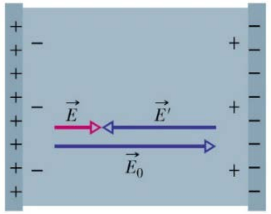
An welche Stichwörter von der letzten Vorlesung können Sie sich noch erinnern?

Dielektrika - auf atomarem Niveau



Elektrischer Strom $$i = \frac{dq}{dt}$$

Stromdichte $$i = \int \vec{J} d\vec{A}$$

Driftgeschwindigkeit $$\vec{J} = ne\vec{v}_D$$

Widerstand und spezifischer Widerstand $$R = \rho \frac{L}{A} \qquad \rho = \rho_0 + \rho_0 \alpha (T - T_0)$$

Das Ohmsche Gesetz $$i = \frac{V}{R} \quad \Leftrightarrow \quad J = \frac{ne^2\tau}{m} E$$

Elektrische Leistung $$P = iV = i^2 R = V^2 / R$$

23.8 Halbleiter

$$\rho = \frac{m}{ne^2\tau}$$

n sei die Ladungsträgerkonzentration (Anzahl von Ladungsträgern pro Einheitsvolumen) und τ die mittlere Stoßzeit (die mittlere Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Stößen) der Ladungsträger.

In einem Leiter (Metall) ist n groß und nur schwach temperaturabhängig. Der beobachtete Anstieg des spezifischen Widerstands von Metallen mit der Temperatur geht auf eine Zunahme der Stoßrate von Ladungsträgern mit Gitteratomen (Abnahme von τ)

Bei einem Halbleiter dagegen gibt es kaum freie Ladungsträger, deshalb ist n klein, wird jedoch mit zunehmender Temperatur sehr rasch größer, da durch die höhere Wärmeenergie Ladungsträger freigesetzt werden. Dadurch nimmt der spezifische Widerstand eines Halbleiters mit zunehmender Temperatur ab.

Einige elektrische Eigenschaften von Kupfer und Silizium[a]

Eigenschaft	Kupfer	Silizium
Art	Metall	Halbleiter
Ladungsträgerkonzentration (m^{-3})	$9 \cdot 10^{28}$	$1 \cdot 10^{16}$
Spezifischer Widerstand ($\Omega \cdot m$)	$2 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{3}$
Temperaturkoeffizient des spezifischen Widerstands (K^{-1})	$+4 \cdot 10^{-3}$	$-70 \cdot 10^{-3}$

Man kann durch Einbau von Fremdatomen Elektronen oder auch positive Ladungsträger im Material zur Verfügung stellen (dotieren), die nur sehr schwach gebunden und daher leicht in Bewegung zu setzen sind.

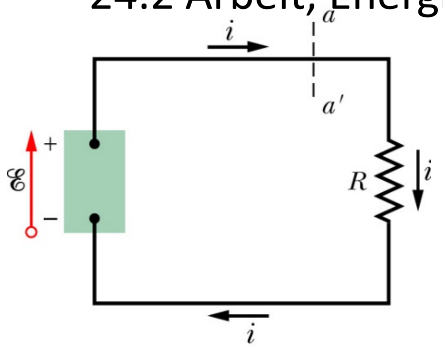
Durch gezieltes Dotieren eines Halbleiters ist es möglich, die Dichte von Ladungsträgern, die an einem elektrischen Strom teilnehmen können, in weiten Grenzen zu kontrollieren und damit auch die elektrischen Eigenschaften des Halbleitermaterials zu beeinflussen.

