-Unterbrechung, er stellt fest, wieviel positiver der V-Anschluss gegenüber dem COM-Anschluss ist.

5.8 Eigenschaften von Strom- und Spannungsmessern



Solarzelle als
 Spannungsquelle

Schließen Sie zunächst nur einen Spannungsmesser an die Solarzelle an.

Beobachtung: _____

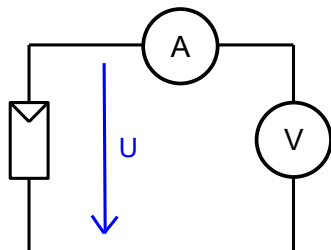
Ein Spannungsmesser beeinflusst durch seine Messung die Schaltung praktisch nicht. Der Spannungsmesser „schaut nur zu“!

Der Stromkreis ist nicht geschlossen. Es fließt kein Strom. Dies nennt man Leerlauf.

Beweisen Sie messtechnisch, dass kein Strom fließt.

Schaltung:

Beobachtungen:

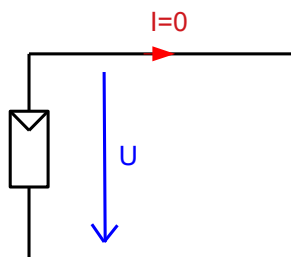


Solarzelle als
 Spannungsquelle

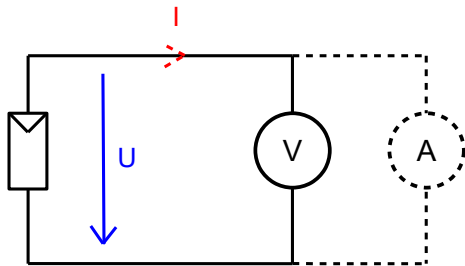
Der Strommesser (A) stellt fest,
 wie groß der Strom ist, der in den
 Spannungsmesser fließt.

Da der Strommesser wie ein
 Stück dicker Draht wirkt, misst
 der Spannungsmesser (V) die
 Spannung der Solarzelle.

Elektrisch wirkt die Schaltung so:



Schalten Sie nun parallel zum Spannungsmesser einen Strommesser.



Solarzelle als
 Spannungs- und
 Stromquelle

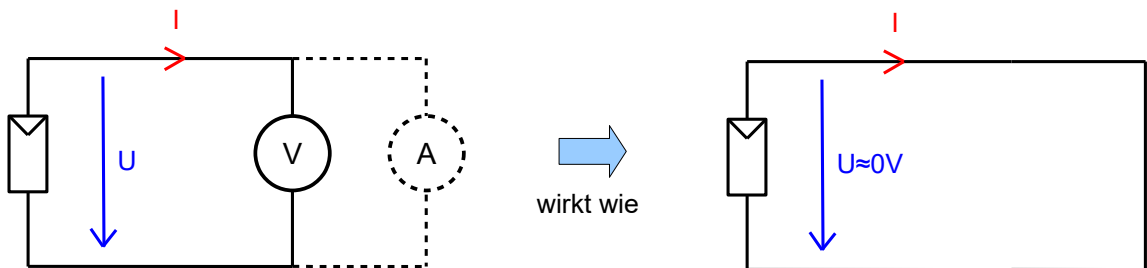
Beobachtung: Spannung mit Strommesser _____

Spannung ohne Strommesser _____

Folgerung: Der Strommesser wirkt wie ein Kurzschluss!

Durch die Parallelschaltung des Strommessers misst man den Kurzschluss-Strom der Solarzelle!

Zeichnen Sie hier den Weg des fließenden Stromes ein:

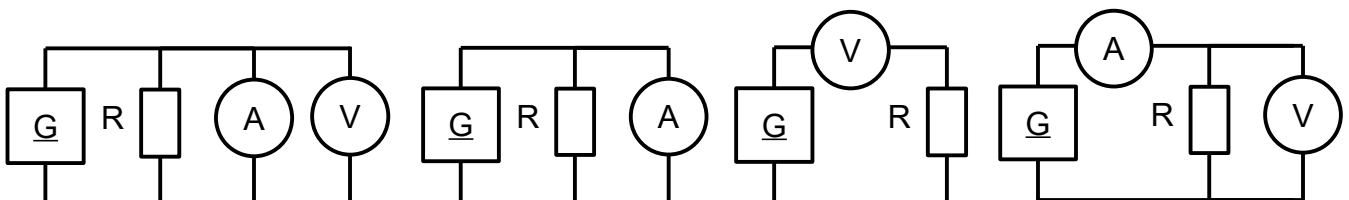


Solarzelle als
 Spannungs- und
 Stromquelle

Der Strommesser wirkt wie ein dicker Draht. Durch ihn fließt der gesamte Strom hindurch.

5.9 Untersuchung von Messschaltungen

Begründen Sie, welche dieser Messschaltungen das gewünschte Ergebnis anzeigt (Strom- bzw. Spannungsmessung) und bei welchen Schaltungen sofort die Sicherung des A-Messbereichs im Messgerät „durchbrennt“.



Learning-App Spannungsmessung: <https://learningapps.org/display?v=pwmo24vwc17>

6 Elektrische Energie W und elektrische Leistung P

6.1 Elektrische Energie

Die **elektrische Energie W** wird mit Hilfe des elektrischen Stromes transportiert und in Verbrauchern umgewandelt, z.B. durch Elektromotoren in Bewegungsenergie oder durch Lampen in Licht- und Wärmeenergie. Die umgesetzte Energie wird auch Arbeit genannt.

Die vom Strom transportierte elektrische Energie wird in jedem Haushalt von Energiezählern („Stromzähler“) gemessen. Man bezahlt für die vom Energieversorger gelieferte elektrische Energiemenge.

In der Elektrotechnik wird für die elektrische Energie das Formelzeichen W und die Einheit Wattsekunde (Einheitenzeichen: Ws) verwendet.

$$W = U \cdot Q$$

$$\rightarrow [W] = V \cdot A \cdot s = W \cdot s$$

Es gilt auch: $1 Ws = 1 J$ (Joule).

Bei der Messung des Energieverbrauchs ist die Angabe kWh (Kilowattstunde) üblich.
 $1 kWh = 3.600.000 Ws$

Elektrische Energie kann wie jede andere Energie nicht vernichtet oder erzeugt werden, sondern wird grundsätzlich in eine andere Erscheinungsform gewandelt.

Elektrische Energie wird mit elektrischen Ladungen transportiert.

6.2 Elektrische Leistung

Leistung ist allgemein die einer bestimmten Zeit verrichtete Arbeit.

Elektrische Leistung P (engl. *Power*) ist die Leistung, welche von elektrischer Energie über einen bestimmten Zeitraum verrichtet wird.

Formelzeichen: P (engl. *Power*)

Einheit: W (Watt)

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

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Energiemenge}}{\text{Zeit}} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}}$$

(Definition der Leistung)

$$P = U \cdot I$$

(elektrische Leistungsmessung)

Umrechnung der Einheit: $1 W = 1 V \cdot 1 A$

Herleitung von $P = U \cdot I$ aus $P = W / t$ und den Definitionen von U und I :

$$U = \frac{W}{Q} \quad \text{Spannung} = \frac{\text{Energiemenge}}{\text{Ladungsmenge}} \quad \rightarrow W = U \cdot Q \quad \rightarrow W = U \cdot I \cdot t$$

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{Stromstärke} = \frac{\text{Ladungsmenge}}{\text{Zeit}} \quad \rightarrow Q = I \cdot t$$

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

Beispiel:

Ein elektrischer Heizofen mit dem Anschlusswert 3000W benötigt in einer Stunde die Energiemenge $W = P \cdot t = 3kW \cdot 1h = 3 kWh$. Bleibt dieser Heizofen einen Tag eingeschaltet (z.B. im Wohnzimmer eines schlecht isolierten Hauses), verbraucht er 72 kWh.

Bei „Energiekosten“ von 0,28 € pro kWh kostet die Beheizung eines Zimmers an einem Tag also $72 kWh \cdot 0,28 €/kWh = 20,16 €$!!!

6.3 Messen von Leistung und Energie

Jeder Haushalt besitzt ein „Stromzähler“, der die vom Strom gelieferte elektrische Energiemenge in kWh misst und anzeigt. Dazu muss dieser nur U und I und t messen ($P = U \cdot I \cdot t$).

Zur Messung der von einzelnen Geräten benötigten Energie, stehen Stecker-Messgeräte zur Verfügung, die einfach zwischen Steckdose und Verbraucher geschaltet werden. Diese Geräte zeigen oft Strom und Spannung und die daraus berechnete die Leistung an. Durch Multiplikation mit der verstrichenen Zeit wird die benötigte Energiemenge berechnet. Durch Programmierung der Stromkosten pro kWh können oft auch direkt die anfallenden Kosten angezeigt werden.



6.4 Zusammenfassung Leistung und Energie

- Strom transportiert Energie
- die im Verbraucher umgesetzte Energie W bezahlen wir
- auf vielen Geräten ist die Leistung P in W angegeben
- $P = W / t$
- elektrische Leistung kann mit Strom und Spannung berechnet werden
- $P = U \cdot I$
- Die benötigte elektrische Energiemenge W kann mit $U \cdot I \cdot t$ einfach ermittelt werden.

6.5 Leistungs-Tabelle

LED zur Anzeige	50 mW
Standby-Schaltung DVD-Rec, Fernseher, ...	5 W, neuere Geräte unter 1W
LED zur Beleuchtung	1 W bis 5 W
Halogenlampe	20 W bis 50 W
Halogen-Deckenfluter	200 W
Glühlampe	15 W bis 100 W
Kühlschrank wenn der Kompressor läuft (Der Kompressor ist im Durchschnitt 2-3h an.)	200 W
Föhn	1000 W -2000 W
Herd pro Kochplatte	1000 W -1500 W
Staubsauger	1000 W -1500 W
Heizlüfter	2000 W
Elektro-Heizkörper	1000 W -3000 W
1 Windrad	1 - 4 MW
Steinkohle-Kraftwerk	500 MW
Kernkraftwerk	2000 MW

6.6 Messungen der benötigten Leistungen alltäglicher Verbraucher

P_{ON} in W: Leistungsaufnahme im eingeschalteten Betrieb
 t_{ON} in h: Zeit während der das Gerät eingeschaltet täglich ist
 W_{ON} in kWh: täglich benötigte Energiemenge im eingeschalteten Betrieb
 K_{ON} in cent: tägliche Kosten in cent im eingeschalteten Betrieb

P_{OFF} in W: Leistungsaufnahme im ausgeschalteten Betrieb, Standby-Betrieb
 t_{OFF} in h: Zeit während der das Gerät ausgeschaltet täglich ist
 W_{OFF} in kWh: täglich benötigte Energiemenge im ausgeschalteten Betrieb
 K_{OFF} in cent: tägliche Kosten in cent im ausgeschalteten Betrieb

Gerät, evtl. Bmerkungen	Gerät eingeschaltet				Gerät ausgeschaltet, Standby				cos φ
	P_{ON}	t_{ON}	W_{ON}	K_{ON}	P_{OFF}	t_{OFF}	W_{OFF}	K_{OFF}	
PC									
Router									
Fernseher									
SAT-Receiver									
DVD, Video,....									
Telefon inkl. Telefonanlage									
Kühlschrank									
Gefrierschrank									
Herd									
Elektr. Heizung, Boiler, ...									
Beleuchtung 1									
Beleuchtung 2									
Beleuchtung 3									
Beleuchtung 4									

Energieverbrauch (Strom) pro Jahr laut Stromrechnung:
 → Kosten pro Jahr: → Kosten pro Tag:

Vergleich mit den oben aufgeführten Kosten:

7 Wirkungsgrad (Ergänzungen)

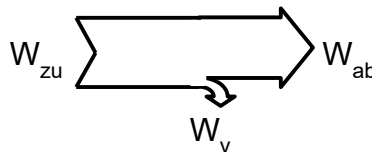
Der **Wirkungsgrad** η (sprich: eta) ist allgemein das Verhältnis von abgegebener Leistung (P_{ab} = Nutzen) zu zugeführter Leistung (P_{zu} = Aufwand) bzw. abgegebener Energie oder Arbeit (W_{ab}) zu zugeführter Energie oder Arbeit (W_{zu}).

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

$$P_{\text{Verlust}} = P_{zu} - P_{ab}$$

$$W_{\text{Verlust}} = W_{zu} - W_{ab}$$

η ist stets kleiner 1 und eine reine Zahl. Oft wird η auch in Prozent angegeben.



Verlustenergie W_v fällt häufig als Wärmeenergie an.

Anlagenwirkungsgrad

Arbeiten mehrere Maschinen und Übertrager hintereinander, so werden deren einzelne Wirkungsgrade zum **Gesamtwirkungsgrad** η_{gesamt} der Anlage, dem **Anlagenwirkungsgrad** multipliziert.

$$\eta_{\text{gesamt}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \dots \cdot \eta_n$$

Beispiel Elektromotor wird Energie eines Kohlekraftwerks betrieben:

- Kraftwerk 40 % (0,4),
- Transformator am Kraftwerk 99 % (0,99)
- Transformator in der Nähe des Verbrauchers 95 % (0,95)
- elektrische Energieübertragung: 90 %
- Elektromotor 80 % (0,8)

Gesamtwirkungsgrad: $\eta_{\text{gesamt}} = 0,4 \cdot 0,99 \cdot 0,95 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = \mathbf{0,2709}$ oder rund 27 %.

Nur 27 % der in der Kohle gespeicherten chemischen Energie wird vom Elektromotor als mechanische Energie abgegeben.

8 Übungen Spannungen, Energie, Leistung, Wirkungsgrad

Begriffe, Einheiten, Formelzeichen und Formelumstellen üben:

<https://learningapps.org/display?v=peedtz5xn19> <https://learningapps.org/display?v=pfq1pkwtn19>

8.1 Akku-Schrauber

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

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

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

12 V

1,4 Ah

16,8 Wh

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

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

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

8.1.5 Im Dauerbetrieb „hält“ eine Akkuladung unter Belastung 30min.

Wie groß ist der durch den Motor fließende Strom?

Welche Leistung nimmt der 12V-Motor auf?

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

8.1.7 Im Prospekt eines Discounters war folgende Anzeige zu finden

Für alle akkubetriebenen Heimwerker- und Gartengeräte mit 20 V und 40 V der ALDI Marke **FERREX**

Doppelte Laufleistung aller 20-V-Geräte dank flexibel einsetzbarem 40-V-Akku

Produkt	Preis (je)	Spezifikationen
ACTIV ENERGY® Universal Akku-Ladegerät	14,99*	<ul style="list-style-type: none"> Ladegerät für Li-Ion-Akkus Eingang: 220–240 V~/50 Hz/96 W, Ausgang: 21V~/4,0 A Ladezeit: max. 20 V~/36 Wh = ca. 45 Min. bzw. max. 20 V= (x 2 Einheiten) 90 Wh = ca. 95 Min. 3 Jahre Garantie
ACTIV ENERGY® 20 V Li-Ion-Akku	19,99*	<ul style="list-style-type: none"> Leistung: max. 20V= Kapazität: 2,0 Ah/36 Wh Mit Akku-Ladestandanzeige Mit Li-Ion-Zellen von LG 2 Jahre Garantie
ACTIV ENERGY® 20 V/40 V Li-Ion-Akku	39,99*	<ul style="list-style-type: none"> Akku mit variabler Leistung Leistung/Kapazität max. 20 V~/5,0 Ah/90 Wh bzw. max. 40 V~/2,5 Ah/90 Wh Mit Akku-Ladestandanzeige Mit Li-Ion-Zellen von LG 2 Jahre Garantie

www.tuv.com ID 1419064072

Dem elektrisch geschulten Umwelttechniker fallen hier doch gleich mehrere Fehler auf!

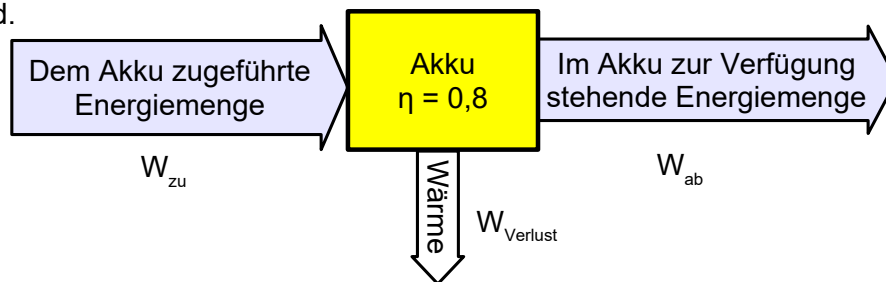
Verbessern Sie alle Angaben unter den Akkus mit den richtigen Bezeichnungen.

Wie ist es möglich, dass ein Akku entweder 20V oder 40V liefern kann? Entwerfen Sie eine möglich Schaltung. (Anleitung: bei der Reihenschaltung addieren sich die Spannungen, bei der Parallelschaltungen addieren sich die Ströme.)

8.2 Energie

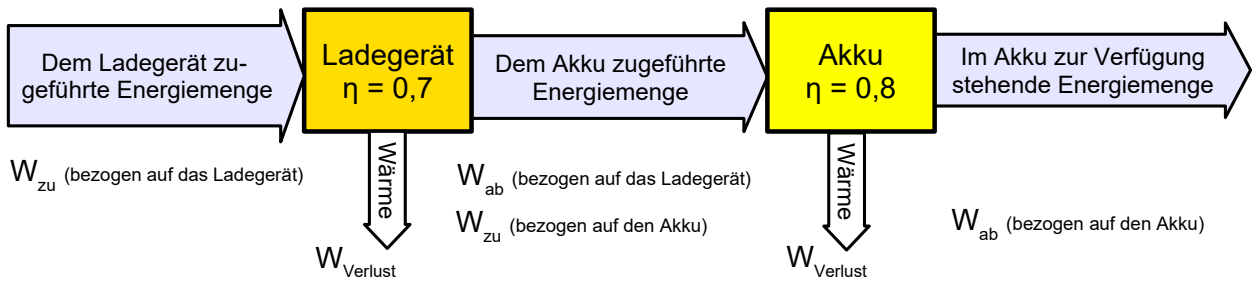
Die Fragen beziehen sich auf folgenden Akku:
3500 mAh / 1,2 V / NiMH / Auflade-Wirkungsgrad 80%

- 8.2.1 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.



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

8.2.3 Das Ladegerät besitzt einen Wirkungsgrad von 70 %.
 Welche Energiemenge muss dem Netz entnommen werden, um den Akku aufzuladen?
 Was kostet eine Akku-Ladung, wenn 1 kWh elektrische Energie aus dem Stromnetz
 28 Cent kostet?



8.3 Vergleich Glühlampe – LED-Lampe

Eine 60 W Glühlampe leuchtet täglich 3 h. Nach einem Jahr ist sie defekt.

Eine etwa „gleich helle“ 9 W-LEDlampe muss bei der gleichen Leuchtdauer dagegen erst nach 6-8 Jahren ausgewechselt werden. 1 kWh kostet 28 Cent.

Anschaffungspreise: Glühlampe: 50 Cent, LED-Lampe 1,50 €.

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

Die 60W-Lampe benötigt in 1 Jahr die Energiemenge:

Die Betriebskosten betragen:

Die Gesamtkosten betragen pro Jahr:

Die Gesamtkosten betragen in 6 Jahren:

Die 9 W-LED-Lampe benötigt die Energiemenge:

Die Betriebskosten betragen:

Die Gesamtkosten betragen im ersten Jahr:

und je in den weiteren Jahren. Nach 6 Jahren sind dies

8.4 Faustformel: was kosten Standby-Schaltungen im Jahr?

Entwickeln Sie eine Faustformel: 1 W Standby kostet im Jahr xx € (1 kWh kostet 28 Cent.)

8.5 Standby-Schaltungen

DVD-Player und Fernseher benötigen im Standby-Betrieb zusammen 10 W, im Betrieb 100 W. 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 Tag W =

365 Tage: W =

Kosten pro Jahr:

ohne Standby:

1 Tag W =

365 Tage: W =

Kosten pro Jahr:

Ersparnis:

8.6 Vergleich Netzteil – Akku – Batterie

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

Ein Akkuladegerät besitzt einen Wirkungsgrad von 70 %.

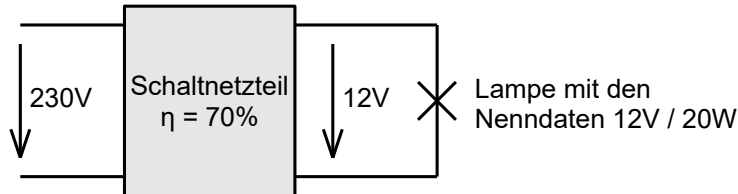
Die 1,2 V-Akkus besitzen Wirkungsgrade von 80 % und Kapazitäten von je 3500 mAh.

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

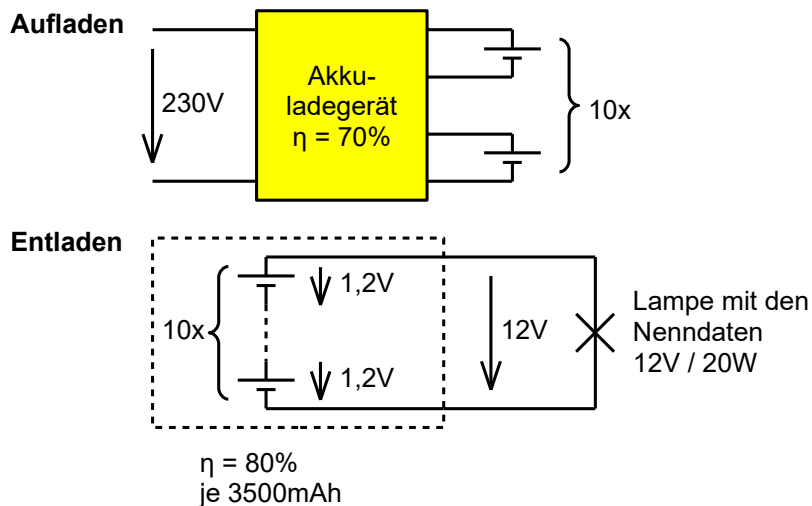
1 kWh elektrische Energie aus dem Stromnetz kostet 28 Cent.

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

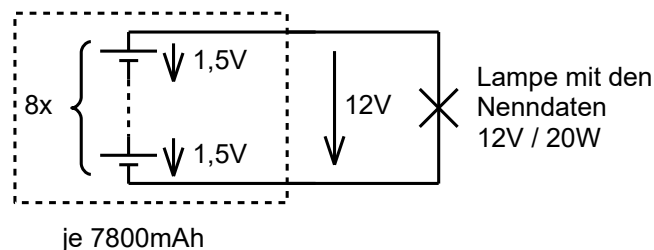
a) mit dem Schaltnetzteil



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



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



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

8.6.2 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

a) Schaltnetzteilbetrieb

b) Betrieb an 10 Stück 1,2V-Akkus

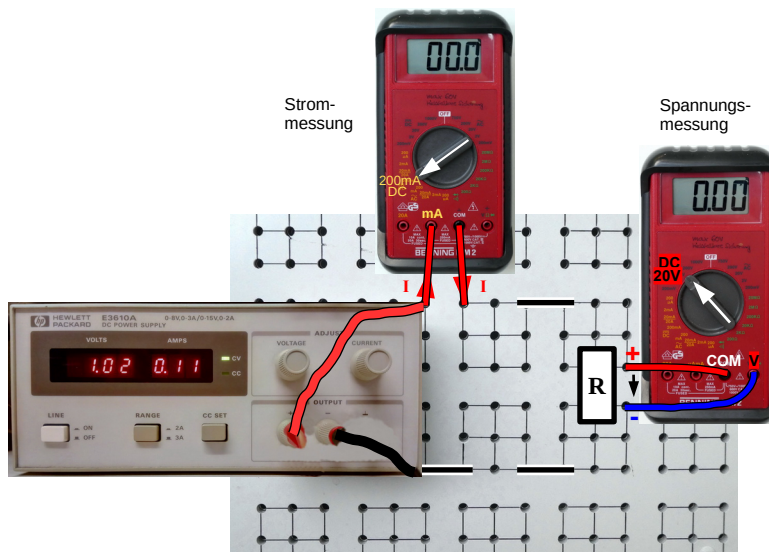
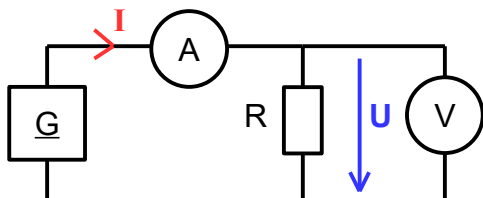
c) Betrieb an 8 Stück 1,5V-Batterien

8.6.3 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.)

9 Das Ohmsche Gesetz

9.1 I(U)-Kennlinien

9.1.1 Schaltung



9.1.2 Verwendete Bauteile

R1: 5 Ω (10 Ω parallel 10 Ω)

R2: 10 Ω

R3: 22 Ω (oder 33 Ω)

Glühlampe 2,5 V / 0,2 A (oder 6 V / 0,3 A)

9.1.3 Hinweise zur Nutzung des Netzteils

- **Maximalen Strom am Netzteil auf 0,3 A einstellen:** CC-Taster gedrückt halten während mit Current-Regler 0,30 A eingestellt wird.
- **Maximale Spannung am Netzteil 3V**
- **Netzteil-Ausgänge + und – verwenden, nicht \perp**

9.1.4 Vorgehen

- Schaltung mit R1 aufbauen, beachte dabei die
 - Schaltung des Strommessers: in Reihe, Messbereich 200 mA oder 20 A
 - Schaltung des Spannungsmessers: parallel, Messbereich 20 V
- Messwerte U und I aufnehmen, dabei U am Netzteil (G) erhöhen von 0V bis
- Messwerte am Strom- und Spannungsmesser ablesen, nicht am Netzteil!
- Messreihe mit R2, R3 und Glühlampe wiederholen, dann Kennlinien zeichnen

9.1.5 Messtabellen

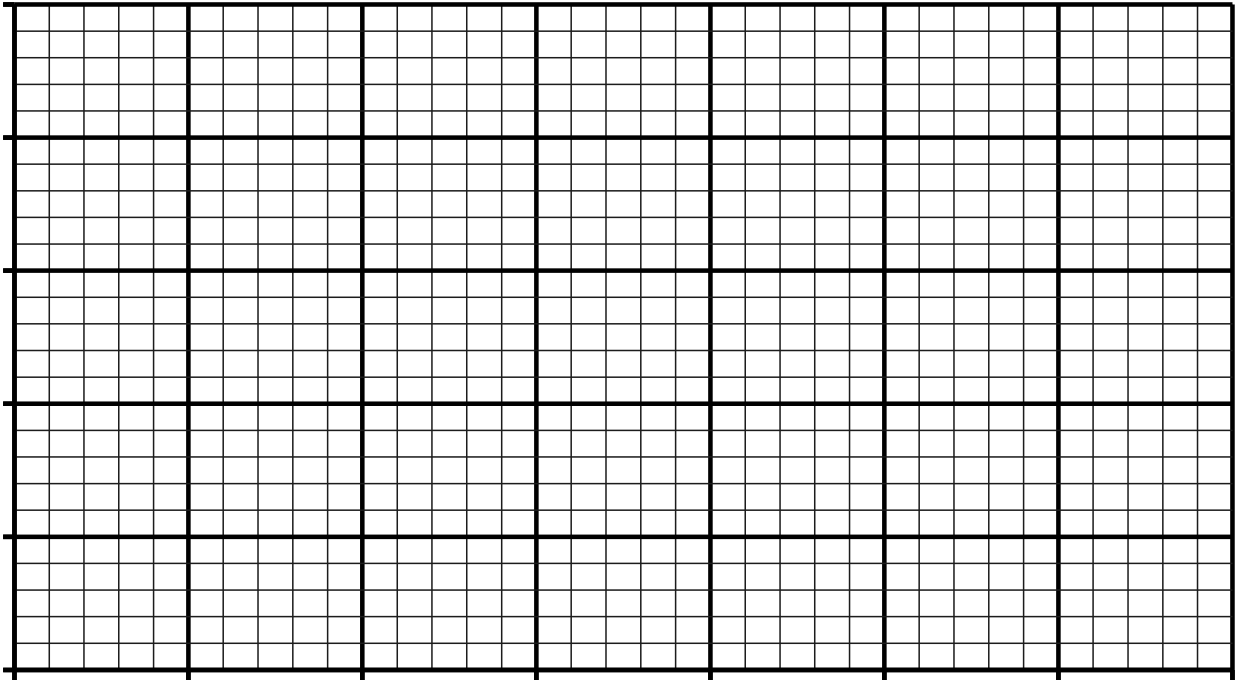
R1=5 Ω		
U in V	I in mA	U / I
0,00	0,00	
0,50		
1,00		
-		
-		

R3=22 Ω		
U in V	I in mA	U / I
0,00	0,00	
1,00		
2,00		
3,00		
-		

Glühlampe		
U in V	I in mA	U / I
0,00	0,00	
0,10		
0,20		
0,50		
1,00		
1,50		
2,00		
2,50		

R2=10 Ω		
U in V	I in mA	U / I
0,00	0,00	
0,5		
1,00		
1,50		
2,00		

9.1.6 Kennlinien



9.1.7 Beschreibung, Folgerungen und Erkenntnisse

Fortsetzung 9 Das Ohmsche Gesetz

Georg Simon Ohm entdeckte, dass bei bestimmten elektrischen Leitern ein linearer Zusammenhang zwischen anliegender Spannung U und hindurch fließendem Strom I besteht.

$$\frac{U}{I} = \text{const}$$

Teilt man die beiden Größen durcheinander, so erhält man eine Konstante:
 Zu Ehren von Herrn Ohm wird diese Abhängigkeit **Ohmsches Gesetz** genannt.

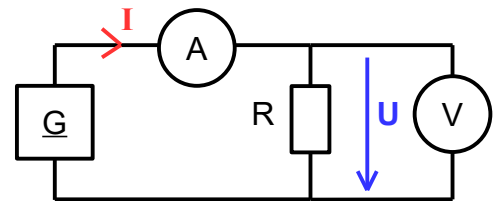
Je nach Material, Querschnitt und Länge des Leiters nimmt die Konstante unterschiedliche Werte an.

9.2 Kennlinie eines Widerstands

Untersuchung eines Widerstandes

An ein Netzteil (G =Generator) wird ein Widerstand R angeschlossen.

Der fließende Strom I und die am Widerstand anliegende Spannung U werden gemessen.



Erhöht man die Spannung U , so ändert sich der Strom I im selben Maß.

Teilt man U durch I , so erhält man eine Konstante.

Diese Konstante erhält den Namen **elektrischer Widerstand**:

$$R = \frac{U}{I} \quad [R] = 1 \Omega = \frac{V}{A}$$

U in V	5	10	15
I in A	0,05	0,1	0,15
U / I	100	100	100

Trägt man Spannungen und Ströme eines dazugehörigen Widerstandes in ein Diagramm ein und verbindet die Punkte miteinander, dann bildet sich eine gerade Linie (Gerade).

Diese Abbildung nennt man die **Kennlinie des Widerstandes**.

Die Geraden zeigen, dass U und I proportional zueinander sind.

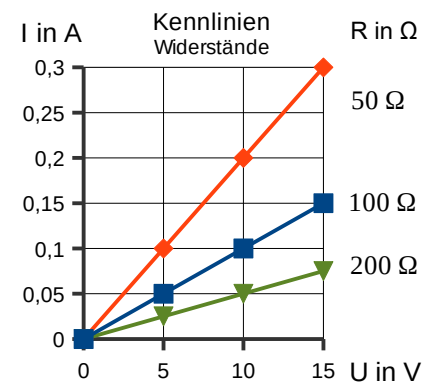
Führt man den gleichen Versuch mit anderen Widerstandswerten durch, so erhält man jedes mal eine Gerade.

Je steiler die Gerade, desto kleiner ist der Widerstand.

Nichtlineare Bauelemente, bei denen sich Widerstandswert mit der Spannung ändert, gehorchen nicht dem ohmschen Gesetz.

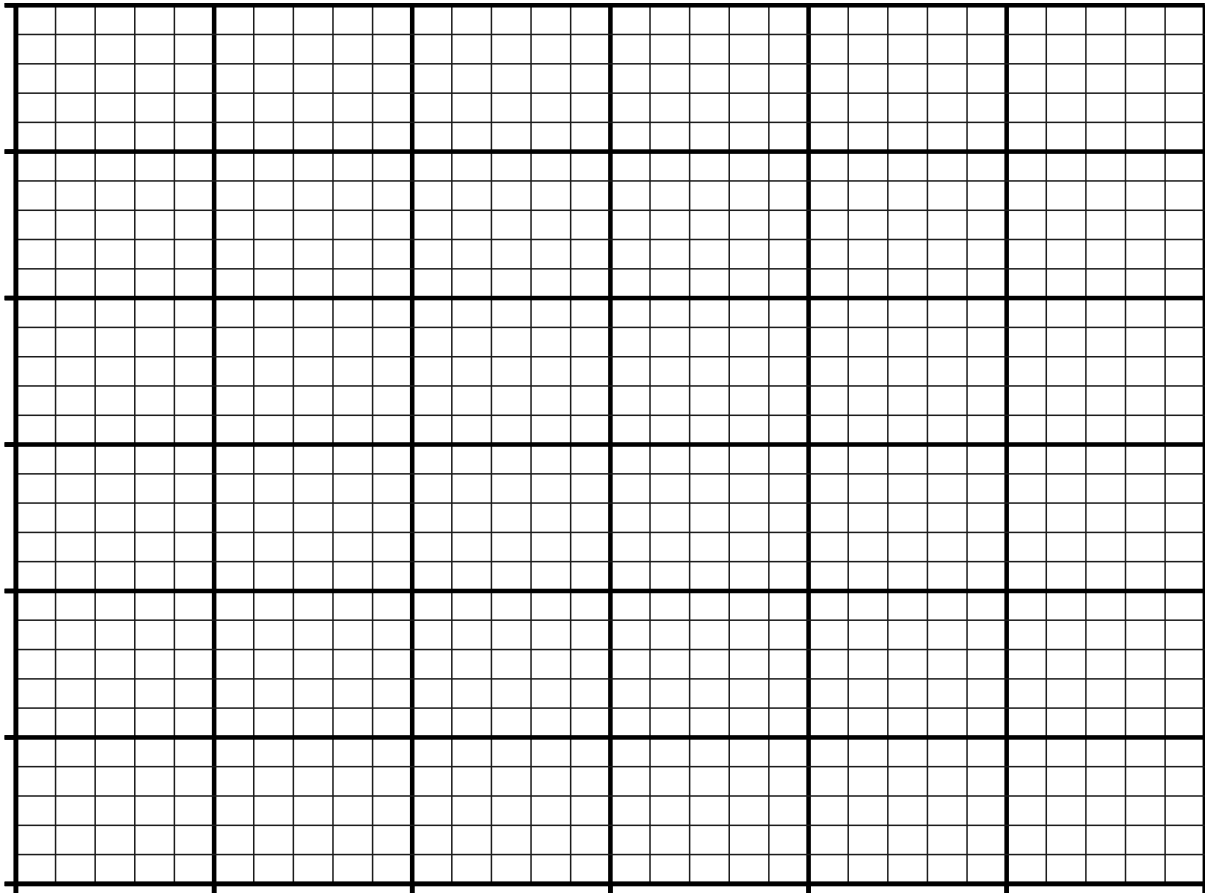
Dann ist der Zusammenhang zwischen Strom und Spannung nicht proportional. Im Diagramm erhält man keine Gerade.

Glühlampen, Dioden, LEDs, Transistoren, Solarzellen besitzen z.B. nichtlineare Kennlinien.



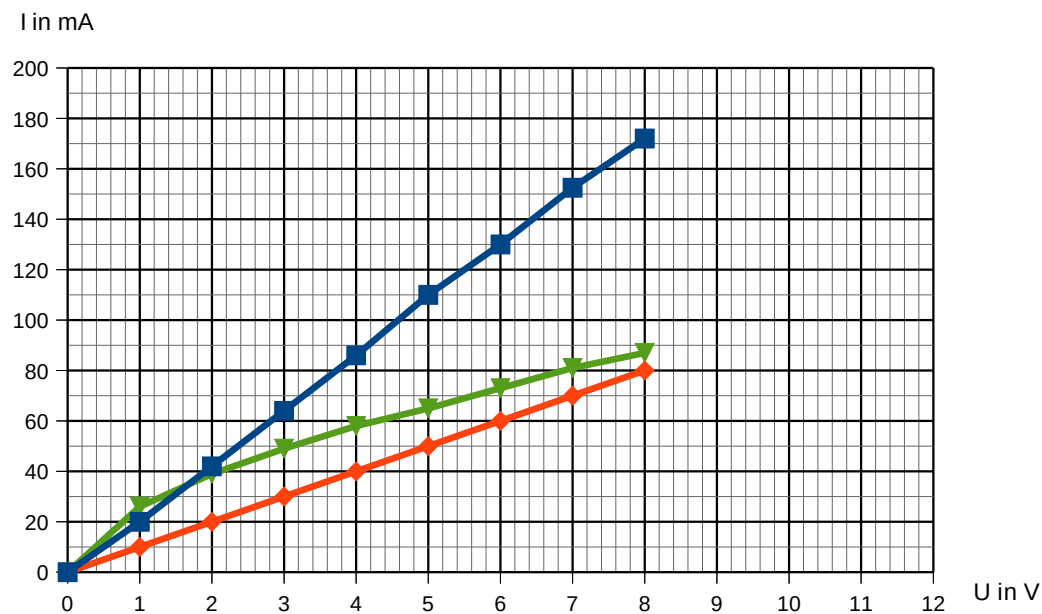
9.3 Aufgaben zu Widerstandskennlinien

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



Fortsetzung Aufgaben zu Widerstandskennlinien

Im Labor wurden die Kennlinien zweier Widerstände und einer Lampe aufgenommen:



9.3.2 Bestimmen Sie die Widerstandswerte der Widerstände.

9.3.3 Ergänzen Sie (groß/klein):
 Steile Kennlinie → _____ Widerstand
 Flache Kennlinie → _____ Widerstand

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

9.3.5 Die Lampe hat eine nichtlineare Kennlinie. Erklären Sie:
 Bei kleinen Spannungen ist der Lampenwiderstand _____

Bei großen Spannungen ist der Lampenwiderstand _____

9.3.6 Extrapolieren Sie die Kennlinie der Lampe. Sie besitzt die Nenndaten $12 \text{ V} / 0,1 \text{ A}$.
 Entnehmen Sie der Kennlinie die fließenden Ströme bei
 $U_1 = 8 \text{ V} \rightarrow I =$
 $U_2 = 11 \text{ V} \rightarrow I =$

9.3.7 Berechnen Sie U/I der Lampe bei
 Bei $U_2 = 8 \text{ V}$ ist $I_2 =$ $U/I =$
 Bei $U_3 = 1 \text{ V}$ ist $I_3 =$ $U/I =$
 Folgerung:

9.4 Berechnung des Widerstandswertes aus den Materialgrößen

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

A = Querschnitt des Leiters in mm^2 ,
 l = Länge des Leiters in m ,
 ρ = spezifischer Widerstand des Leitermaterials in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

[Link zur Animation](#)

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

Beispiel: Wie groß ist der elektrische Widerstand eines Haus-Installationskabel von 20m Länge und $1,5\text{mm}^2$ Querschnitt?

$$R = \rho \frac{l}{A} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \frac{20 \text{ m}}{1,5 \text{ mm}^2} = 0,237 \Omega = 237 \text{ m}\Omega$$

9.5 Aufgabe Elektrozuleitung Küchenherd

9.5.1 Berechnen Sie den Widerstand von 50 m langen Kupferkabeln mit den Querschnitten $2,5 \text{ mm}^2$ und $1,5 \text{ mm}^2$.

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

Welche Leistungen gehen dann jeweils an Hin- und Rückleitung verloren?

Wie macht sich dieser Verlust bemerkbar?

9.5.3 Warum verwendet man für einen Elektroherd Kupferkabel mit einem Querschnitt von $2,5 \text{ mm}^2$, für normale Steckdosen aber $1,5 \text{ mm}^2$?

9.6 Aufgabe Hochspannungsleitung

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

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

9.6.1 Wie groß ist der maximale Spannungsabfall pro km?

(der durch den Gleichstromwiderstand hervorgerufen wird.)

9.6.2 Welche Leistung geht dann pro km verloren?

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

Erklären Sie, warum die Übertragung nicht funktionieren würde.

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

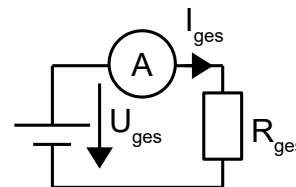
(Natürlich dürfte auch die Leitung nicht mit diesem riesigen Strom belastet werden)

Fragen und Antworten Strom, Spannung, Energie

9.7 Woher weiß der Strom, wie groß er zu werden hat?

Bei uns ist die Gesamtspannung immer vorgegeben.
Der Strom wird immer vom Gesamtwiderstand der
angeschlossenen Schaltung bestimmt!

$$I_{\text{ges}} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}}$$



9.8 Wodurch wird die Spannung an einem Verbraucher bestimmt?

Sobald durch einen Verbraucher ein Strom fließt, fällt an
ihm auch eine Spannung ab.

$$U_R = R * I_R$$

Die Größe der Spannung hängt vom Widerstandswert ab.

In einer Reihenschaltung fällt am größten Widerstand die größte Spannung ab.

9.9 Wie kann ich die Größen Ladung und Energie auseinander halten?

Die Einheiten geben einen Hinweis:

Die Einheit der Ladung ist Ah (oder As).

Wenn ein Akku 1 Stunde lang mit einem Strom von 1 Ampère aufgeladen wird, dann ist auf ihm die
Ladungsmenge 1 As gespeichert.

Also: Strom ist „fließende Ladung“. Wenn man von der Ladung spricht, ist das „gespeicherter
Strom“.

Ladung Q zusammen mit Strom I merken!

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

Die Einheit der Energie in der Elektrotechnik ist Wh (oder kWh oder Ws, 1 Ws = 1Joule).

Wenn eine Herdplatte 1 Stunde lang eine Leistung von P = 1kW abgegeben hat, dann hat sie die
Energienmenge 1 kWh benötigt. Der „Stromzähler“ misst also nicht den Strom, sondern die durch
ihn fließende Energiemenge. Wir bezahlen immer die benötigte Energiemenge.

Also: Auf allen Elektrogeräten ist die Leistung P angegeben. Multipliziert mit der Zeit ergibt sich die
benötigte Energiemenge, für die wir bezahlen.

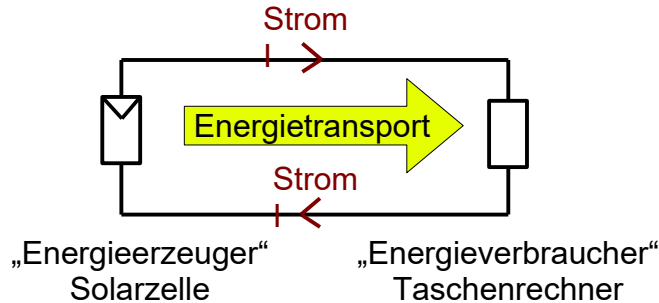
Energie W zusammen mit Leistung P merken!

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

9.10 Wie kann man sich erklären, dass es möglich ist, durch eine große Spannung oder einen großen Strom viel Energie zu übertragen?

10 Elektrischer Stromkreis

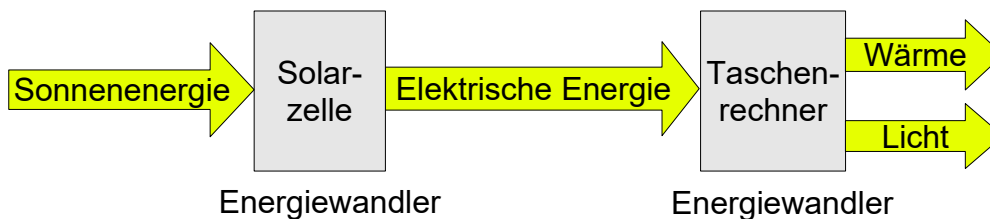
10.1 Stromkreis und Energieübertragung



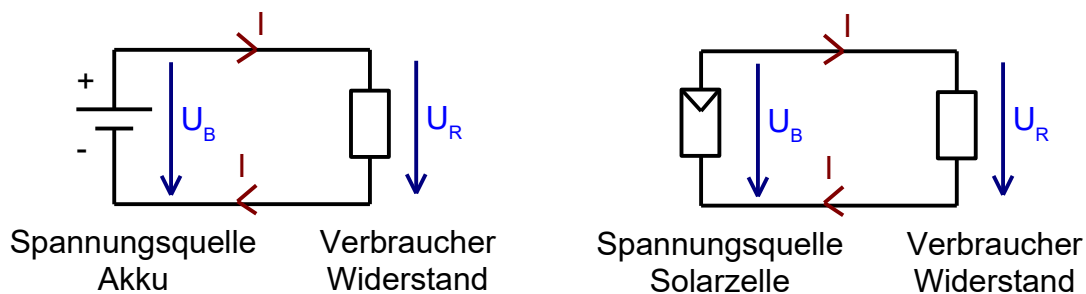
Die Aufgabe des elektrischen Stromkreises ist es, Energie zu transportieren.

Dabei spricht man häufig von „Erzeuger“ und „Verbraucher“. Diese Begriffe beziehen sich jedoch nur auf die elektrische Energie.

In Wirklichkeit handelt sich um Energiewandler, denn Energie kann nie verloren gehen.



Den Energiefluss zeichnet man in elektrischen Stromkreisen normalerweise nicht mit ein. (Den Stromkreis zeichnet man möglichst so, dass die Energie von links nach rechts fließt.)



Dafür stellt man die beiden messbaren Größen Strom I und Spannung U dar, mit deren Hilfe man z.B. ganz leicht berechnen kann, wie viel Energie gerade übertragen wird.

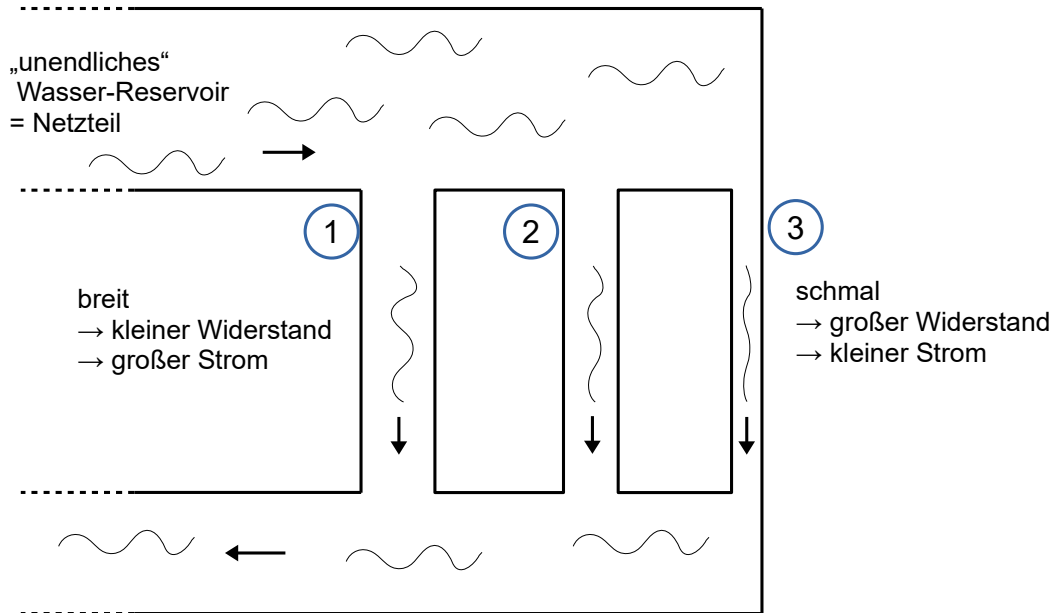
Für die elektrische Energieübertragung ist nicht unbedingt eine Leitung nötig, wie jede Verbindung zwischen Sendemast (Antenne sendet Energie aus) und Handy (empfängt Energie) zeigt. Über kurze Entfernungen kann eine „Funk-Energieübertragung“ sinnvoll sein, z.B. beim drahtlosen Laden eines Elektrofahrzeugs. Über größere Entfernungen ist die Übertragung nicht zielgerichtet genug, es viel zu viel Energie „verloren“.

Daher ist eine Drahtverbindung, in der ein elektrischer Strom fließt, letztlich nur eine Optimierung der elektrischen Energieübertragung mit dem Ziel, möglichst viel Energie zum Empfänger zu bringen.

→ Der elektrische Strom transportiert die Energie.

11 Parallelschaltung

11.1 Plausibilitätsbetrachtung mit Wassermodell



Das Wasserreservoir stellt unbegrenzt Wasser zur Verfügung.

Im Stromkreis stellt der Generator „unbegrenzt“ Strom zur Verfügung.

Die Menge des im Kanal 1 nach unten fließenden Wasser wird durch die Breite des Kanals bestimmt. Dabei ist es vollkommen gleichgültig, wieviel weitere Kanäle rechts vorhanden sind.

Die Größe des Stromes I_1 wird durch den Widerstand R_1 bestimmt.

Dabei ist gleichgültig, ob es noch weitere parallele Ströme I_2, I_3 gibt oder nicht.

Da der Kanal 1 breit ist, fließt eine große Wassermenge.

Da R_1 relativ klein (gegenüber R_2 und R_3) ist, fließt ein großer Strom. $R_1 \downarrow \rightarrow I_1 \uparrow$

Die Menge des im Kanal 3 nach unten fließenden Wasser wird durch die Breite des Kanals bestimmt. Da der Kanal 3 schmal ist, fließt eine kleine Wassermenge.

Da R_3 relativ groß (gegenüber R_2 und R_3) ist, fließt ein kleiner Strom. $R_3 \uparrow \rightarrow I_3 \downarrow$

Die gesamte nach unten fließende Wassermenge ist die Summe der Wassermengen der 3 Kanäle. Der Wasserstrom wird nicht durch das Reservoir begrenzt.

Der Gesamtstrom ist gleich der Summe der Einzelströme $I_{ges} = I_1 + I_2 + I_3$

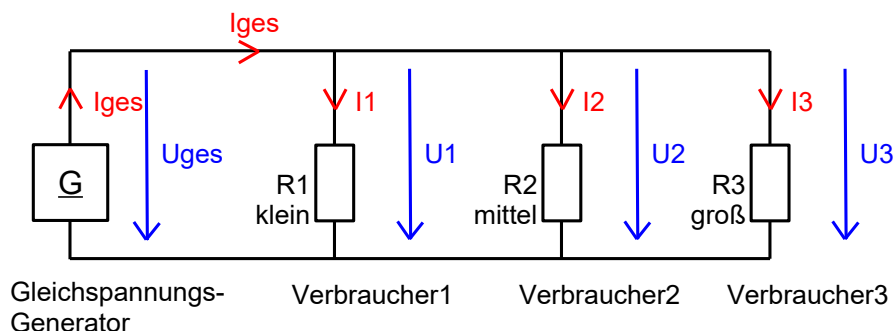
Die fließende Gesamtwassermenge wird durch die Gesamtbreite der Kanäle bestimmt.

Der Gesamtstrom I_{ges} wird durch den Gesamtwiderstand R_{ges} bestimmt.

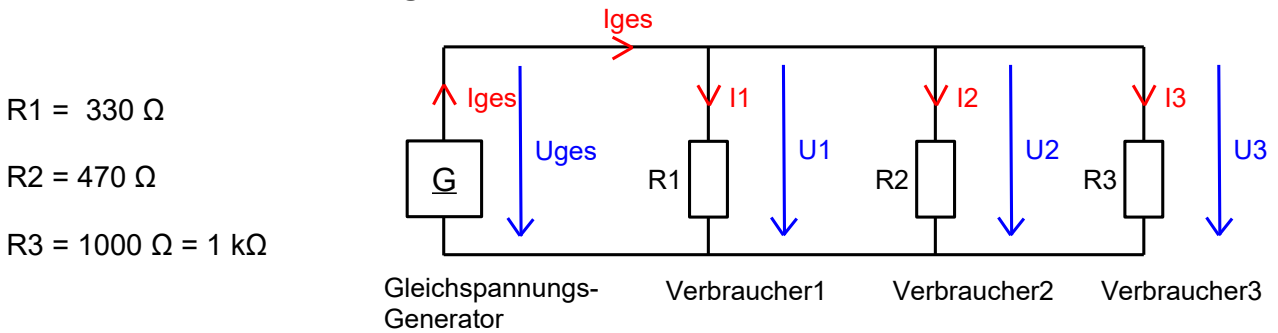
Durch Parallelschaltung eines Kanals wird der Gesamtkanal breiter und der Gesamtwiderstand kleiner! Die fließende Gesamtwassermenge steigt.

Durch Parallelschaltung eines Widerstandes sinkt der Gesamtwiderstand!

Der Gesamtstrom steigt. $R_1 \parallel R_2 \rightarrow R_{ges} \downarrow \rightarrow I_{ges} \uparrow$



11.2 Parallelschaltung von 3 Verbrauchern



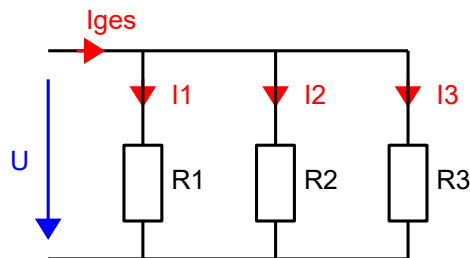
$R_1 = 330 \Omega$
 $R_2 = 470 \Omega$
 $R_3 = 1000 \Omega = 1 \text{ k}\Omega$

- **Maximalen Strom am Netzteil auf 0,1 A einstellen:** CC-Taster gedrückt halten während mit Current-Regler 0,1 A eingestellt wird.
- **Maximale Spannung am Netzteil 10V, Netzteil-Ausgänge + und - verwenden, nicht ⊥**

	Messung	Folgerungen, Berechnungen
U1 =		Folgerung: In der Parallelschaltung ...
U2 =		
U3 =		
I1 =		$I_1 = \frac{U_1}{R_1} =$
I2 =		$I_2 = \frac{U_2}{R_2} =$
I3 =		$I_3 = \frac{U_3}{R_3} =$
Iges =		$I_1 + I_2 + I_3 =$ Folgerung:
Rges		$U_{ges}/I_{ges} =$ $\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \rightarrow R_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$ Rges =
Spannungsversorgung von der Schaltung entfernen. Dann mit dem Multimeter den Gesamtwiderstand der Schaltung messen:		
Vergleiche R1, R2, R3 und Rges		Folgerung: In der Parallelschaltung

11.3 Gesetze der Parallelschaltung

I_{ges} Gesamtstrom
 I_1, I_2, I_3 Teilströme
 R_{ges} Gesamtwiderstand
 R_1, R_2, R_3 Einzelwiderstände



$$U_{ges} = U_1 = U_2 = U_3$$

An jedem Widerstand liegt die selbe Spannung U

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

Die einzelnen Ströme addieren sich zum Gesamtstrom.

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

Die Kehrwerte der Einzelwiderstände addieren sich zum Kehrwert des Gesamtwiderstandes.

$$P_{ges} = P_1 + P_2 + P_3$$

Die Einzelleistungen addieren sich zur Gesamtleistung.

Elektrotechnische Denkweisen:

- An allen Widerständen liegt die gleiche Spannung.
- Der Strom fließt von links oben nach links unten.
- Sobald der Strom zu einer Verzweigung kommt, teilt er sich auf.
- Der Gesamtstrom setzt sich aus den Einzelströmen zusammen: $I_{ges} = I_1 + I_2 + I_3$
- Die Größe der einzelnen Ströme richtet sich nach der Größe der Einzelwiderstände, (z.B. I_1 richtet sich nach R_1) $I_1 = \frac{U_1}{R_1}$
- Wenn man mehrere Widerstände parallel schaltet, wird der Gesamtwiderstand kleiner, da der Strom sich ja auf mehrere „Engstellen“ verteilt. Daher muss man bei der Widerstandsberechnung die Kehrwerte der Widerstände addieren.

Beispiel: Parallelschaltung von 3 Widerständen

gegeben: $U_{ges} = 10V, R_1 = 100\Omega, R_2 = 220\Omega, R_3 = 82\Omega$

gesucht: R_{ges}, I_1, I_2, I_3

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{100\Omega} + \frac{1}{220\Omega} + \frac{1}{82\Omega}$$

Anleitung: arbeite mit der 1/x -Taste des Taschenrechners!

$R_{ges} = 37,4\Omega$ Das Ergebnis muss kleiner sein als der kleinste Einzelwiderstand. Dies ist der Fall.

Berechnung der Ströme:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{10V}{100\Omega} = 0,1 A = 100mA$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{10V}{220\Omega} = 0,04545 A = 45,45mA$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{10V}{82\Omega} = 0,12195 A = 121,95mA$$

$$I_{ges} = I_1 + I_2 + I_3 = 267,4mA \text{ oder } I_{ges} = \frac{U_{ges}}{R_{ges}} = \frac{10V}{37,2\Omega} = 0,2688 A = 268,8mA$$

11.4 Beispiele von Parallelschaltungen

11.4.1 Mehrfachsteckdose

Alle Verbraucher, die man an eine Mehrfachsteckdose anschließt, sind parallel geschaltet.



11.4.2 Raumbeleuchtung

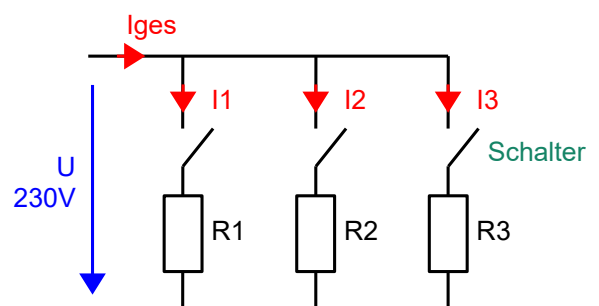
In diesem Beispiel sind R1, R2, R3 die Lampen in einem Raum, die getrennt voneinander eingeschaltet werden können.

Die Lampen sind parallel geschaltet, damit sie alle an der gleichen Spannung liegen.

Wenn man eine Lampe ausschaltet, werden die anderen Lampen dadurch nicht dunkler, d.h. der Strom durch eine Lampe hängt nicht vom Strom der anderen Lampen ab.

Je mehr Lampen man parallel schaltet, um so größer wird der Gesamtstrom I_{ges} und der Energieverbrauch steigt.

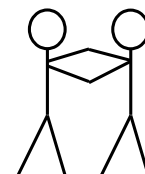
$$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$$



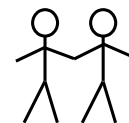
11.4.3 Modell Parallelschaltung

Eine Parallelschaltung erkennt man daran, dass beide Anschlüsse mit beiden Anschlüssen des „Nachbarn“ verbunden sind.

Vergleich: 2 Personen geben sich beide Hände → parallel



Im Gegensatz dazu gibt man bei der Reihenschaltung seinem Nachbarn nur eine Hand.



12 Reihenschaltung

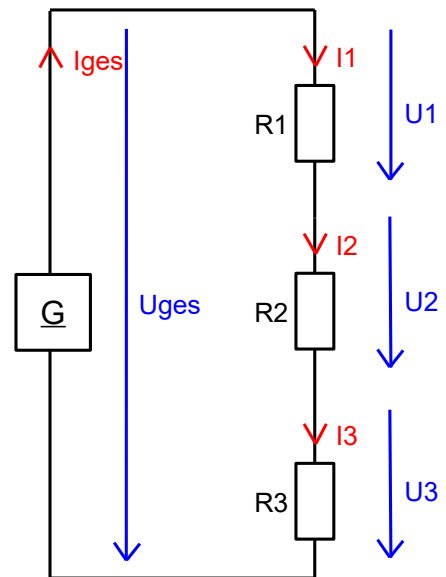
12.1 Reihenschaltung von 3 Verbrauchern

$R_1 = 330 \Omega$ $R_2 = 470 \Omega$ $R_3 = 1000 \Omega = 1 \text{ k}\Omega$

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

- **Maximalen Strom am Netzteil auf 0,1 A einstellen:**
 CC-Taster gedrückt halten während mit Current-Regler 0,1 A eingestellt wird.
- **Maximale Spannung am Netzteil 10V**
- **Netzteil-Ausgänge + und - verwenden, nicht \perp**

Achtung! Niemals den Generator mit dem Strommesser kurzschließen!!!



Gleichspannungs-Generator (Labornetzteil) 3 Verbraucher

	Messwerte	Berechnungen
I_{ges} I_1 I_2 I_3		Folgerung:
$U_1 =$		$R_1 \cdot I_1 =$
$U_2 =$		$R_2 \cdot I_2 =$
$U_3 =$		$R_3 \cdot I_3 =$
$U_{ges} =$		$U_1 + U_2 + U_3 =$ Folgerung:

Spannungsversorgung von der Schaltung entfernen. Dann mit dem Multimeter den Gesamtwiderstand der Schaltung messen:

$R_{ges} =$		$U_{ges}/I_{ges} =$
-------------	--	---------------------

12.2 Gesetze der Reihenschaltung

U_{ges} Gesamtspannung

U_1, U_2, U_3 Teilspannungen

R_{ges} Gesamtwiderstand

R_1, R_2, R_3 Einzelwiderstände

$$U_{ges} = U_1 + U_2 + U_3$$

Die Einzelspannungen addieren sich zur Gesamtspannung.

$$I_{ges} = I_1 = I_2 = I_3$$

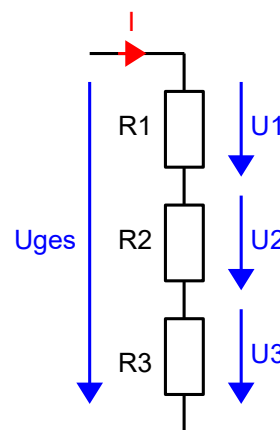
Durch jeden Widerstand fließt der selbe Strom I .

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + R_3$$

Die einzelnen Widerstände addieren sich zum Gesamtwiderstand.

$$P_{ges} = P_1 + P_2 + P_3$$

Die Einzelleistungen addieren sich zur Gesamtleistung.



Elektrotechnische Denkweisen:

- Der Strom fließt von oben nach unten durch alle Widerstände.
- Dabei „sieht“ der Strom stets den Gesamtwiderstand und nicht nur den ersten Widerstand.
- Die einzelnen Widerstände addieren sich zum Gesamtwiderstand.
- Die Größe des Stromes berechnet man mit der Gesamtspannung und dem Gesamtwiderstand.
- Die Größe der an den Widerständen abfallenden Spannung richtet sich nach der Größe des Widerstandes.
- Die Summe der einzelnen Spannungen ergibt die Gesamtspannung.
- Am größten Widerstand fällt die größte Spannung ab.

$$I_{ges} = \frac{U_{ges}}{R_{ges}}$$

$$U_R = R \cdot I_R$$

Beispiel Reihenschaltung von 3 Widerständen:

gegeben: $U_{ges} = 10V, R_1 = 100\Omega, R_2 = 220\Omega, R_3 = 82\Omega$

gesucht: $I_{ges}, R_{ges}, U_1, U_2, U_3$

Um I_{ges} angeben zu können, muss zunächst R_{ges} berechnet werden.

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + R_3 = 100\Omega + 220\Omega + 82\Omega = \underline{402\Omega}$$

I_{ges} wird durch U_{ges} und R_{ges} bestimmt:

$$I_{ges} = \frac{U_{ges}}{R_{ges}} = \frac{10V}{402\Omega} = 0,02488 A = \underline{24,88mA}$$

U_1, U_2, U_3 werden von der Größe der jeweiligen Widerstände bestimmt.

Der Strom in der Reihenschaltung ist überall gleich groß, daher gilt $I_{ges} = I_1 = I_2 = I_3$

$$U_1 = R_1 \cdot I_1 = 100\Omega \cdot 24,88mA = 2488mV = \underline{2,49V}$$

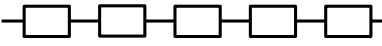
$$U_2 = R_2 \cdot I_2 = 220\Omega \cdot 24,88mA = 5474mV = \underline{5,47V}$$

$$U_3 = R_3 \cdot I_3 = 82\Omega \cdot 24,88mA = 2040mV = \underline{2,04V}$$

Probe: $U_1 + U_2 + U_3 = 10V$ (richtig!)

12.3 Beispiele für die Reihenschaltung

12.3.1 „Klassische“ Weihnachts-Lichterkette

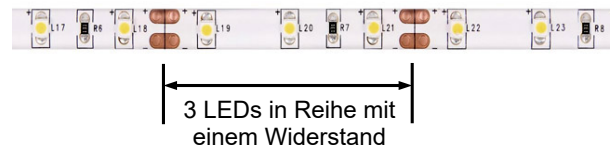
Alle Lampen sind in Reihe geschaltet. Wenn man eine Lampe aus der Fassung dreht, gehen alle Lampen aus, weil 

Für welche Spannung müssen die 20 Lampen einer Weihnachtskette ausgelegt sein, wenn die Reihenschaltung an 230V angelgt wird?

12.3.2 LED-Weihnachtskette und 12V-LED-Band

Bei Weihnachtsketten mit LEDs sind häufig mehrere LEDs in Reihe geschaltet, z.B. 3 Stück. Diese Viererketten sind dann parallel geschaltet, um z.B. mit einem 12V-Netzteil versorgt zu werden.

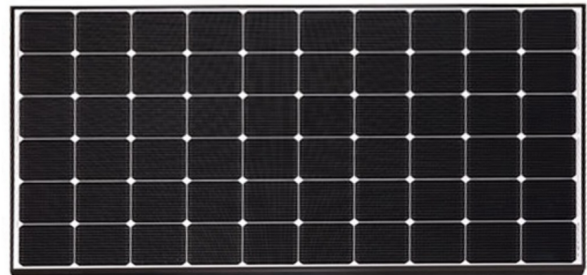
Die gleiche Schaltung findet man bei LED-Bändern



12.3.3 Solarmodul

Das nebenstehende Solarmodul besteht aus 60 in Reihe geschalteten Solarzellen. Laut Datenblatt liefert es bei maximaler Beleuchtung eine Gesamtspannung von 41 V wenn keine Verbraucher angeschlossen ist (Leerlauf).

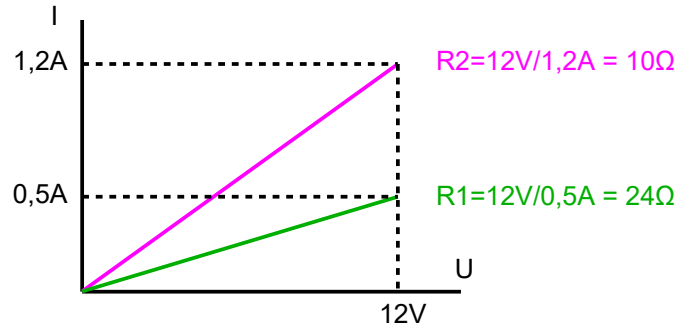
Berechne die Leerlaufspannung einer Solarzelle.



12.4 Grafische Ermittlung der Größen in einer Reihenschaltung

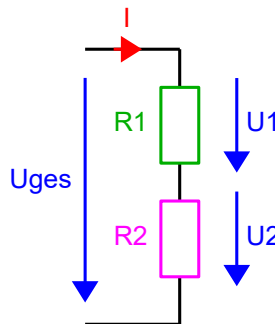
Diese Verfahren benötigen wir später, wenn einer der Verbraucher eine nichtlineare Kennlinie (keine Gerade) besitzt. Daher ist es sinnvoll, es bereits an einem einfachen Beispiel zu verstehen.

Zwei Widerstände R_1 und R_2 besitzen die nebenstehenden Kennlinien.



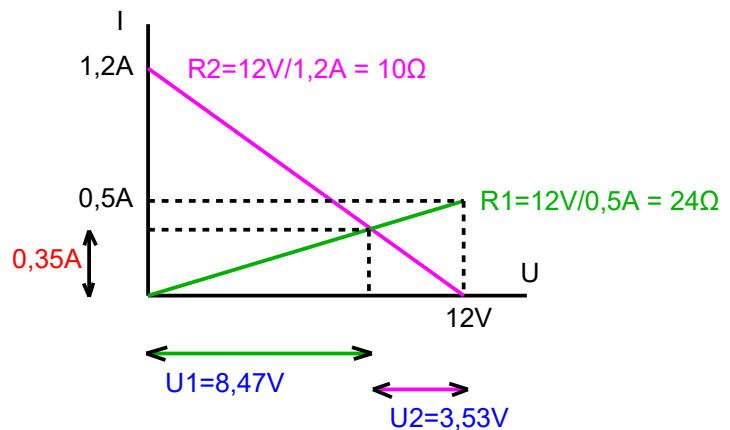
Die Widerstände werden in Reihe an eine Gesamtspannung von 12V gelegt.

Gesucht ist der Gesamtstrom und die Einzelspannungen.



Die Kennlinie des einen Widerstandes wird „gespiegelt“ aufgetragen und ist durch 2 Punkte bestimmt:

- 1) Schnittpunkt mit der U-Achse bei $U_{ges} = 12V$
- 2) Schnittpunkt mit der I-Achse bei dem Strom, der fließen würde, wenn man den Widerstand an 12V anlegt



Den Schnittpunkt beider Kennlinien nennt man Arbeitspunkt: Der fließende Strom und die Einzelspannungen an den Widerständen können abgelesen werden.

Dieses Verfahren kommt vor Allem bei Bauteilen zum Einsatz, deren Kennlinien keine Geraden („nichtlinear“) sind, z.B. Diode, LED, Transistor, Solarzelle.

12.5 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

$$A = 1,5 \text{ mm}^2 \text{ und den spezifischen Widerstand von } \rho_{\text{Cu}} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} .$$

- 12.5.1 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.

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

Ohne Verlängerungskabel:

Mit Verlängerungskabel:

$$R_{1\text{Leitung}} =$$

$$P_{\text{Grill}} = U_{\text{Nenn}} \cdot I = \frac{U_{\text{Nenn}}^2}{R_{\text{Grill}}} \rightarrow R_{\text{Grill}} =$$

$$R_{\text{Ges}} =$$

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

$$P = U \cdot I = R \cdot I^2 \rightarrow P_{1\text{Leitung}} =$$

$$P_{\text{Grill}} =$$

$$P_{\text{Ges}} =$$

Andere Möglichkeit: $P_{\text{Ges}} = U_{\text{Ges}} \cdot I_{\text{ges}} =$

- 12.5.4 Berechne den Wirkungsgrad des „Systems Verlängerungskabel“

12.6 Messtechnische Untersuchung eines Potenziometers

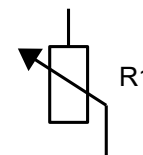
Schließen Sie das Multimeter im Modus Widerstandsmessung wie im Folgenden dargestellt an ein Potenziometer an. Drehen Sie am Einstellknopf jeweils langsam von ganz links (oben) nach ganz rechts (unten) und beobachten Sie die Anzeige.

	Gesamtwiderstand	oberer Teilwiderstand	unterer Teilwiderstand
Aufdruck auf dem verwendeten Potenziometer: Ω			
Schleifer oben			
Schleifer Mitte			
Schleifer unten			

Erkenntnisse:

12.7 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.

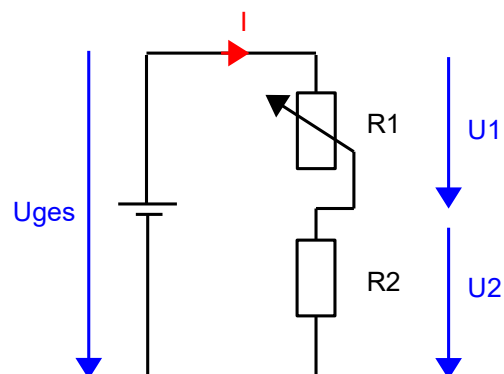


12.7.1 Beispiel: Man verwendet ein Potenziometer mit dem aufgedruckten Widerstandswert 100 Ω . Stellt man den Schleifer nun in Mittelstellung, so besitzt das Poti zwischen dem oberen Anschluss und dem Schleiferanschluss einen Widerstandswert von 50 Ω .

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

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

12.7.3 Welcher Gesamtstrom fließt?



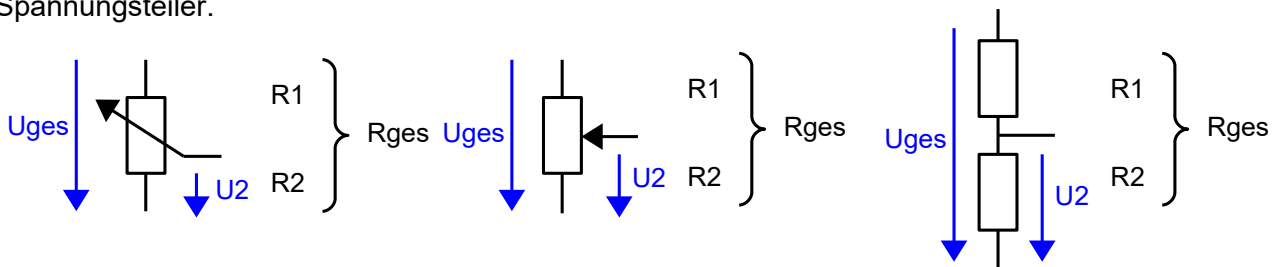
12.7.4 Berechnen Sie die Größe der Spannungen U1 und U2.

12.8 Potenziometer als Spannungsteiler

Es sind 2 Darstellungsarten eines Potenziometers abgebildet. Man kann sich ein Poti ersatzweise vorstellen als die Reihenschaltung zweier Einzelwiderstände, wobei der Schleiferabgriff zwischen den beiden Widerständen erfolgt.

Ein Potenziometer kann man als Spannungsteiler verwenden.

Zwischen dem oberen und dem unteren Anschluss liegt die Gesamtspannung. Zwischen dem Schleifer und dem unteren Anschluss liegt nun nur ein Teil der Gesamtspannung, daher der Name Spannungsteiler.



Übung zum Spannungsteiler:

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

12.8.1 Poti in Mittelstellung: Berechnen Sie U_2 .

12.8.2 Poti in Stellung $R_2 = 1/3 R_{ges}$: Berechnen Sie U_2 .

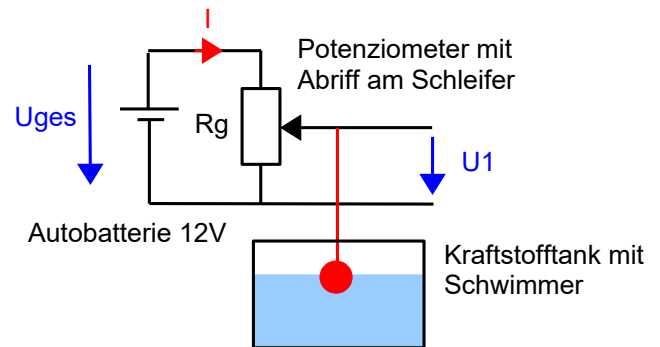
12.8.3 Poti in Stellung $R_2 = 1/4 R_{ges}$: Berechnen Sie U_2 .

12.9 Elektrische Tankanzeige mit Potenziometer

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

Das Bild zeigt das Prinzip der elektrischen Füllstandsanzeige.

12.9.1 Erklären Sie die Funktionsweise.



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

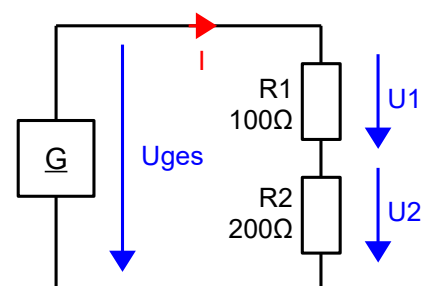
12.9.3 Skizzieren Sie die Kennlinie dieser Anordnung. Spannung = f (Kraftstoffmenge)
Zeichnen Sie Zahlenwerte ein.

12.9.4 Geben Sie die Funktionsgleichung an.

12.10 Stromkreisdanken

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

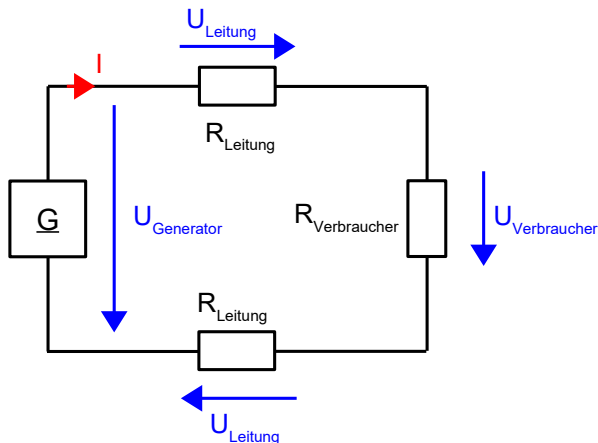
12.10.2 An welchem Widerstand fällt die größere Spannung ab?



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

12.10.4 Welcher Widerstand gibt mehr Wärme ab?

12.11 Ersatzschaltbild Leitungswiderstand



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

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

12.11.2 Vergleichen Sie die Größen vom $U_{\text{Generator}}$ und vom $U_{\text{Verbraucher}}$.

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

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

Learning-Apps Stromkreis

<https://learningapps.org/3074406>

13 Übungen Reihen- und Parallelschaltungen

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

13.1 Reihenschaltung

$$R1 = 2 \text{ k}\Omega, R2 = 5 \text{ k}\Omega,$$

$$U_{R1} = 2 \text{ V}$$

Gesucht:

$$I_{R2} = \quad \text{mA}$$

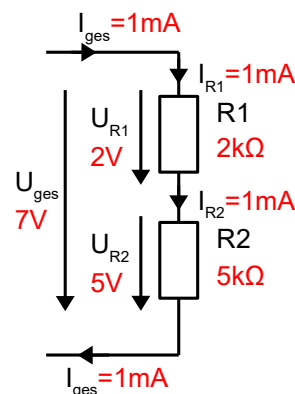
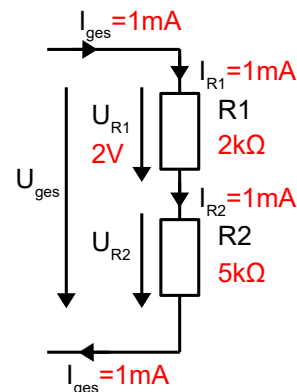
$$U_{\text{ges}} = \quad \text{V}$$

$$P_{\text{ges}} = \quad \text{mW}$$

Skizze:

Lösungsweg (Muster)

- 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 R2 ist I und R gegeben \rightarrow U berechnen
$$U_{R2} = R2 \cdot I_{R2} = 5 \text{ k}\Omega \cdot 1 \text{ mA} = 5 \text{ V} \rightarrow$$
 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
$$P1 = U_{R1} \cdot I_{R1} ; P2 = U_{R2} \cdot I_{R2} \rightarrow P_{\text{ges}} = P1 + P2$$
- 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 **zusammen gehörenden Größen** eintragen,
z.B. $U1 = R1 \cdot I1$ und $U_{\text{ges}} = R_{\text{ges}} \cdot I_{\text{ges}}$**



Ergebnisse:

$$I_{R2} = 1 \quad \text{mA}$$

$$U_{\text{ges}} = 7 \quad \text{V}$$

$$P_{\text{ges}} = 7 \quad \text{mW}$$

13.2 Parallelschaltung

$R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$,
 $I_{R1} = 2 \text{ mA}$

Skizze:

Gesucht: $U_{\text{ges}} = \text{V}$
 $I_{R2} = \mu\text{A}$
 $P_{\text{ges}} = \text{mW}$

Lösungsweg:

13.3 Reihenschaltung

$R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$,
 $U_{\text{ges}} = 10 \text{ V}$

Skizze:

Gesucht: $I_{\text{ges}} = \text{mA}$
 $U_1 = \text{V}$
 $P_{\text{ges}} = \text{mW}$

Lösungsweg:

13.4 Parallelschaltung

$R_1 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$,
 $U_{\text{ges}} = 10 \text{ V}$

Skizze:

Gesucht: $R_{\text{ges}} = \text{k}\Omega$
 $I_{\text{ges}} = \text{mA}$
 $P_{\text{ges}} = \text{mW}$

Lösungsweg:

13.5 Parallelschaltung zweier Lampen im Nennbetrieb

Nenndaten 6V / 2,4W und 6V / 0,1A

Skizze:

Gesucht: Werte im Nennbetrieb: R1, R2, Rges, Iges

Lösungsweg:

13.6 Lampe mit Vorwiderstand

Nenndaten Lampe: 4V / 1W

6V-Spannungsquelle

Gesucht: Wert des Vorwiderstandes, so das die Lampe an der gegebenen Spannungsquelle mit ihren Nenndaten betrieben werden kann.

$R_{\text{Vor}} = \quad \Omega$

Lösungsweg:

Skizze:

13.7 Reihenschaltung zweier Lampen

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 im Nennbetrieb, Iges, U1 und U2.

Lösungsweg:

Skizze:

13.8 Reihenschaltung mit 2 Widerständen.

Es gilt: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$ und $\frac{U_{ges}}{U_2} = \frac{R_{ges}}{R_2}$ und allgemein:

„Die Spannungen verhalten sich in der Reihenschaltung wie die Widerstände“.

Gesucht: Zeige die Gültigkeit dieser Formeln.

Hinweis: Je Formel für U1 und U2 angeben,
 dann U1 durch U2 teilen.

Lösungsweg:

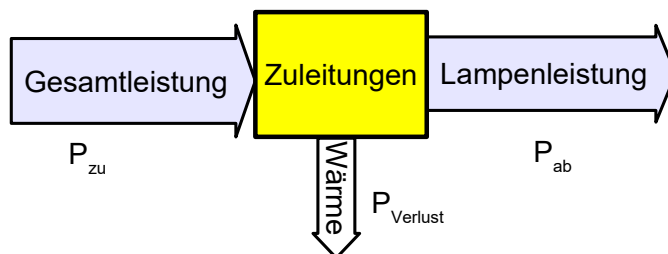
Skizze:

13.9 Verbraucher mit langer, „dünner“ Zuleitung

Eine Halogenlampe 12V/50W wird fälschlicherweise an eine 10m lange 2-adrige Kupfer-Leitung mit einem Querschnitt von $2 \times 0,5 \text{ mm}^2$ angeschlossen ($\rho_{Cu} = 17,8 \cdot 10^{-3} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$). Skizze!!!

13.9.1 Erklären Sie mithilfe der unten aufgeführten Größen, warum die Lampe nicht die gewünschte Helligkeit erreicht.

(12V-Halogenbeleuchtungen mit werden mit $2 \times 2,5 \text{ mm}^2$ -Leitungen geliefert....)



Gesucht:

Skizze:

R_{Lampe}

$R_{1Leitung}$

R_{ges} (Leitungen + Lampe)

I_{ges}

U_{Lampe}

P_{Lampe}

13.9.2 Berechnen Sie den Wirkungsgrad dieses Systems!

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 1 km 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:

$$R_{\text{Stahl}} = \rho_{\text{Stahl}} \cdot \frac{l}{A_{\text{Stahl}}} =$$

Widerstand des Aluminiummantels

$$R_{\text{Alu}} = \rho_{\text{Alu}} \cdot \frac{l}{A_{\text{Alu}}} =$$

Gesamtwiderstand der Hochspannungsleitung
 = Parallelschaltung des Stahlkerns und Aluminiummantels

Skizze der Widerstände:

$$\frac{1}{R_{\text{Ges}}} = \frac{1}{R_{\text{Stahl}}} + \frac{1}{R_{\text{Alu}}} \rightarrow R_{\text{Ges}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{Stahl}}} + \frac{1}{R_{\text{Alu}}}} =$$

Masse des Stahlkerns

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

$$m_{\text{Stahl}} = \rho_{\text{Stahl}} \cdot A_{\text{Stahl}} \cdot l =$$

Masse des Aluminiummantels:

$$m_{\text{Alu}} = \rho_{\text{Alu}} \cdot A_{\text{Alu}} \cdot l =$$

Gesamtmasse: $m_{\text{ges}} = m_{\text{Stahl}} + m_{\text{Alu}} =$

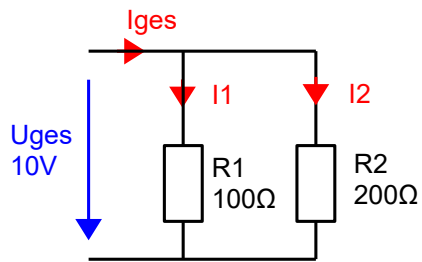
13.10.2 Wie verteilt sich der Gesamtstrom von 550A auf den Stahlkern und den Aluminiummantel?

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

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

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

13.11 Stromkreisdiken



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

13.11.2 Durch welchen Widerstand fließt der größere Strom?

13.11.3 Welcher Widerstand gibt mehr Wärme ab?

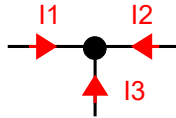
13.11.4 Schätzen Sie den Gesamtwiderstand durch Überlegung ab:
Liegt R_{ges} in der Größenordnung 300Ω , 150Ω oder 70Ω ?

14 Knoten- und Maschenregel

14.1 Knotenregel

Das Zusammentreffen mehrerer elektrischer Leitungen wird als Knoten bezeichnet

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$



Alle Pfeile zeigen in Richtung des Knotens !

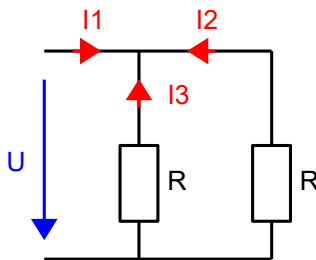
Die Summe der auf einen Knoten zufließenden Ströme ist Null.

Parallelschaltung, gezeichnet für die Knotenregel:

$$I_1 = 100\text{mA}$$

$$I_2 = -50\text{mA}$$

$$I_3 = -50\text{mA}$$



Die Ströme I_2 und I_3 sind negativ, da sie in Richtung der Widerstände fließen!

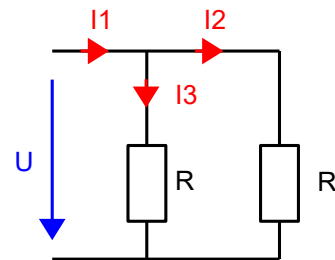
Eingesetzt in die Knotenregel:
 $100\text{mA} - 50\text{mA} - 50\text{mA} = 0$

Parallelschaltung mit Pfeilen in Richtung des Stromes

$$I_1 = 100\text{mA}$$

$$I_2 = 50\text{mA}$$

$$I_3 = 50\text{mA}$$



Wenn man die Knotenregel anwendet, muss man beachten, dass man I_2 und I_3 negativ einsetzt, da die gezeichnete Pfeilrichtung entgegen der Pfeilrichtung in der Knotenregel ist:
 $100\text{mA} - 50\text{mA} - 50\text{mA} = 0$

14.2 Maschenregel

$$U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = 0$$

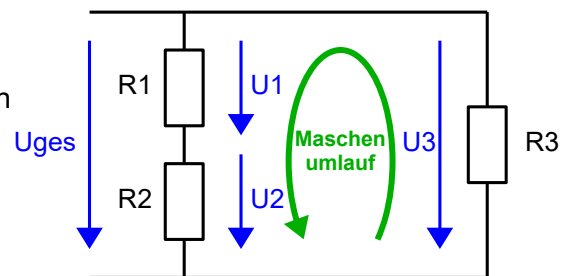
Alle Teilspannungen beim Umlauf in einer elektrischen Masche addieren sich zu Null.

Spannungen in Pfeilrichtung werden positiv gezählt, Spannungen entgegen der Pfeilrichtung werden negativ gezählt.

Beispiel:

$$U_1 = 6\text{V}, U_2 = 4\text{V}, U_3 = U_{\text{ges}} = 10\text{V}$$

Maschenregel anwenden: U_1 und U_2 zeigen in Richtung des Maschenpfeils \rightarrow positiv
 U_3 zeigt gegen die Richtung des Maschenpfeils \rightarrow negativ
 $\rightarrow 6\text{V} + 4\text{V} - 10\text{V} = 0$

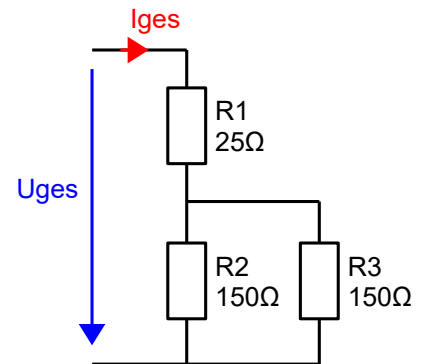


15 Berechnung gemischter Schaltungen

Wenn man die Größe des Gesamtstroms in der unten stehenden Schaltung berechnen möchte, muss man zunächst den Gesamtwiderstand der Schaltung berechnen.

15.1 Gesamtwiderstand (Muster)

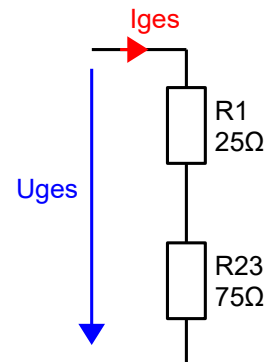
1. Kleinste Schaltung suchen, die eine reine Reihen- oder Parallelschaltung ist.
 Dies ist hier die Parallelschaltung von R2 und R3.
2. Die kleinste Teil-Schaltung zusammenfassen zu einem Widerstand:



3.
$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{150\Omega} + \frac{1}{150\Omega}$$

$$R_{23} = 75\Omega$$

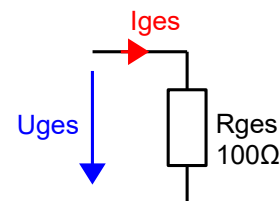


4. Die sich ergebende reine Reihen- oder Parallelschaltung zur nächst größeren Schaltung zusammenfassen.

Hier: Reihenschaltung aus R1 und R23.

$$R_{ges} = R_1 + R_{23}$$

$$\mathbf{R_{ges} = 25\Omega + 75\Omega = 100\Omega}$$



15.2 Berechnung der einzelnen Ströme und Spannungen (Muster)

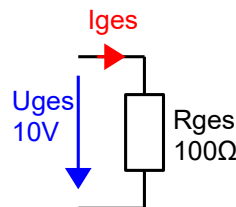
Gegeben: $U_{ges} = 10V$

Berechnung von der vereinfachten zur Ausgangsschaltung in Teilschritten.

1. Berechnung des Gesamtstromes.

$$I_{ges} = \frac{U_{ges}}{R_{ges}}$$

$$I_{ges} = \frac{10V}{100\Omega} = 0,1 A = 100mA$$



2. $I_{ges} = I_1 = I_{23}$ da Reihenschaltung

$$U_1 = R_1 * I_1 = 25\Omega * 100mA = 2500mV = 2,5V$$

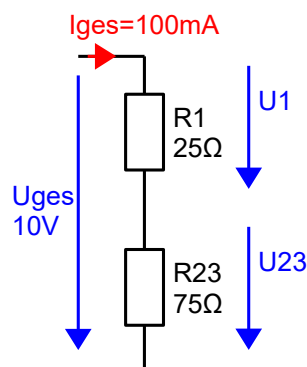
$$U_{23} = R_{23} * I_{23} = 75\Omega * 100mA$$

$$U_{23} = 7500mV = 7,5V$$

alternative Berechnung:

$$U_{ges} = U_1 + U_{23}$$

$$\rightarrow U_{23} = U_{ges} - U_1 = 10V - 2,5V = 7,5V$$



3. $U_{23} = U_2 = U_3$ da Parallelschaltung
 Der Strom $I_{ges} = I_2$ teilt sich auf in I_2 und I_4

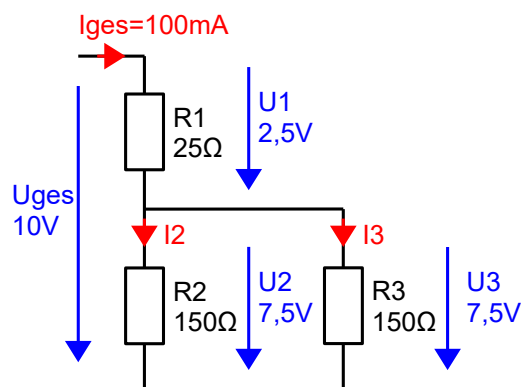
$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{7,5V}{150\Omega} = 0,05 A = 50mA$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{7,5V}{150\Omega} = 0,05 A = 50mA$$

alternative Berechnung:

$$I_{ges} = I_2 + I_3$$

$$\rightarrow I_3 = I_{ges} - I_2 = 100mA - 50mA = 50mA$$



Achtung: hier sind die Ströme I_2 und I_3 nur deshalb gleich, weil die Widerstände R_2 und R_3 gleich sind!

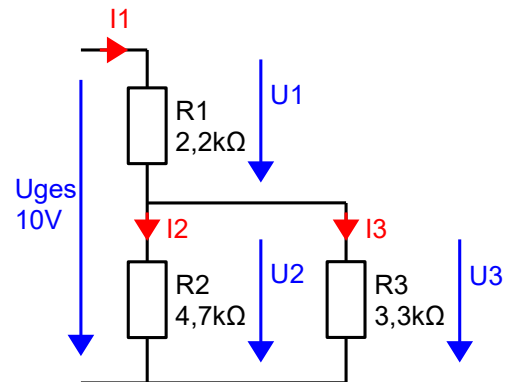
16 Übungen gemischte Schaltungen

16.1 Aufgabe Gemischt 1 (Labor)

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

U1=	I1=
U2=	I2=
U3=	I3=
R23 =	Rges =

Zeichne die Schaltungsvereinfachen mit allen Strömen und Spannungen (z.B. R23, U23, I23)

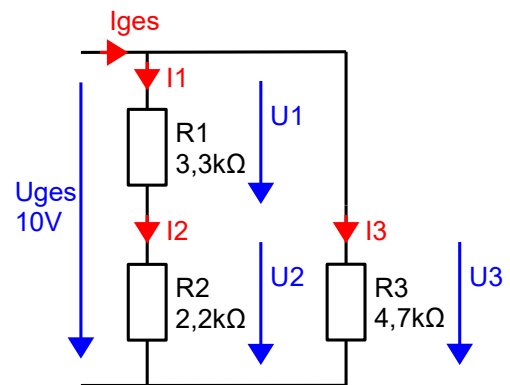


- b) Wie ändern sich I1 und U2, wenn zu R3 ein 1 kΩ-Widerstand parallel geschaltet wird? Messung und Begründung (Wirkungskette).

16.2 Aufgabe Gemischt 2 (Labor)

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

U1=	I1=
U2=	I2=
U3=	I3=
	Iges=



- b) Wie ändert sich I1 wenn man einen 1 kΩ-Widerstand in Reihe zu R1 und R2 schaltet?
Messung und Begründung (Wirkungskette)

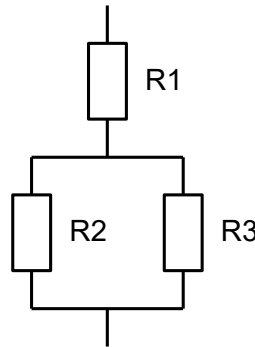
- c) Wie ändert sich I1 wenn man einen 1 kΩ-Widerstand parallel zu R3 schaltet?
Messung und Begründung (Wirkungskette).

16.4 Aufgabe Gemischt 4

- a) Welche 7 Gesamtwiderstandswerte lassen sich aus 1 bis 3 gleichen $1\text{k}\Omega$ -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 .

16.5 Aufgabe Gemischt 5

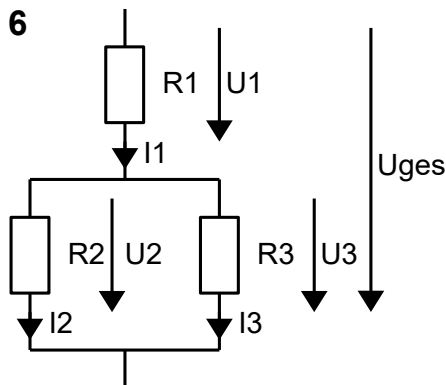
$R1 = 1 \text{ k}\Omega$
 $R2 = 2 \text{ k}\Omega$
 $R3 = 6 \text{ k}\Omega$
 $U_{ges} = 10 \text{ V}$



$R_{23} =$
 $R_{ges} =$
 $I1 =$
 $I2 =$
 $I3 =$
 $U1 =$
 $U2 =$
 $U3 =$

16.6 Aufgabe Gemischt 6

$I1 = 2 \text{ mA}$
 $I2 = 0,5 \text{ mA}$
 $R2 = 2 \text{ k}\Omega$
 $U_{ges} = 2 \text{ V}$



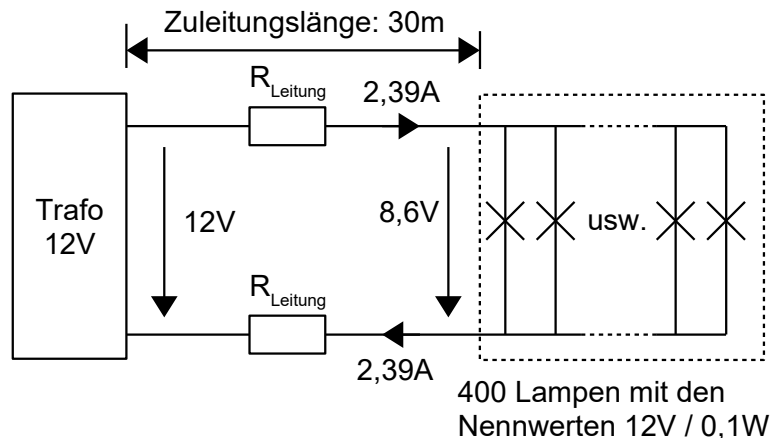
$R3 =$
 $R1 =$

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? $\rho_{\text{Cu}}=0,0178 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

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

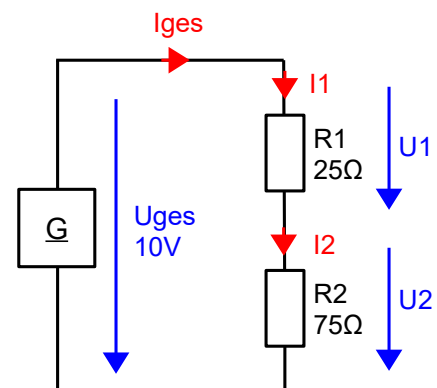
16.7.3 Welche Leistung geben alle Lampen zusammen ab?

- 16.7.4 Der Hobby-Elektriker ersetzt die 2-adrige Zuleitung durch eine andere mit einem Querschnitt von $2 \times 3\text{mm}^2$. (2 Adern mit je 3mm^2 Querschnittsfläche). Welche Leistungen geben jetzt die Lampen ab? (gesucht: P400Lampen und P1Lampe)
Achtung: Nur Uges und RLampe bleiben konstant!

16.8 Stromkreisdanken

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

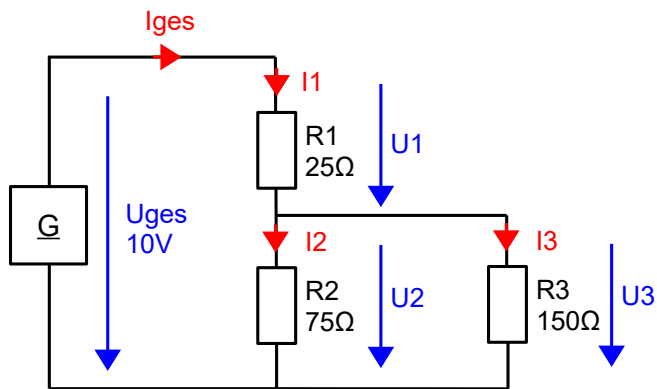
- 16.8.2 An welchem Widerstand fällt die größere Spannung ab?



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

- 16.8.4 Welcher Widerstand gibt mehr Wärme ab?

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



Es reicht, wenn bei den folgenden Antworten Wirkungsketten angegeben sind.

16.8.5 Wie ändert sich der Gesamtwiderstand?

16.8.6 Wie ändert sich der Gesamtstrom?

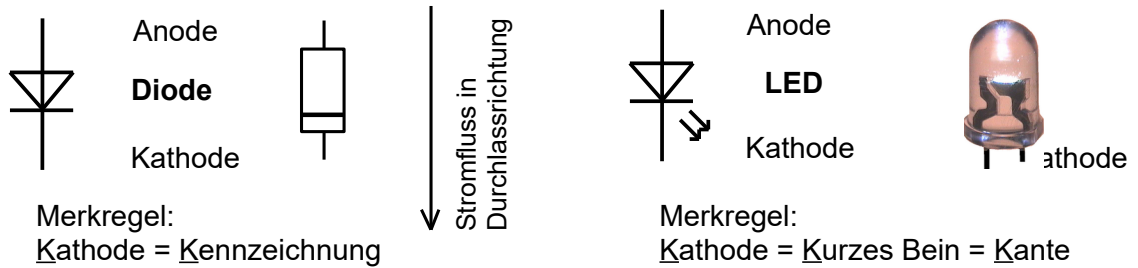
16.8.7 Wie ändert sich U_1 ?

16.8.8 Wie ändert sich U_2 ?

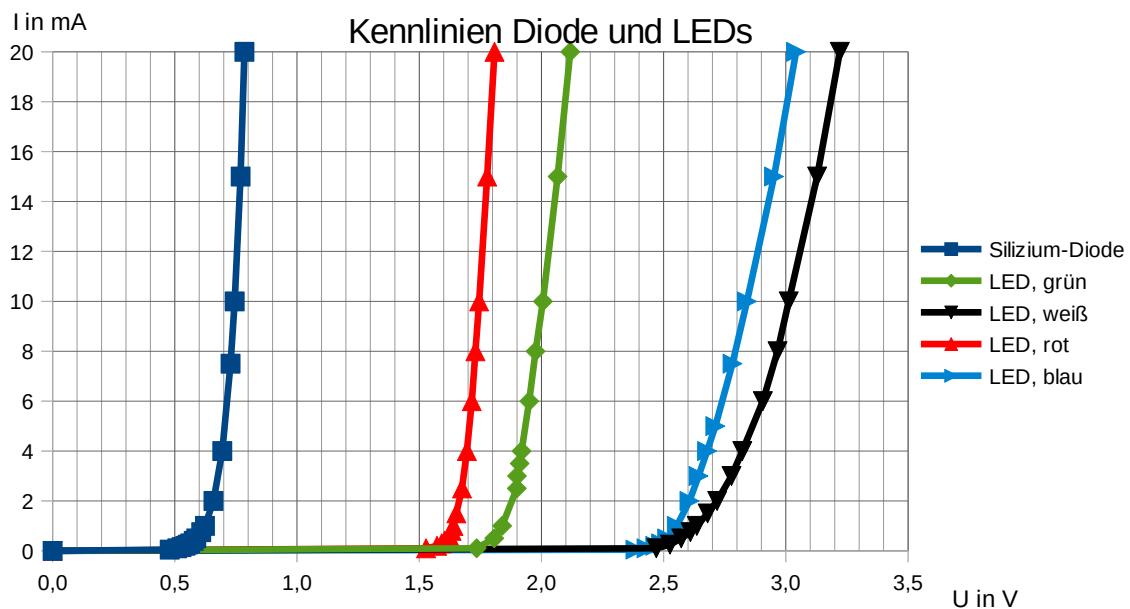
16.8.9 Was kann man über die Größenänderung (gegenüber 16.8.1) der Ströme I_1 , I_2 , I_3 sagen?

17 Dioden und LEDs

17.1 Schaltzeichen und Kennzeichnung der Anschlüsse

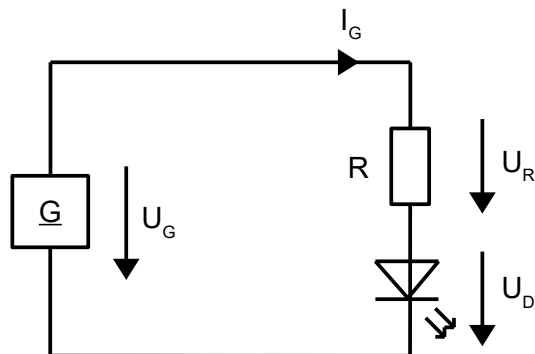


17.2 Kennlinien



17.3 Beschreibung der Kennlinien

17.4 Typische LED-Schaltung



17.5 Aufgabe des Vorwiderstandes

Eine LED kann man nicht ohne zusätzliche Maßnahmen direkt an einer Spannungsquelle betreiben. Man müsste die Größe der Spannung individuell an jede LED anpassen und die Spannung exakt konstant lassen, sonst ändert sich sofort der LED-Strom sehr stark.

In der Praxis werden z.B. sogenannte Konstantstromquellen verwendet, deren Strom unabhängig von der abgegebenen Spannung konstant ist. Solche Schaltungen benötigen jedoch eine Regelelektronik mit einer IC- oder Transistor-Schaltung.

Sehr einfach lässt sich der LED-Strom mithilfe eines Vorwiderstandes einstellen.

An diesem fällt die Differenzspannung zwischen Generatorspannung U_G und LED-Spannung U_D ab.

$$U_R = U_G - U_D$$

Der Vorwiderstand begrenzt zudem den LED-Strom.

17.6 Berechnung des Vorwiderstandes

Zunächst wählt man den LED-Strom, der die gewünschte Helligkeit erzeugt, z.B. $I_D = 10\text{mA}$.

Dieser Strom fließt auch durch den Widerstand. (Reihenschaltung).

In der Kennlinie liest man ab, dass an unserer roten LED bei 10mA eine Spannung von ca. $U_D = 1,7\text{V}$ abfällt.

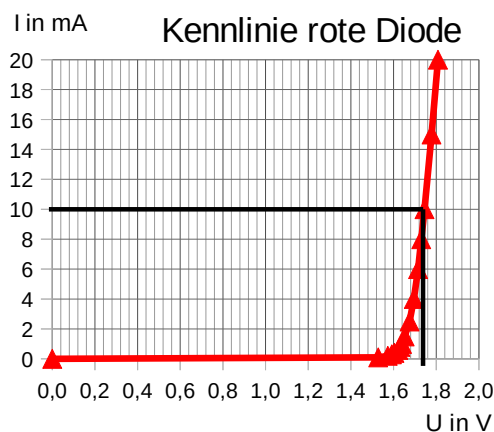
Die Größe des Widerstandes ergibt sich bei einer Gesamtspannung von 5V zu

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{(U_G - U_D)}{I_D} = \frac{(5\text{V} - 1,7\text{V})}{10\text{mA}} = 330\Omega$$

Die Genauigkeit der Angabe der LED-Spannung ist unkritisch.

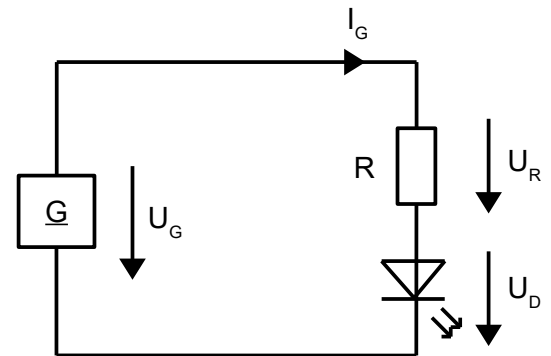
Rechnet man z.B. mit $U_D = 1,8\text{V}$, so erhält man für R

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{(5\text{V} - 1,8\text{V})}{10\text{mA}} = 320\Omega$$



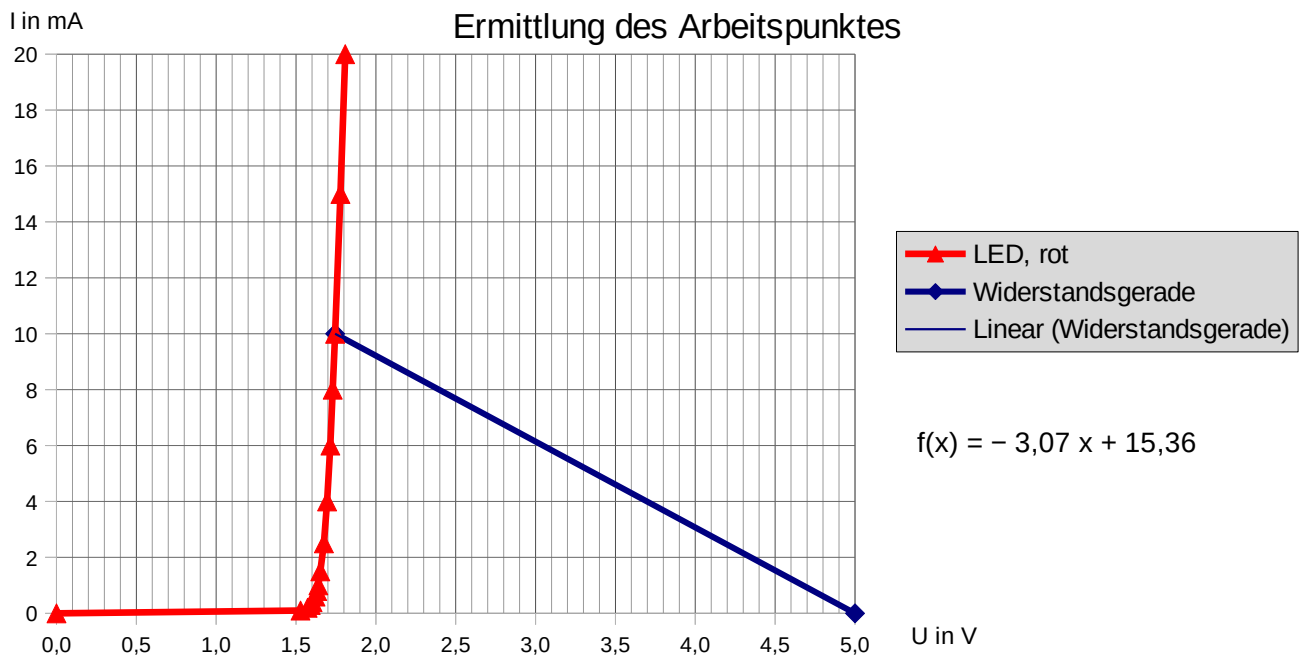
17.7 Grafische Ermittlung des Vorwiderstandes

- Gewünschten Strom I_G durch die LED wählen
 Die zugehörige Spannung an der LED ergibt sich aus der Kennlinie. Dieses Wertepaar nennt man Arbeitspunkt.
- Gerade durch den Arbeitspunkt und $U_G = 5V$ legen und bis zur Y-Achse extrapolieren.
 Dies ist die gespiegelte Kennlinie des Widerstands, sie wird Arbeitsgerade genannt.
- Strom bei $U=0V$ der Arbeitsgerade ablesen:
 $I = 15,4mA$
- Berechnung des Widerstands, den man für die Arbeitsgerade benötigt:
 (Betrag des Kehrwerts der Steigung der Arbeitsgeraden)



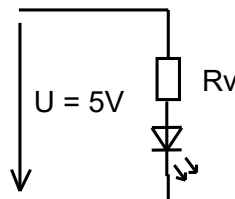
$$R = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| = \left| \frac{0V - 5V}{15,4mA - 0mA} \right| = 324 \Omega \quad \text{oder} \quad R = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| = \left| \frac{1,75V - 5V}{10mA - 0mA} \right| = 325 \Omega$$

Kontrolle: Steigung -3,07 → Betrag 3,07 → Kehrwert: $1 / 3,07 = 325 (\Omega)$



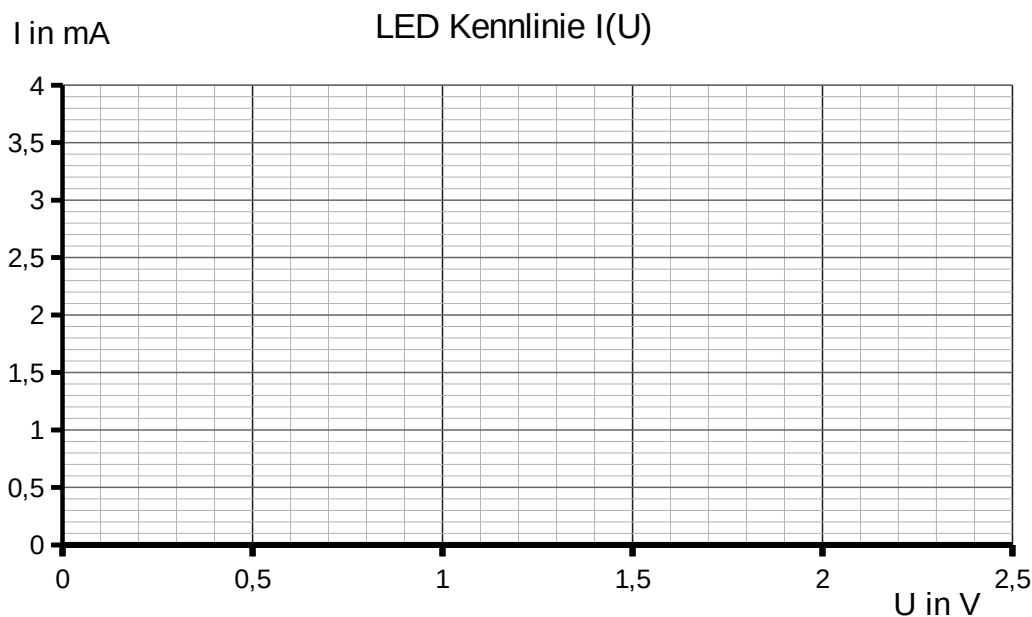
17.8 Übung: LED –Kennlinie und Arbeitsgerade

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 Gewählt wird ein LED-Strom von 2 mA. Berechnen Sie R_v .

Die Gesamtspannung schwankt manchmal. Wenn U_{ges} größer wird, steigt auch I , weil die Spannung am Widerstand steigt.

17.8.3 Ermitteln Sie, wie groß U_{ges} ist, wenn I auf 2,5 mA gestiegen ist.

17.8.4 Ermitteln Sie, wie groß U_{ges} ist, wenn I auf 1,5 mA gefallen ist.

17.9 Übung: Versuchsbeschreibung Kennlinienaufnahme

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

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.

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

Schaltung a)

Schaltung b)

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

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

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.)

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

17.12 High Power LEDs

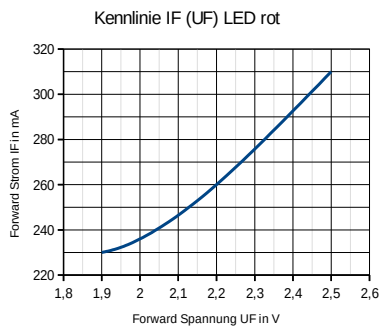


Abb 16.2: LED rot

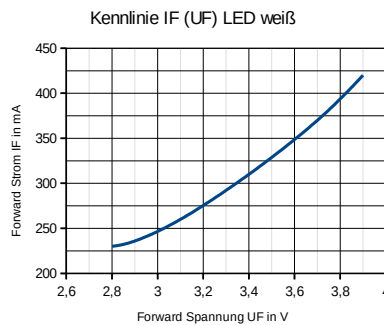


Abb 16.3: LED weiß



Abb 16.1: LED auf Aluplatine

Absolute Maximum Ratings ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Items	Symbol	Absolute Maximum Rating	Unit
Forward Current	IF	0.35	A
Peak Forward Current*	IFP	0.8	A
Reverse Voltage	VR	5	V
Power Dissipation	PD	1	W

Abb 16.4: Maximalwerte: LED nimmt Schaden, wenn einer der Werte überschritten wird.

Die abgebildete LED ist in verschiedenen Farben erhältlich. Die Kennlinien der roten und weißen LED sind dargestellt. Die Maximalwerte gelten für alle Farben und stellen ODER-Werte dar: Wenn einer der Maximalwerte überschritten wird, nimmt die LED dauerhaft Schaden. (Sie muss nicht unbedingt zerstört werden, aber die Lebensdauer sinkt dramatisch.)

17.12.1 Erklären Sie, warum die LED üblicherweise auf einem Kühlkörper montiert wird.

17.12.2 Begründen Sie, warum die weiße LED nicht mit 350 mA sondern mit maximal 300 mA betrieben werden darf.

Die maximal mögliche Anzahl **roter** LEDs werden in Reihe mit einem Widerstand an 12 V angeschlossen und mit 350 mA betrieben.

17.12.3 Skizzieren Sie die Schaltung und zeichnen Sie die fließenden Ströme und die anliegenden Spannungen ein.

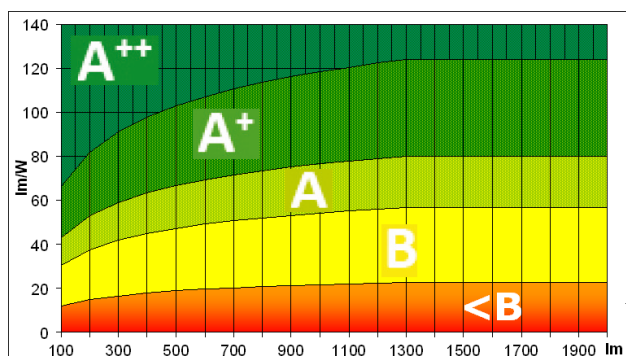
17.12.4 Berechnen Sie den Wert des Vorwiderstands, dessen Leistung und die Gesamtleistung.

Die maximal mögliche Anzahl **weißer** LEDs werden in Reihe mit einem Widerstand an 12 V angeschlossen und mit 300 mA betrieben.

17.12.5 Skizzieren Sie die Schaltung und zeichnen Sie die fließenden Ströme und die anliegenden Spannungen ein.

17.12.6 Berechnen Sie den Wert des Vorwiderstands, dessen Leistung und die Gesamtleistung.

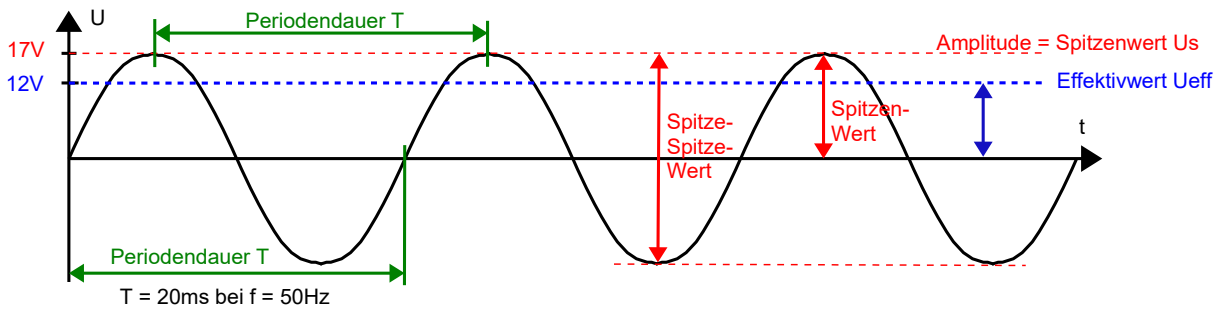
17.12.7 Eine weiße LED gibt bei 300 mA einen Lichtstrom von 110 lm ab. Ermitteln Sie, welche Energieverbrauchskennzeichnung die in 17.12.6 berechnete Lampe mit 3 LEDs erhält.



18 Diodenschaltungen

18.1 Sinusförmige Wechselspannung

18.1.1 Liniendiagramm und Kenngrößen



f Die **Frequenz** gibt an, wie oft sich die Kurve in 1 Sekunde wiederholt.

T Die **Periodendauer** ist die Zeitlänge nach der sich die Kurve wiederholt.

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Bei } f = 50 \text{ Hz} = 50 \cdot \frac{1}{\text{s}} \text{ wird } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \cdot \frac{1}{\text{s}}} = 20 \text{ ms}$$

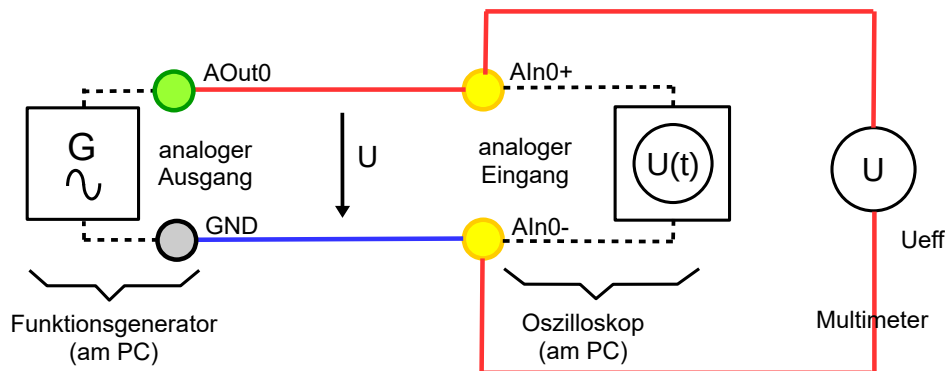
Spannungsmessung:

Am Oszilloskop liest man den **Spitzenwert** oder den Spitze-Spitze-Wert ab.

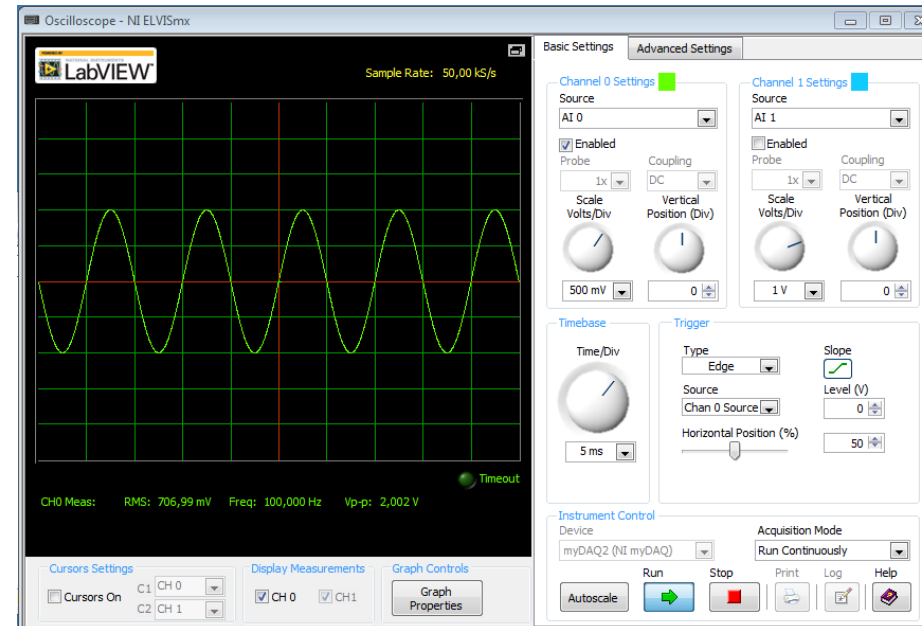
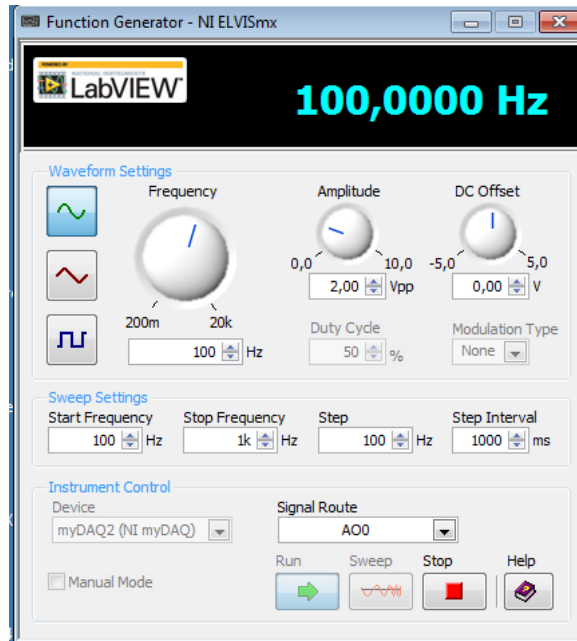
Das Multimeter zeigt **Effektivwerte** an.

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{Spitze}}}{\sqrt{2}}$$

18.1.2 Messungen mit Funktionsgenerator und Oszilloskop

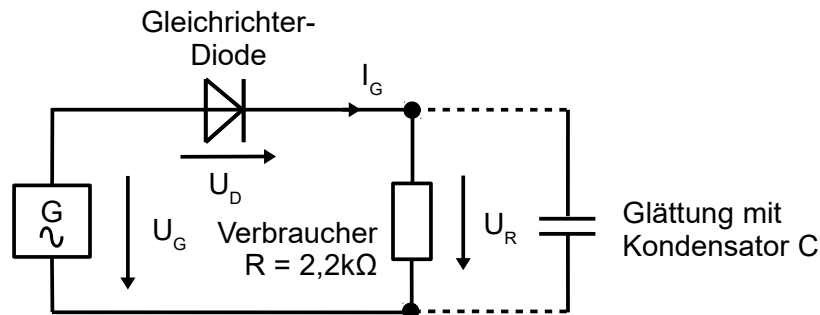


18.1.3 Bedienung Funktionsgenerator und Oszilloskop

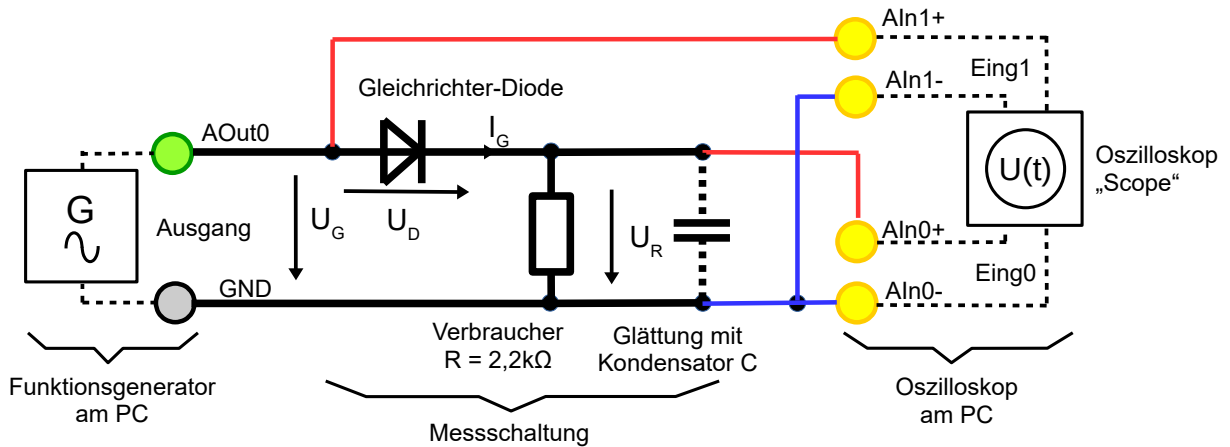


18.2 Diode an Wechselfspannung, Einweggleichrichter

18.2.1 Schaltung

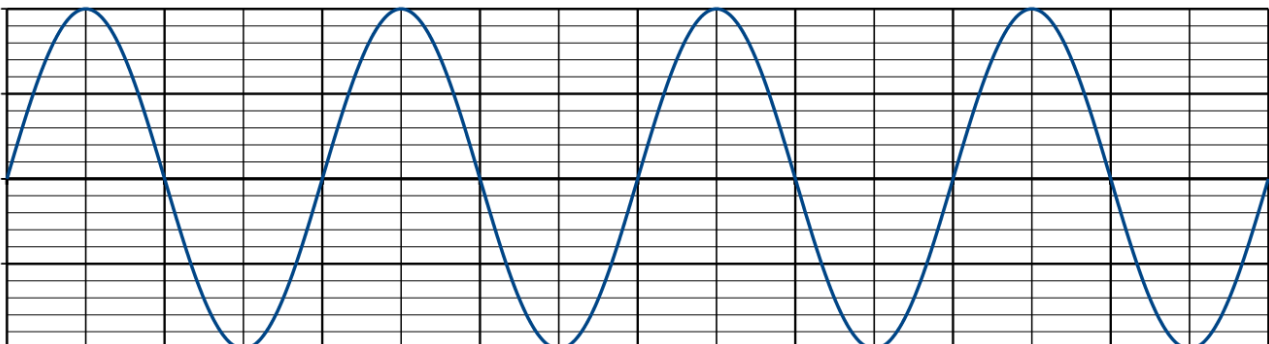


18.2.2 Schaltung, aufgebaut mit Funktionsgenerator und Oszilloskop am PC



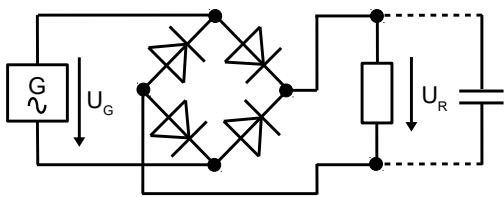
18.2.3 Skizzen der Oszillogramme mit Erklärungen

U_G , U_R ohne C , U_R mit C

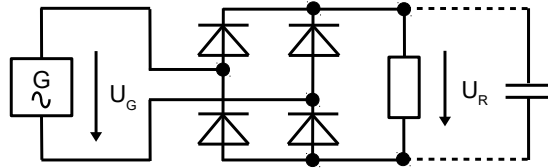


18.3 Zweiweg-Gleichrichter ohne / mit Glättungskondensator

18.3.1 Zwei Möglichkeiten, die Zweiweggleichrichter-Schaltung zu zeichnen

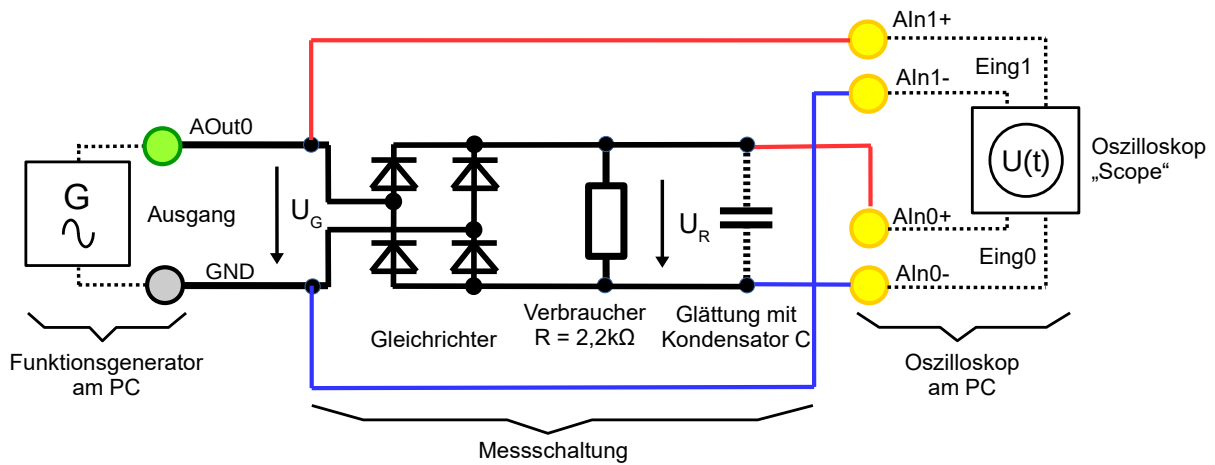


Zweiweg- Verbraucher Glättung mit
 Gleichrichter R = 2,2kΩ Kondensator C



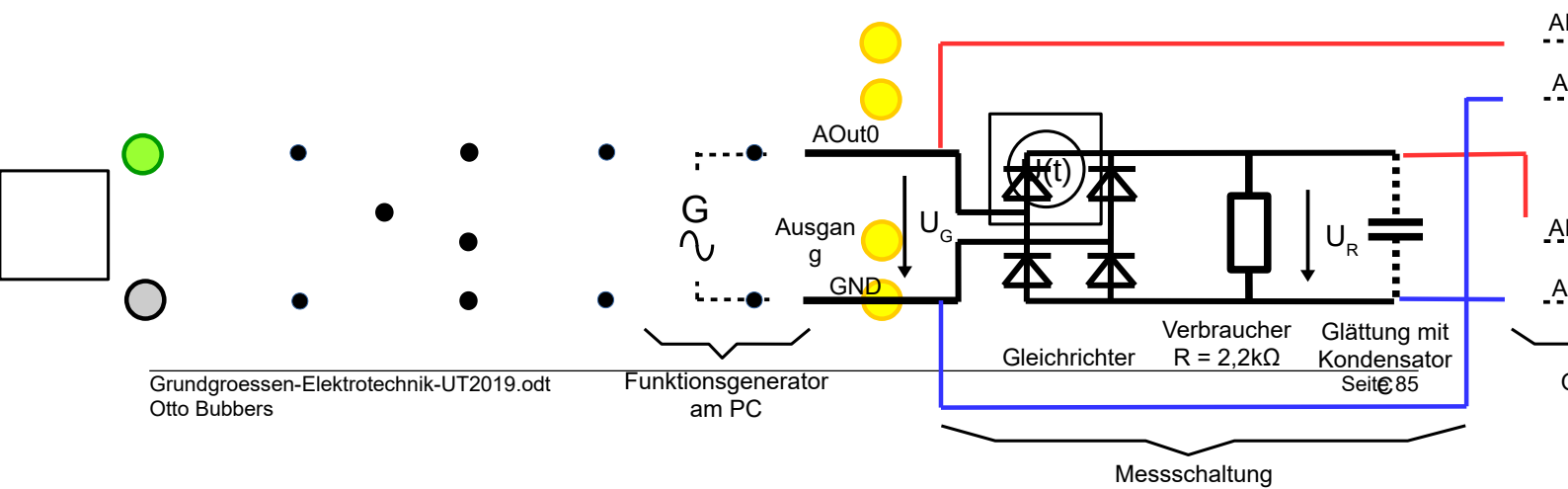
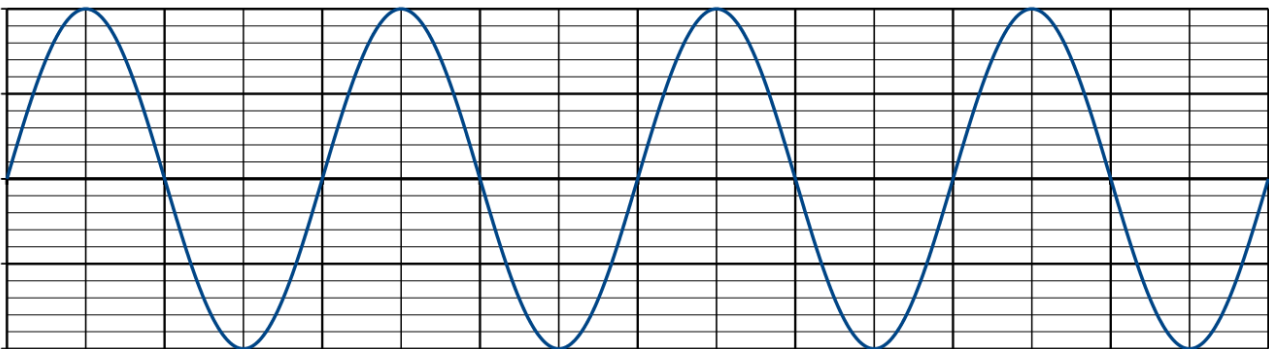
Zweiweg- Verbraucher Glättung mit
 Gleichrichter R = 2,2kΩ Kondensator C

18.3.2 Schaltung, aufgebaut mit Funktionsgenerator und Oszilloskop am PC



18.3.3 Skizzen der Oszillogramme mit Erklärungen

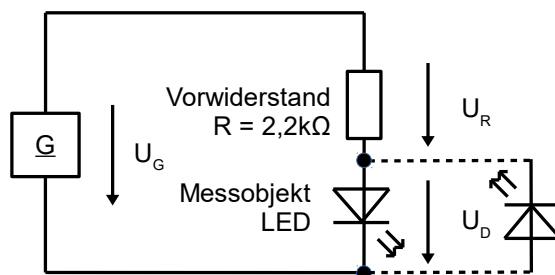
U_G , U_R ohne C, U_R mit C



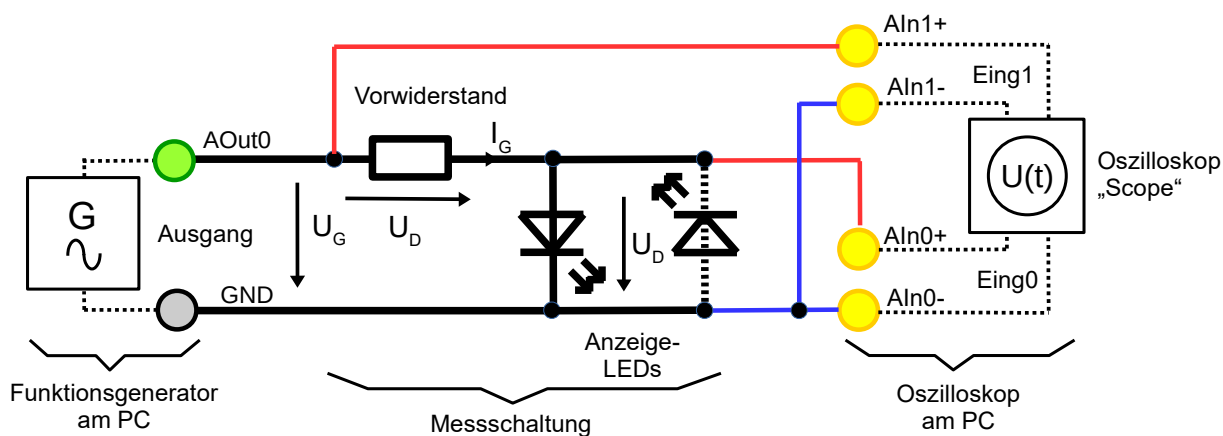


18.4 LED-Schaltung an Wechselspannung

18.4.1 Schaltung mit zwei „antiparallelen“ LEDs

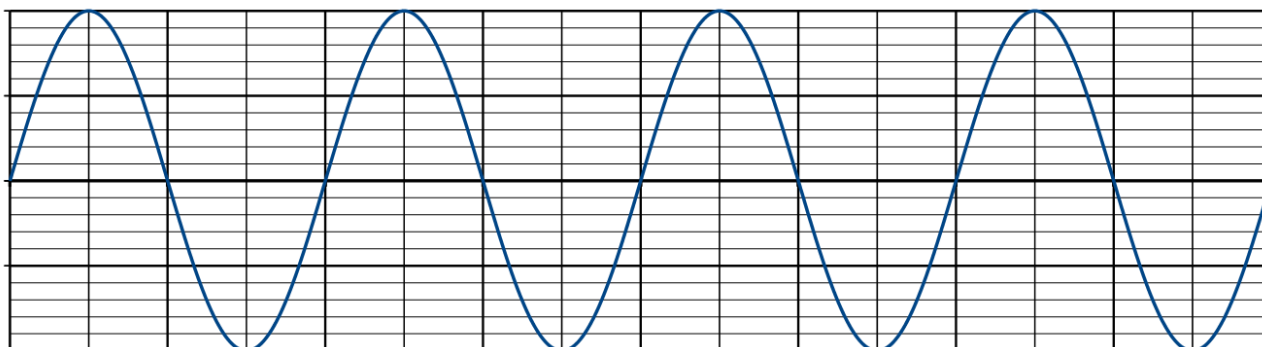


18.4.2 Schaltung, aufgebaut mit Funktionsgenerator und Oszilloskop am PC

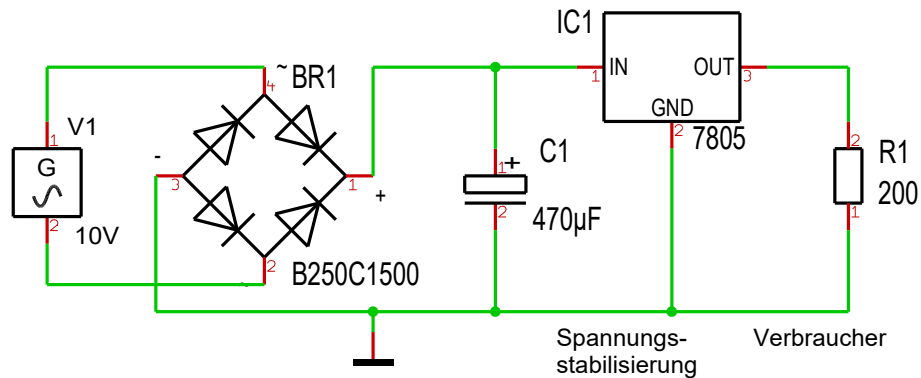


18.4.3 Skizzen der Oszillogramme mit Erklärungen

U_G , U_D nur mit 1LED, U_D mit beiden LEDs

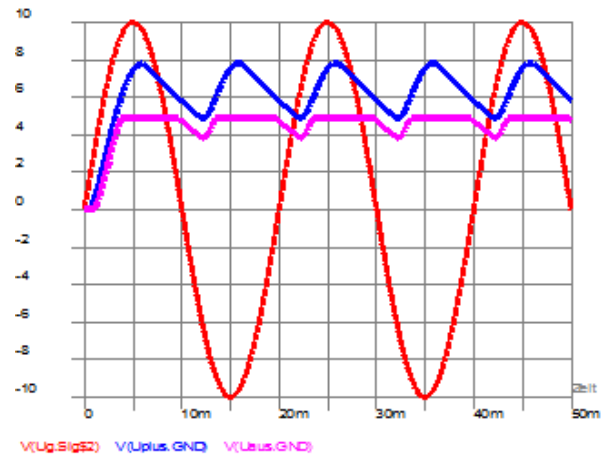
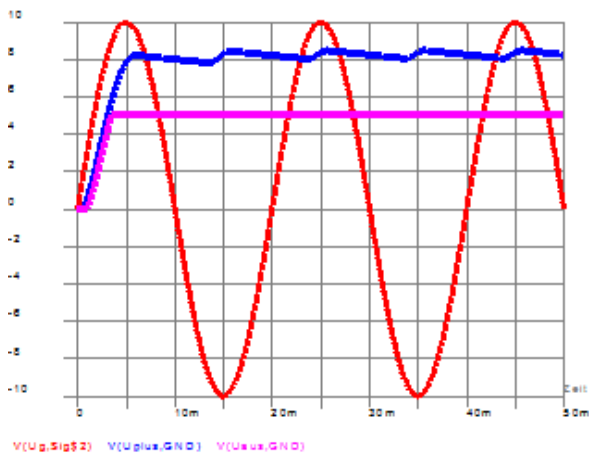


18.5 Zweiweggleichrichter mit Spannungsregler



Mit Verbraucher $R = 200\Omega$

mit Verbraucher $R = 20\Omega$



- Zur Spannungsstabilisierung verwendet man oft Spannungsregler wie das IC 7805
- Spannungsregler gibt es z.B. für 3,3V, 5V, 9V, 12V Ausgangsspannungen.
- Die Spannung am Eingang des Spannungsreglers muss mindestens 1V größer sein als die Ausgangsspannung (5V), sonst funktioniert die Regelung nicht.

19 Übungen Diode und LED

Learning Apps: <https://learningapps.org/display?v=p7umshnij17>

19.1 Einweggleichrichter

19.1.1 Skizzieren Sie eine Schaltung, die aus einer Wechselspannung (Effektivwert 9 V) eine 5V-Gleichspannung erzeugt.

19.1.2 Erklären Sie die Aufgabe der Bauteile Ihrer Schaltung.

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

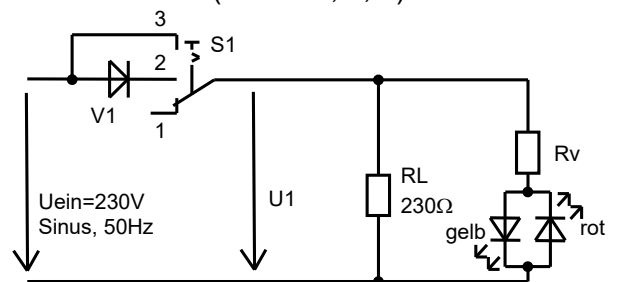
19.2 Fön

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

19.2.1 Skizzieren Sie U_1 für die 3 Schalterstellungen in ein Diagramm.
Beschriften Sie die Kurven mit Stellung 1,2,3.

19.2.2 Begründen Sie, welche LED in welcher Schalterstellung leuchtet.

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



19.3 Vergleich Widerstands-Schaltung – LED-Schaltung

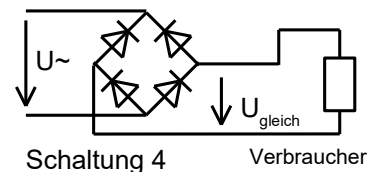
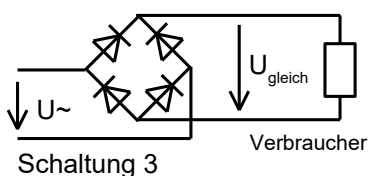
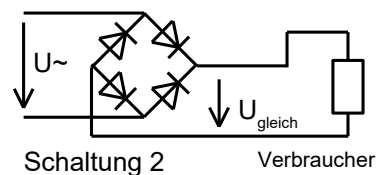
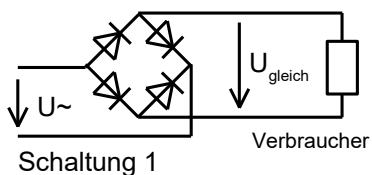
19.3.1 Skizzieren Sie folgende 2 Schaltungen:

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

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

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

19.4 Zweiweggleichrichter (Brückengleichrichter)

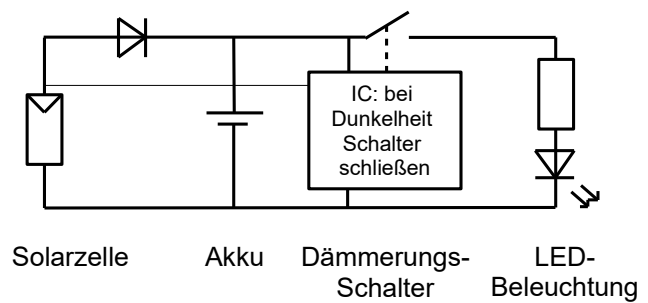


19.4.1 Welche der Schaltungen stellen funktionierende Zweiweggleichrichter dar?

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

19.5 Solarleuchte

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



19.5.1 Welche Aufgabe hat die Diode?

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

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

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

19.5.3 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.

19.6 Fahrrad-LED-Scheinwerfer

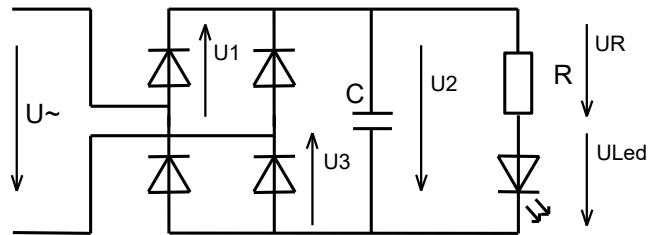
Daten: $U_{\sim\text{Spitze}} = 8,5\text{V}$

$U_{\text{LED}} = 3,5\text{V}$

$U_{1\text{Diode}} = 0,7\text{V}$

$R = 4,7\Omega$

($C = 100.000\mu\text{F}$)



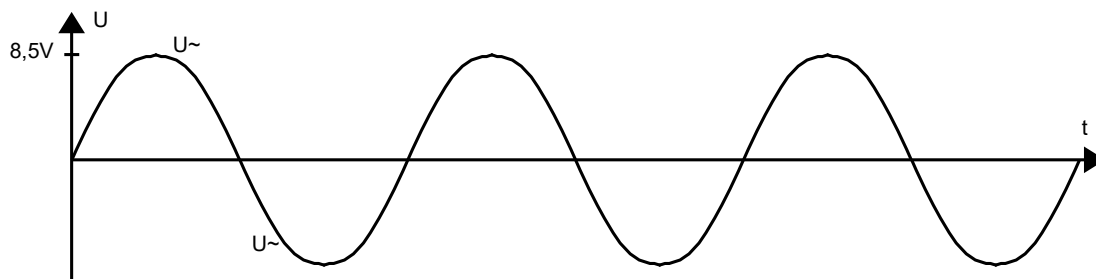
Annahme: Der Kondensator C ist auf den Maximalwert aufgeladen.

19.6.1 Zeichnen Sie Zahlenwerte alle Spannungen in die Schaltung ein.
 Berechnen Sie den maximalen LED-Strom (Spitzenstrom).

19.6.2 Ermitteln Sie die maximale Leistung (Spitzenleistung) von LED und Widerstand.

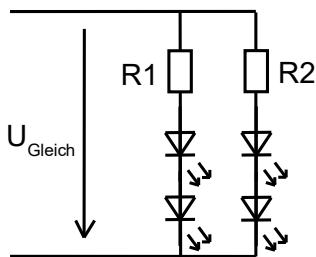
19.6.3 Welche maximale Leistung muss der Dynamo abgeben, der U_{\sim} erzeugt?
 Kondensator ist aufgeladen. Es wird gerade keine Leistung zum Aufladen des
 Kondensators benötigt.

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

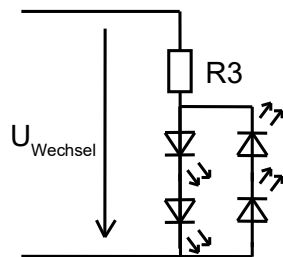


19.7 Schaltungen von Hochleistungs-LEDs

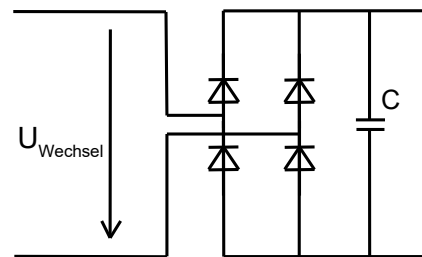
Schaltung 1



Schaltung 2



Schaltung 3



$U_{\text{Gleich}} = 12 \text{ V}$ (Gleichspannung) $\hat{U}_{\text{Wechsel}} = 17 \text{ V}$ (Spitzenwert), sinusförmig, Frequenz: 50 Hz

Nennwerte der LEDs: $U_{\text{LED}} = 3,3 \text{ V}$ bei $I_{\text{LED}} = 300 \text{ mA}$

Nennwerte der Dioden: $U_{\text{Diode}} = 0,8 \text{ V}$ bei $I_{\text{Diode}} = 600 \text{ mA}$ bzw. $U_{\text{Diode}} = 0,75 \text{ V}$ bei $I_{\text{Diode}} = 300 \text{ mA}$

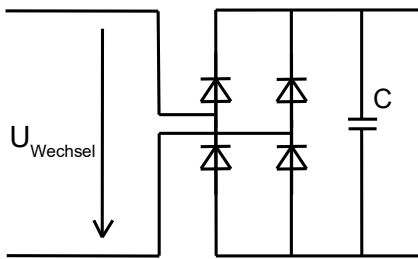
Der Kondensator C wird so gewählt, dass er sich auf minimal 90% seiner Maximalspannung entlädt.

19.7.1 Schaltung 1: Berechnen Sie die Vorwiderstände R_1 , R_2 , deren Leistungen P_{R_1} , P_{R_2} und die Gesamtleistung so, dass die LEDs mit den angegebenen Werten betrieben werden.

19.7.2 Schaltung 2: Berechnen Sie den Spitzenstrom (Maximalwert) und die Spitzenleistung am Widerstand für $R_3 = 35 \Omega$.

19.7.3 Warum leuchten die LEDs in Schaltung 2 viel dunkler als in Schaltung 1 obwohl $U_{\text{Gleich}} = U_{\text{Wechsel_effektiv}}$ ist?

Schaltung 3



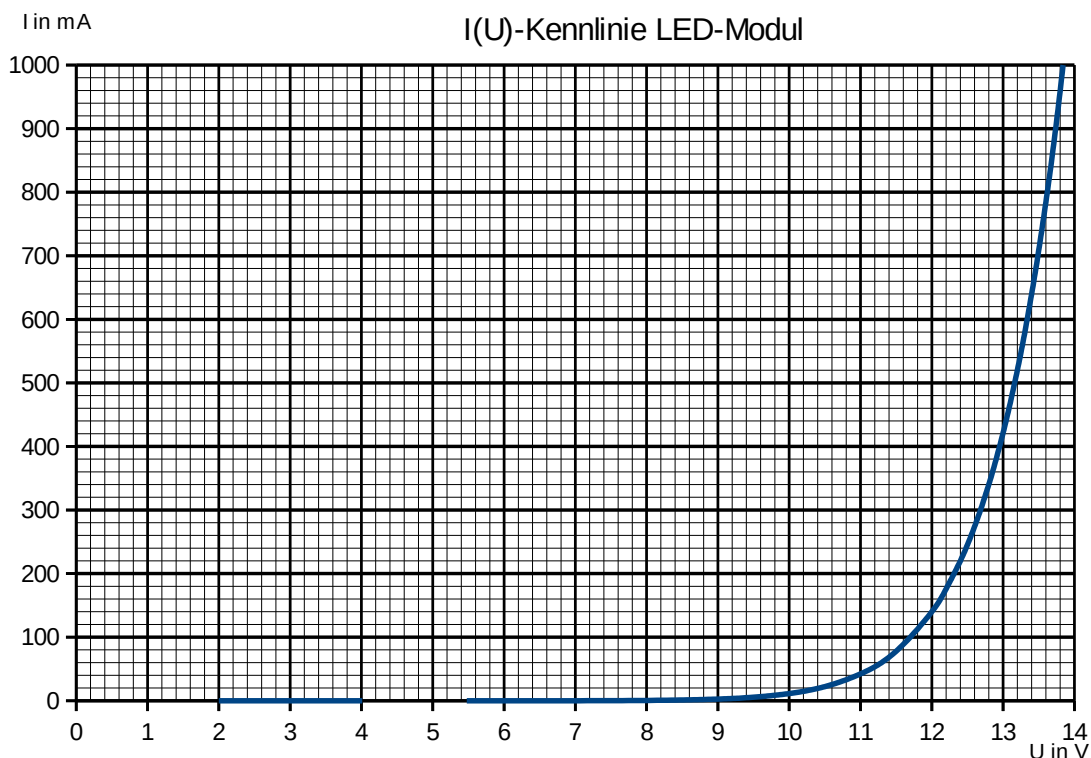
19.7.4 Schaltung 3: Skizzieren Sie neben dem Kondensator eine möglichst energieeffiziente Schaltung aus 4 LEDs und berechnen Sie den Vorwiderstand bzw. die Vorwiderstände. Begründen Sie, warum Ihre Schaltung gegenüber anderen Schaltungsmöglichkeiten besonders energieeffizient ist.

19.7.5 Schaltung 3: Skizzieren Sie ein $U(t)$ -Diagramm mit folgenden Spannungen: U_{Wechsel} , U_C und $U_{1\text{LED}}$. Beschriften Sie die Achsen mit U , t und Zahlenwerten der Spannung und erklären Sie stichwortartig die Kurvenverläufe.

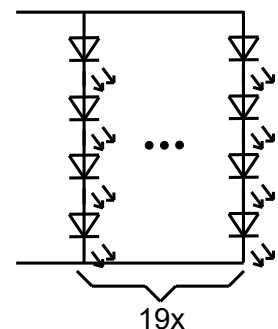
19.8 LED-Modul

Sie erwerben bei einem chinesischen Online-Versandhändler ein LED-Modul, das mit den Daten **6 W, 76 Leds, 520 mA, 760 lm, 12 V** beschrieben wird. Nach einiger Recherche erfahren Sie, dass diese Werte **nicht alle gleichzeitig gültig** sind und die Stromangabe einen Maximalwert darstellt.

Zusammen mit Ihrem UTE-Lehrer messen Sie folgende Werte: Beim Betrieb mit exakt 12 V fließt ein Strom von 140 mA, der **Maximalstrom von 520 mA** fließt bei einer Spannung von 13,2 V. Daraus konstruiert Ihr UTE-Lehrer die unten abgebildete Kennlinie des LED-Moduls. Das Modul besitzt keine Vorwiderstände, daher besteht höchste Zerstörungsgefahr, wenn Sie das Modul falsch betreiben. Damit Sie selbst die Eigenschaften des Moduls herausbekommen, entwirft Ihr UTE-Lehrer einige Aufgaben:



19.8.1 Erklären Sie, wie man nachvollziehen kann, dass die 76 LEDs auf dem Modul wie rechts angegeben verschaltet sind.
 (Die übliche Durchlassspannung einer weißen LEDs beträgt stromabhängig ca. 2,8 V...3,5 V)



19.8.2 Beschriften Sie die I- und U-Achsen so, dass sich die Kennlinie **einer LED** ergibt.

19.8.3 Ermitteln Sie die Leistungen des Moduls beim Betrieb mit 11,5 V, 12 V, 12,5 V, 13,2 V.

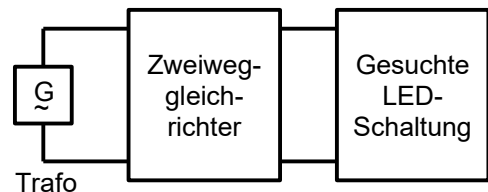
19.8.4 Das Modul soll besonders zur Beleuchtung eines Fahrzeug-Innenraums geeignet sein. Die Lichtmaschine lädt die Autobatterie bis zu einer Spannung von 13,8 V. Erklären Sie, warum Sie das Modul auf keinen Fall ohne Vorwiderstand oder Vorschaltgerät an der Autobatterie betreiben dürfen.

19.8.5 Berechnen Sie den notwendigen Vorwiderstand, wenn Sie das Modul an der Autobatterie betreiben wollen und der Maximalstrom nicht überschritten werden soll.

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.
- 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?
- 19.9.3 Warum darf man eine LED niemals direkt an eine Spannungsquelle anschließen?
- 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?
- 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?
- 19.9.6 Wie schalten Sie die 4 LEDs sinnvollerweise, wenn Sie zwischen Wechselspannungstrafo und LED-Schaltung einen Zweiweggleichrichter verwenden?



- 19.9.7 Welchen Vorteil hat der Betrieb der LEDs mit der Schaltung .6 gegenüber der Schaltung .5?
- 19.9.8 Berechnen Sie die Vorwiderstände in ihrer Schaltung .6.
 $U_{\text{trafo}} = 12V$, $U_{\text{LED}} = 3,8V$ $I_{\text{LED}} = 250mA$, $U_{\text{Diode}} = 0,7V$

20 Solarzellen

Link zur prinzipiellen Funktionsweise <http://www.zum.de/dwu/depotan/apet301.htm>

In den folgenden Versuchen werden die Solarzellen mit LED-Scheinwerfern beleuchtet.
Für reproduzierbare Ergebnisse arbeiten wir immer mit folgenden Werten:

Einstellung1 beim Netzteil für die LED-Scheinwerfer: $U =$ $I =$

Gemessene Bestrahlungsstärke: W/m^2 in ca. cm Entfernung

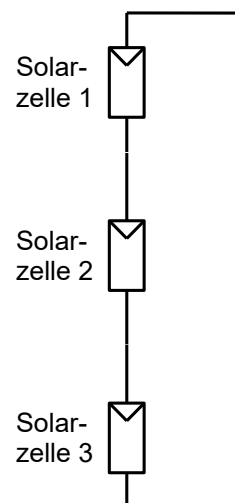
Einstellung2 beim Netzteil für die LED-Scheinwerfer: $U =$ $I =$

Gemessene Bestrahlungsstärke: W/m^2 in ca. cm Entfernung

20.1 Reihenschaltung von 3 Solarzellen: Kurzschlussstrom

Zeichnen Sie die Strompfeile rechts ein.

Messen Sie den Strom an verschiedenen Stellen im Stromkreis.



20.2 Reihenschaltung von 3 Solarzellen: Leerlaufspannung

Zeichnen Sie die Spannungspfeile (mit Beschriftung) rechts ein.

Messen Sie alle Spannungen.

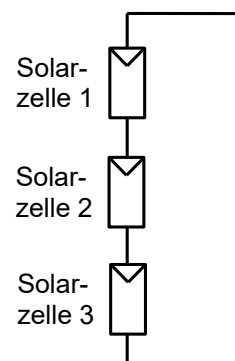
$U_1 =$

$U_2 =$

$U_3 =$

$U_{ges} =$

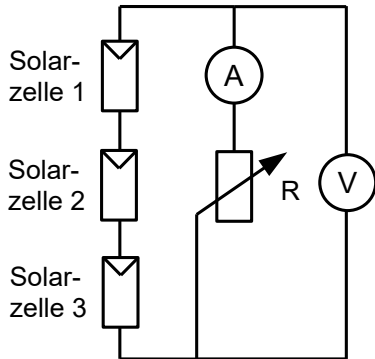
Zusammenfassende Erkenntnis::



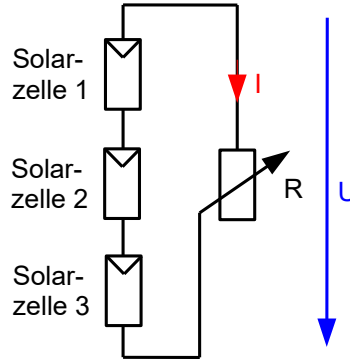
20.3 I(U)-Kennlinien von Solarzellen

20.3.1 Reihenschaltung mit 3 Solarzellen

Schaltung mit Messgeräten

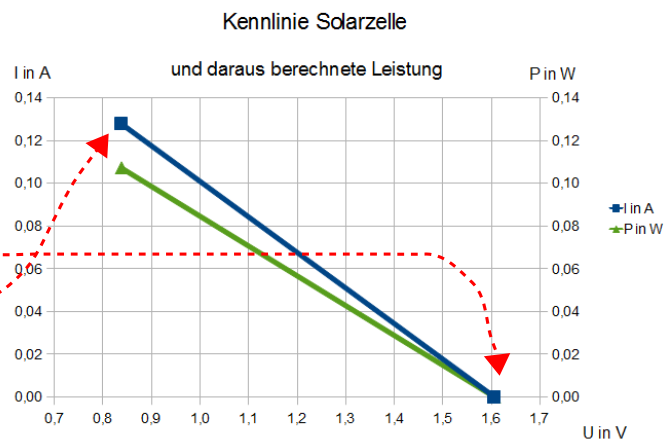


Schaltung mit Strom- und Spannungspfeilen



20.3.2 Vorgehen bei der Messung

Kennlinie 3 in Reihe geschaltete Solarmodule				
LED-Beleuchtung mit $I = 0,5A$ (U ca. 24V)				
Durchgeführt mit I-Messung im mA-Bereich und Poti 470Ohm				
Messwerte			Berechnet	
U in V	I in A	Bemerkungen	R in Ω	P in W
1,6060	0,0000	ohne R		0
0,8381	0,1279	$R_{\text{messgerät}} \text{ ca. } 5 \Omega$ $R_{\text{messgerät}} \text{ } 0,5 \Omega$	6,55	0,1072



- Tabelle mit Spalten U und I anfertigen (10 Zeilen für 10 Messwerte)
- Spalten $R = U/I$ und $P = U \cdot I$ hinzufügen (Formeln in die Zellen eintragen)
- Spannung am Netzteil für die LED-Beleuchtung so einstellen, dass ein Beleuchtungsstrom von 0,5A fließt. Die Strahlungsleistung im Abstand der Solarzellen beträgt nun ca. 200W/m²
- Probe-Messungen Leerlauf (ohne R) und Kurzschluss (nur mit Messgerät als Widerstand) durchführen, Werte eintragen, Beleuchtung wieder ausschalten.
- I(U) – Diagramm erstellen, P(U) – Diagramm einfügen, P auf die Sekundärachse.
- Nun kann man mithilfe des Diagramms nach jedem neuen Messwert prüfen, ob „der Abstand“ zum letzten Messwert sinnvoll war oder ein anderer Wert gewählt werden sollte.
- Potenziometer 47 Ω als veränderbaren Lastwiderstand R einsetzen.
- Beleuchtung einschalten und Messungen durchführen, dabei den Lastwiderstand für jeden neuen Messpunkt verändern.
- Die Messpunkte sollten sich möglichst gleichmäßig auf der Kennlinie verteilen.

Nun wird eine zweite Messung bei der Strahlungsleistung von ca. 100 W/m² durchgeführt.

- Ändern Sie dazu den Beleuchtungsstrom auf ca. 0,25A. (I_{LED} ist proportional zur Strahlungsleistung)
- Schalten Sie die Beleuchtung aus und bereiten Sie wie oben eine 2. Tabelle mit einem 2. Diagramm vor.
- Führen Sie die Messung durch.

20.3.3 Messwerte

Kennlinie 3 in Reihe geschaltete Solarmodule

LED-Beleuchtung mit $I = 0,5A$ (U ca. 24V) \rightarrow ca. 200 W/m²
 Nach der Messreihe ist $I_{\text{beleuchtung}}$ 0,56A angestiegen (wg. Erwärmung)
 Durchgeführt mit I-Messung im mA-Bereich und Poti 470hm
 Letzter Messwert im A-Bereich wg. Innenwiderstand Messgerät

Messwerte		Bemerkungen	Berechnet	
U in V	I in A		R in Ω	P in W
1,6060	0,0000	ohne R		0
1,5680	0,0281		55,9	0,0440
1,5428	0,0401		38,47	0,0619
1,5020	0,0596		25,2	0,0895
1,4469	0,0803		18,02	0,1162
1,3515	0,1011		13,37	0,1366
1,2767	0,1110		11,5	0,1417
1,1256	0,1207		9,33	0,1359
0,9360	0,1254		7,46	0,1174
0,8381	0,1279	$R_{\text{messgerät}}$ ca. 6 Ω	6,55	0,1072
0,01	0,14	Messbereich A	0,09	0,0016

Kennlinie 3 in Reihe geschaltete Solarmodule

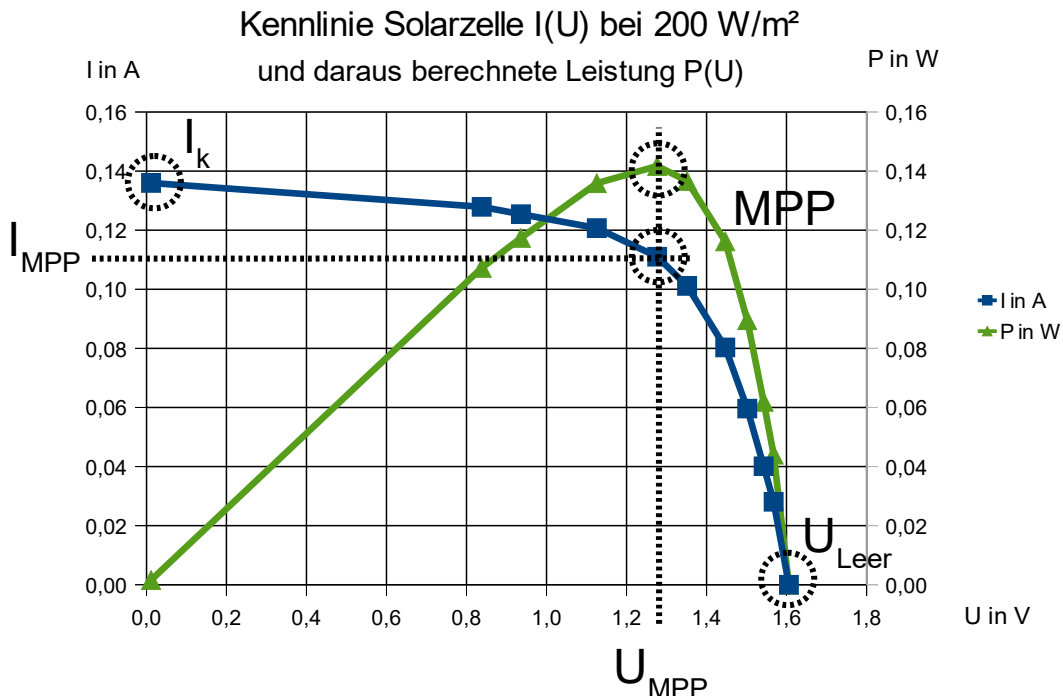
LED-Beleuchtung mit $I = 0,25A$ \rightarrow ca. 100 W/m²
 nach der Messreihe ist $I_{\text{beleuchtung}}$ auf 0,26A angestiegen (wg. Erwärmung)
 Durchgeführt mit I-Messung im mA-Bereich und Poti 470hm
 Letzter Messwert im A-Bereich wg. Innenwiderstand Messgerät

Reihenschaltung		Bemerkungen	Berechnet	
U in V	I in A		R in Ω	P in W
1,5023	0,0000	ohne R		0
1,4165	0,0253		55,94	0,0359
1,3885	0,0300		46,31	0,0416
1,3142	0,0401		32,76	0,0527
1,1713	0,0502		23,35	0,0588
1,0845	0,0532		20,37	0,0577
0,9268	0,0565		16,4	0,0524
0,7021	0,0590		11,9	0,0414
0,5361	0,0603		8,89	0,0323
0,3857	0,0610	$R_{\text{messgerät}}$ ca. 6 Ω	6,32	0,0235
0,0056	0,0630	Messbereich A	0,09	0,0004

Interpretation von $R = U_{\text{Solarzellen}} / I_{\text{Solarzellen}}$: Teilt man die an den Solarzellen gemessene Spannung durch den fließenden Strom, so erhält man den aktuellen Wert des Lastwiderstands R, da die Summenspannung an den Solarzellen gleich der Spannung am Lastwiderstand ist.

Interpretation von $P = U_{\text{Solarzellen}} * I_{\text{Solarzellen}}$: Dies ist die elektrische Leistung, welche die Solarzellen an den Widerstand R abgeben.

20.3.4 Kennlinie I(u) und (P(U) bei 200W/m²



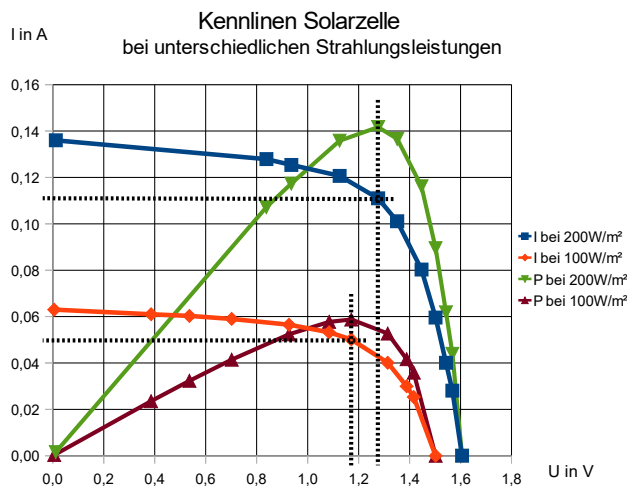
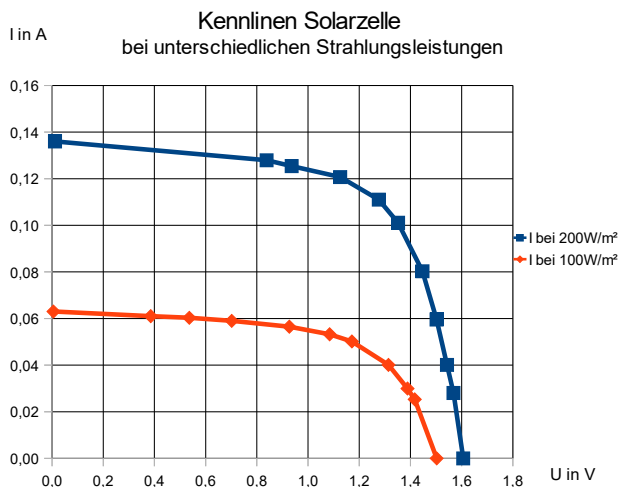
I_K : Kurzschluss.Strom ($U=0V$)

U_{leer} : Leerlaufspannung ($I=0A$)

MPP: Maximum Power Point: Die Solarzelle gibt die maximale Leistung ab

I_{PP} ist der im MPP fließende Strom, U_{MPP} ist die im MPP anliegende Spannung.

20.4 Vergleich der Kennlinien bei 200W/m² und 100W/m² Strahlungsleistung



Vergleich der Werte des MPP bei unterschiedlichen Strahlungsleistungen

Strahlungsleistung	ca. 200 W/m ²		ca. 100W/m ²	
I _{MPP} und U _{MPP}	I _{MPP} = 0,11A	U _{MPP} = 1,28V	I _{MPP} = 0,05A	U _{MPP} = 1,17V
P _{MPP}	P _{MPP} = 0,14W		P _{MPP} = 0,06W	
R _{last} bei MPP	R _{Last_MPP} = 11,5Ω		R _{Last_MPP} = 23Ω	

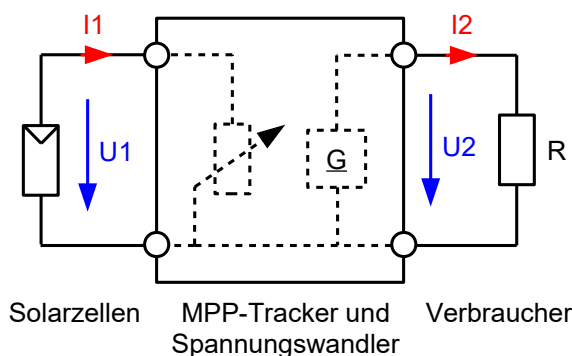
Die Strahlungsleistungen geben an, mit welcher „Intensität“ die Sonne auf die Solarzellen scheint. Bei Verdopplung der Strahlungsleistung fällt auf, dass

- sich der Strom ungefähr verdoppelt
- sich die Spannung nur wenig ändert
- die Leistung sich daher ungefähr verdoppelt
- der Widerstand, mit der die Solarzelle belastet werden muss, um ihr die maximale Leistung zu entziehen, sich stark ändert.

Der Widerstand, mit dem die Solarzelle belastet werden muss um die maximale Leistung zu erreichen (MPP), ändert sich mit der Strahlungsleistung (siehe Tabelle R_{Last}). Daher werden sogenannte MPP-Tracker verwendet, die den Lastwiderstand, den die Solarzelle „sieht“, immer so anpasst, dass der MPP bei jeder Sonneneinstrahlung erreicht wird.

Der MPP-Tracker passt auch die Spannung für den Verbraucher optimal an und wirkt für den Verbraucher wie ein Generator.

Der Verbraucher könnte auch ein Akku sein, der die elektrische Energie zunächst zwischenspeichert.



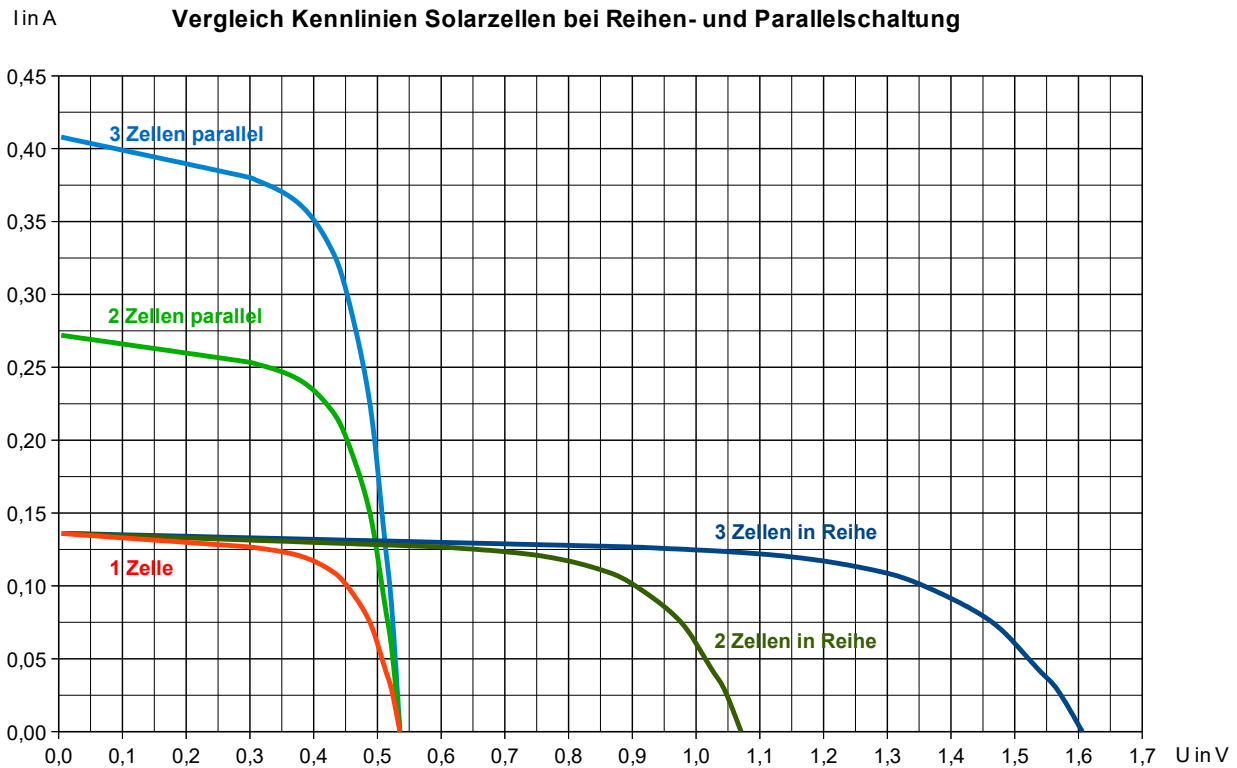
Abschätzung des Wirkungsgrades:

Fläche Solarzelle: 3 x 0,048m x 0,048m = 0,00691m² (ausgemessen)

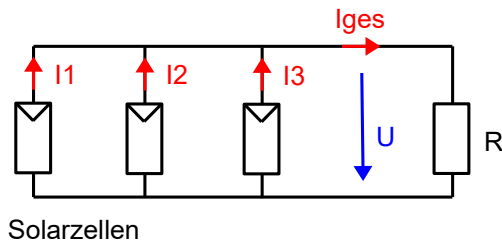
eingestrahle Leistung: 0,00691m² * 200W/m² = 1,382W

$$\rightarrow \eta = \frac{\text{elektrische Leistung}}{\text{eingestrahle Leistung}} = \frac{0,14\text{W}}{1,382\text{W}} = 0,101 = 10,1\%$$

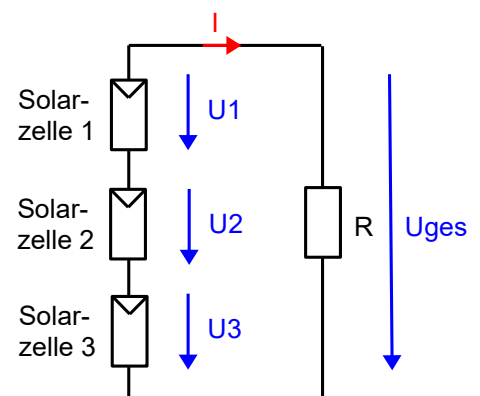
20.5 Vergleich der Kennlinien bei Reihen- und Parallelschaltung



Parallelschaltung



Reihenschaltung



Erklärungen Kennlinien der Parallelschaltung

- Alle Kennlinien haben die gleiche Leerlaufspannung, da die Gesamtspannung gleich der Einzelspannung ist.
- Die Kurzschluss-Ströme der einzelnen Zellen addieren sich.
- Die Kennlinie von 3 parallel geschalteten Zellen ergibt sich aus der Addition von 3 Kennlinien in Strom-Richtung (y-Achse)

Erklärungen Kennlinien der Reihenschaltung

- Alle Kennlinien haben den gleichen Kurzschlussstrom, da der Einzelstrom einer Zelle gleich dem Gesamtstrom der Reihenschaltung der 3 Zellen ist.
- Die (Leerlauf-) Spannungen addieren sich zur Gesamtspannung.
- Die Kennlinie von 3 in Reihe geschalteten Zellen ergibt sich aus der Addition von 3 Kennlinien in Spannungs-Richtung (X-Achse)

21 Übungen zu Solarzellen

21.1 Datenblatt-Beispiel eines Solarmoduls mit Aufgaben

Daten bei Standard-Test-Bedingungen (STC): 1000W/m ² , AM 1,5, Zelltemperatur 25°C			
Nennleistung	W _p	P _{MPP}	225
Nennspannung	V	U _{MPP}	29,8
Nennstrom	A	I _{MPP}	7,55
Leerlaufspannung	V	U _{0C}	36,7
Kurzschluss-Strom	A	I _{SC}	8,24
Modulwirkungsgrad	%	η	13,4
Bei 200W/m ² werden 97% von η _{STC} erreicht			

Daten bei Zellen-Nennbetriebstemperatur (NOCT): 800W/m ² , AM 1,5, Umgebungstemperatur 20°C, Windgeschwindigkeit 1m/s			
Nennleistung	W _p	P _{MPP}	161
Nennspannung	V	U _{MPP}	26,9
Leerlaufspannung	V	U _{0C}	33,5
Kurzschluss-Strom	A	I _{SC}	6,6
Temperatur	°C	T _{NOCT}	47,2

Solarzellen pro Modul	60
Solarzellentyp	Polykristallin, 156mm x 156mm
Abmessungen	1.685 mm x 993mm

21.2 Kennlinie mit Kennwerten zeichnen

- 21.2.1 Skizzieren Sie den ungefähren Verlauf der I(U)-Kennlinie bei Standard-Test-Bedingungen (STC) mithilfe der gegebenen Werte.
- 21.2.2 Beschriften Sie diese Werte in Ihrer Kennlinie .

21.3 Wirkungsgradberechnung

21.3.1 Berechnen Sie den Wirkungsgrad des Solarmoduls mithilfe der

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

21.3.2 Wodurch könnte die Abweichung zum angegebenen Modulwirkungsgrad entstehen?

21.4 Zusammenschaltung von Solarmodulen

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

21.4.1 Ordnen Sie möglichst viele der beschriebenen Module an.

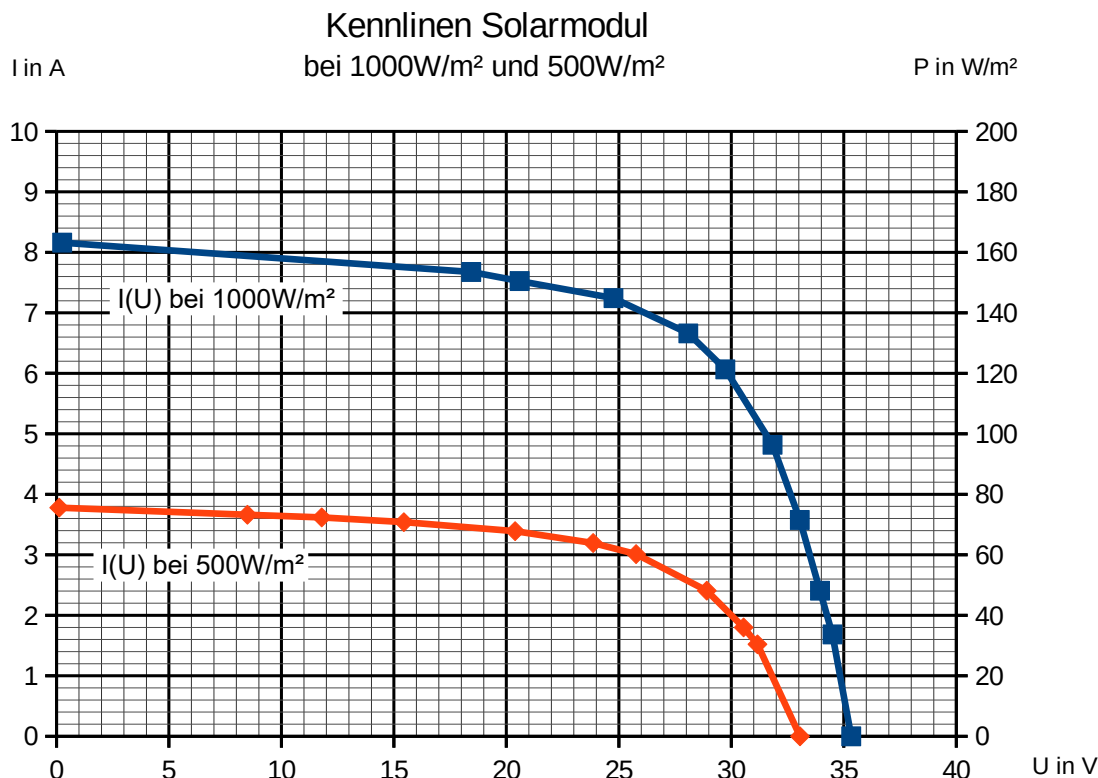
21.4.2 Welche Werte sind für die Gesamtspannung, den Gesamtstrom, die Nennleistung bei Zellen-Nennbetriebstemperatur (NOCT)

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

zu erwarten ?

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

21.5 Aufgabe zu Kennlinien eines Solarmoduls



21.5.1 Beschreiben Sie, wie man diese Kennlinien messtechnisch aufnehmen kann.

Verlangt: Versuchsskizze mit Messgeräten, zu messende Größen, Vorgehen bei der Messung.

21.5.2 Geben Sie die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom bei 1000 W/m² an.

21.5.3 Zeichnen Sie den Verlauf der Leistungskurve P(U) bei einer Einstrahlung von 1000 W/m² ein.

Die Leistungswerte können Sie mithilfe der Tabellen berechnen. Auf der rechten Seite der Kennlinie ist eine P(U)-Achse mit entsprechende Zahlenwerten eingetragen.

Werte 1000 W/m ²		
U in V	I in A	P in W
35,3	0,0	
34,5	1,7	
33,9	2,4	
33,0	3,6	
31,8	4,8	
29,7	6,1	
28,1	6,7	
24,8	7,2	
20,6	7,5	
18,4	7,7	
0,3	8,2	

Werte 500 W/m ²		
U in V	I in A	P in W
33,1	0,0	
31,2	1,5	
30,5	1,8	
28,9	2,4	
25,8	3,0	
23,9	3,2	
20,4	3,4	
15,4	3,5	
11,8	3,6	
8,5	3,7	
0,1	3,8	

21.5.4 Bestimmen Sie die Werte von P_{MPP} , I_{MPP} und U_{MPP} und kennzeichnen Sie diese im Diagramm.

21.5.5 Zeichnen Sie auch den Wert von P_{MPP} bei 500 W/m² in das Diagramm ein.

21.5.6 Ermitteln Sie die Werte für Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom bei einer Zelle, wenn das Modul aus einer Reihenschaltung von 60 Zellen besteht.

21.5.7 Berechnen Sie die Fläche des Solarmoduls, wenn der Wirkungsgrad 15 % beträgt und die gesamte Fläche mit Solarzellen besetzt ist.

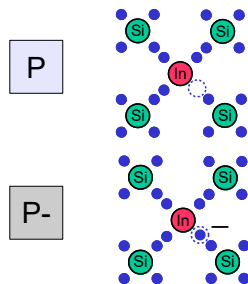
Learning-Apps: <https://learningapps.org/display?v=p6i87jnja17>

22 Der PN-Übergang von Dioden und Solarzellen

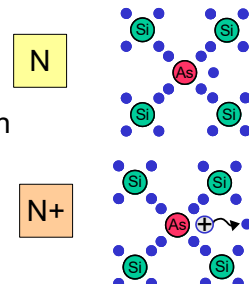
22.1 P- und N-Dotierung

Durch „Dotierung“ mit 3-wertigen und 5-wertigen Atomen wird Silizium leitfähig:

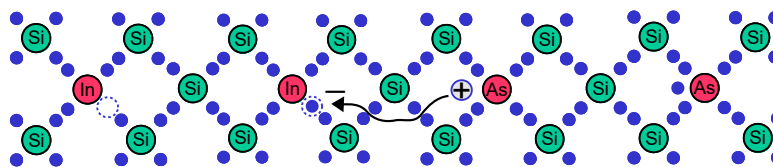
P-Halbleiter
 elektrisch neutral
 leitfähig
 wegen Löchern
 mit 4. Elektron
 negativ geladen
 nicht leitfähig



N-Halbleiter
 elektrisch neutral
 leitfähig
 wegen freien Elektronen
 ohne 5. Elektron
 positiv geladen
 nicht leitfähig



22.2 PN-Übergang ohne äußere Spannung

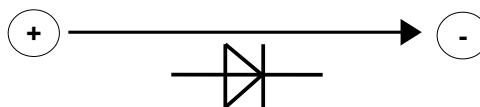


P	P	P	P	P	P-	P-	P-	N+	N+	N+	N	N	N	N	N
P	P	P	P	P	P-	P-	P-	N+	N+	N+	N	N	N	N	N

Elektronen aus N-Schicht wandern zu Löchern in P-Schicht → Sperrschicht entsteht (Raumladungszone)

22.3 PN-Übergang mit äußerer Spannung in Durchlassrichtung

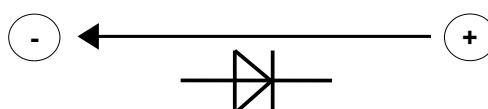
P	P	P	P	P	P	P	P-	N+	N	N	N	N	N	N	N
P	P	P	P	P	P	P	P-	N+	N	N	N	N	N	N	N



durch die äußere Spannung sind in der P-Schicht nun wieder mehr Löcher und in der N-Schicht freie Elektronen vorhanden → Sperrschicht wird kleiner → Diode beginnt zu leiten.

22.4 PN-Übergang mit äußerer Spannung in Sperrrichtung

P	P	P	P-	P-	P-	P-	P-	N+	N+	N+	N+	N+	N	N	N
P	P	P	P-	P-	P-	P-	P-	N+	N+	N+	N+	N+	N	N	N



Sperrschicht vergrößert sich → Diode sperrt.

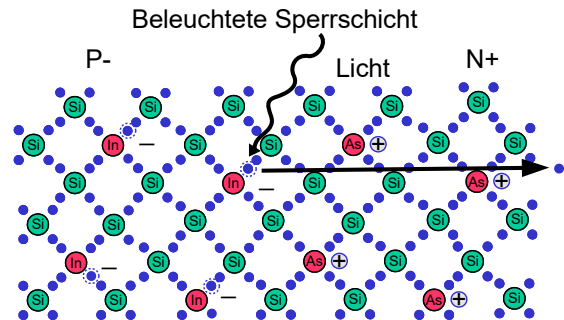
22.5 Beleuchteter PN-Übergang einer Solarzelle

Sonnenlicht leuchtet durch die sehr dünne N-Schicht und trifft auf die Sperrschicht.

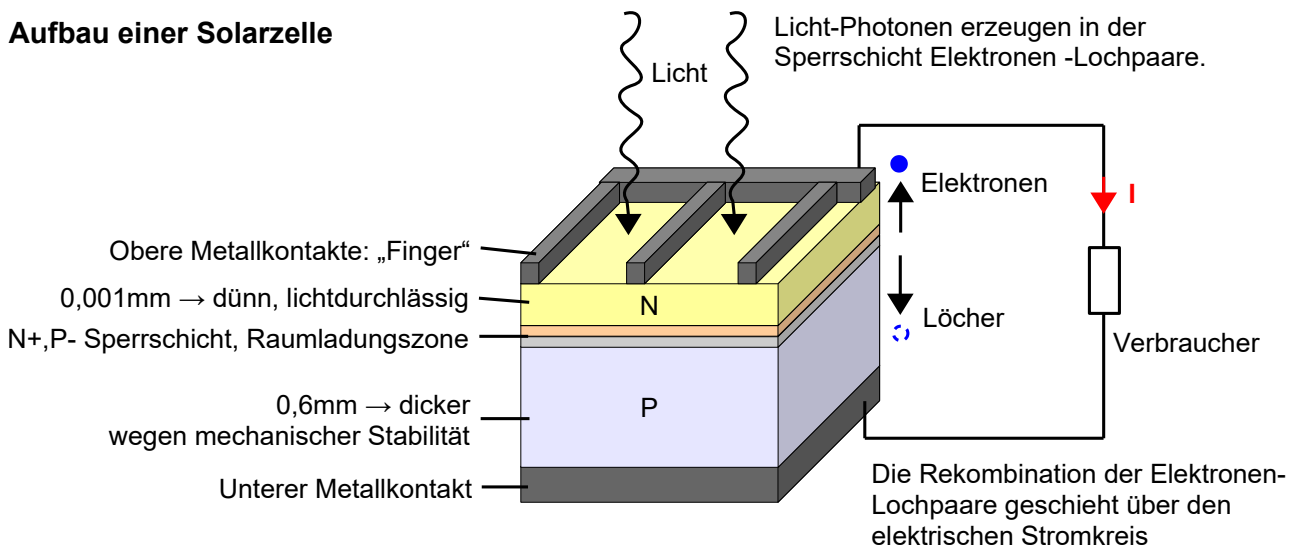
Dort erzeugen die Licht-Photonen Elektronen-Lochpaare.

Durch die negative Ladung der P-Schicht in der Sperrschicht können die Elektronen nur in Richtung N-Schicht ausweichen.

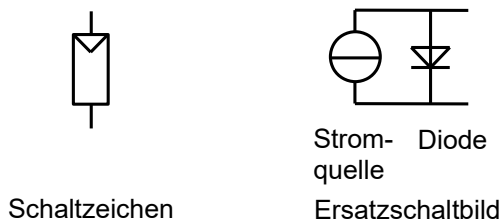
Über einen äußeren Stromkreis können die Elektronen-Lochpaare wieder rekombinieren. Es fließt ein Strom durch den Verbraucher.



Aufbau einer Solarzelle



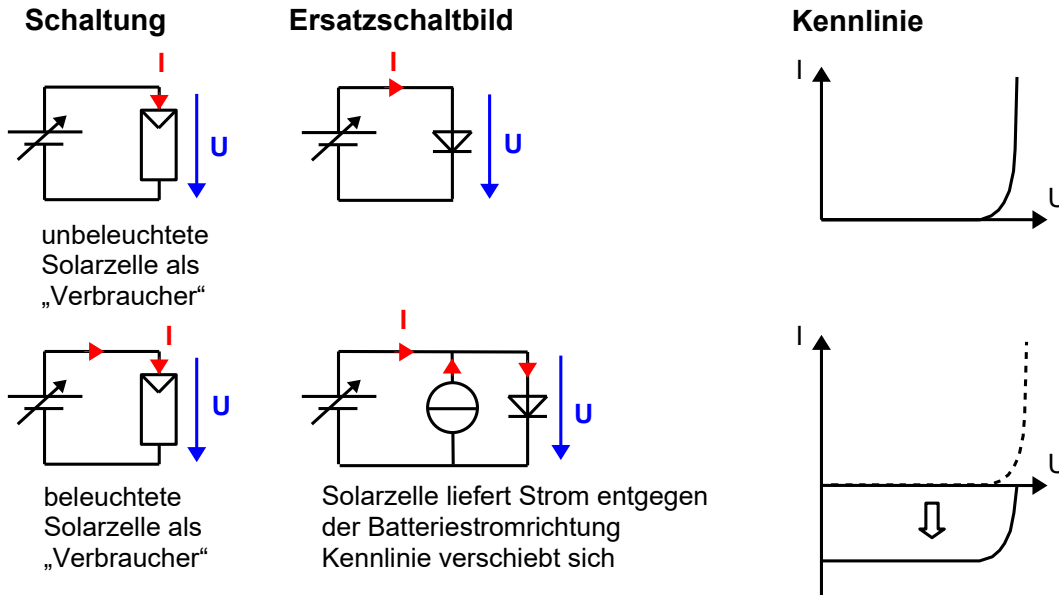
Schaltzeichen und vereinfachtes Ersatzschaltbild der Solarzelle



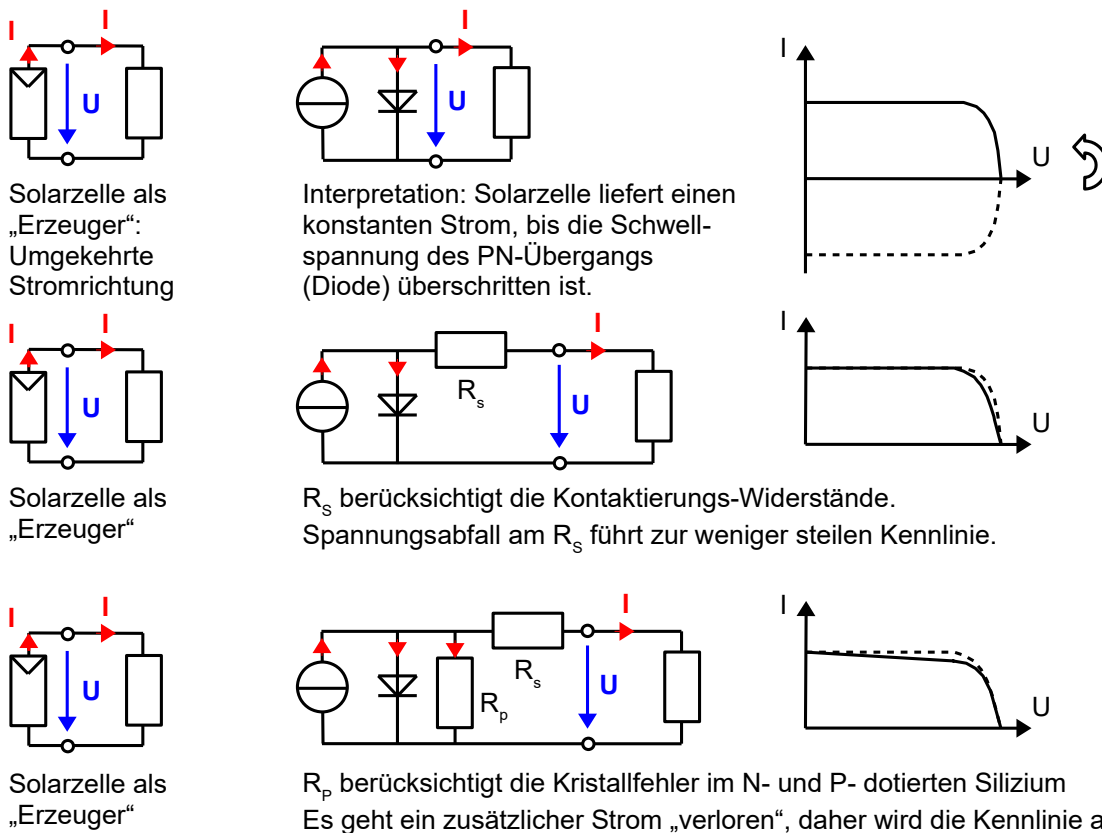
Die Eigenschaften einer Solarzelle kommen im Ersatzschaltbild zum Ausdruck: Sie besteht wie eine Diode aus einem PN-Übergang, parallel dazu wirkt sie wie eine Stromquelle.

22.6 Ersatzschaltbild von Solarzellen

Im Folgenden wird der Zusammenhang der Kennlinie und des Ersatzschaltbildes einer Solarzelle erklärt. Ausgangspunkt ist die Dioden-Kennlinie, die man erhält, wenn man eine Spannung an eine unbeleuchtete Solarzelle legt.



Wechsel der Bezugspfeile vom Verbraucher zum Erzeuger



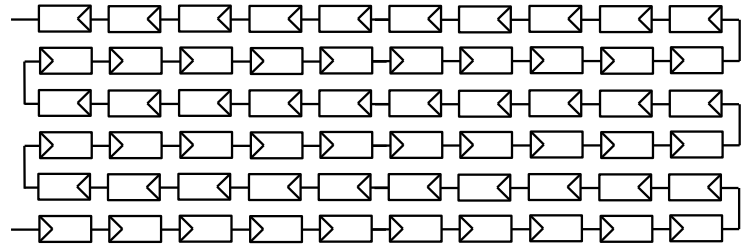
22.7 Laborübung Teil-Verschattung von Solarmodulen

Riesen-Verlust: Ahornblatt legt Solaranlage lahm!

Könnte es diese Überschrift in einer Zeitschrift wirklich geben?

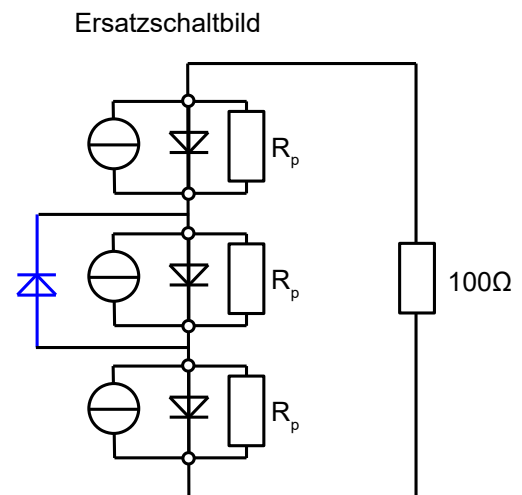
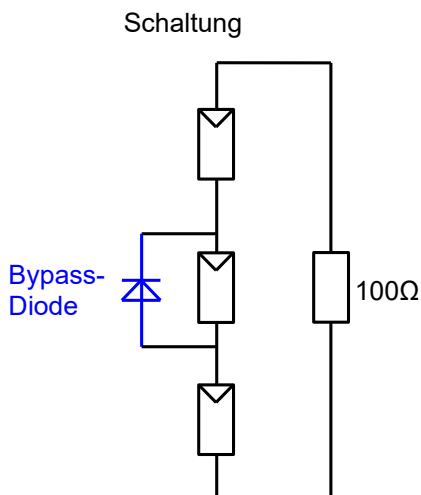
Das nebenstehende Bild zeigt die typische Verschaltung eines Solarmoduls mit 60 Solarzellen.

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.