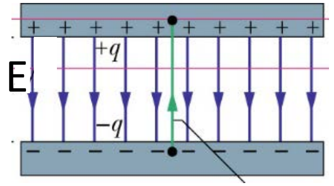
24. Stromkreise

24.1 „Pumpen" von Ladung

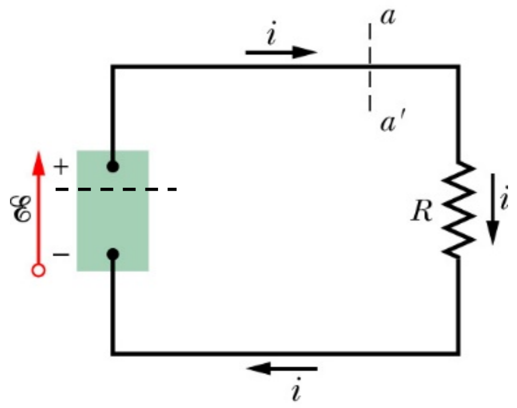
Um einen konstanten Strom von Ladung aufrechtzuerhalten, ist eine Ladungspumpe erforderlich, eine Vorrichtung, die eine gewisse Potenzialdifferenz zwischen einem Paar von Anschlussklemmen erzeugt und konstant hält sog. Spannungsquelle. Sie stellt durch Verrichten von Arbeit an den Ladungsträgern eine Spannung (elektromotorische Urspannung) zur Verfügung.
Beispiele von Spannungsquellen: *Generatoren, Solarzellen, Brennstoffzellen, Thermosäulen*.
Obwohl sich die Wirkungsmechanismen der als Beispiele angeführten Spannungsquellen wesentlich voneinander unterscheiden, so ist ihre Funktion grundsätzlich die Gleiche: *Sie verrichten Arbeit an Ladungsträgern* und *erhalten* dadurch eine bestimmte *Potenzialdifferenz* zwischen ihren Anschlüssen aufrecht.

24.2 Arbeit, Energie und Spannung





Innerhalb der Spannungsquelle bewegen sich positive Ladungsträger aus einem Bereich mit niedrigem elektrischen Potenzial/(pot. Energie) (- Pol) heraus in einen Bereich mit höherem elektrischen Potenzial/(pot. Energie) (+ Pol). Die Ladungsträger bewegen sich somit *entgegengesetzt* zu der Richtung, in die sie sich unter der Wirkung des elektrischen Felds zwischen den Polen der Spannungsquelle -welches vom positiven zum negativen Pol zeigt - bewegen würden.



Es muss deshalb eine *Quelle von Energie* in der Spannungsquelle vorhanden sein, die Arbeit an den Ladungsträgern verrichtet, sodass diese sich vom (-) zum (+) bewegen können.

In jedem differenziellen Zeitintervall dt bewegt sich eine differenzielle Ladung dq durch einen beliebigen Querschnitt des Stromkreises.

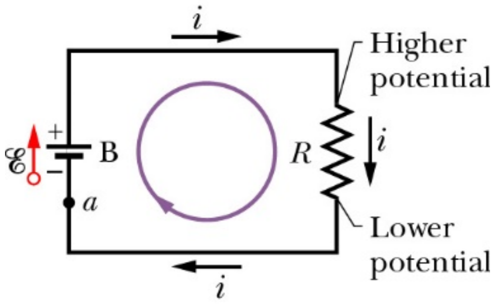
Diese Ladungsmenge muss auf der Seite mit niedrigem Potenzial in die Spannungsquelle eintreten und sie auf der Seite mit hohem Potenzial wieder verlassen. Dabei muss die Spannungsquelle an der Ladungsmenge dq eine Arbeit dW verrichten, um für sie diese Bewegung entgegen den im elektrischen Feld zwischen den Polen zu ermöglichen: $dW = \mathcal{E} dq$

Die <u>Spannung einer Spannungsquelle</u> ist gleich der Arbeit, die von der Quelle an der Ladungseinheit zu verrichten ist, um sie vom Pol mit niedrigem Potenzial zum Pol mit hohem Potenzial zu transportieren. SI: Einheit der Spannung ist Joule pro Coulomb - Volt.

Eine <u>ideale Spannungsquelle</u> setzt der Bewegung der Ladung von Pol zu Pol innerhalb der Spannungsquelle keinen Widerstand entgegen.

Eine <u>reale Spannungsquelle</u>, beispielsweise jede Batterie, setzt der Bewegung der Ladungsträger in ihr einen Widerstand, den <u>Innenwiderstand</u> entgegen.

24.3 Berechnung des Stroms in einem unverzweigten Stromkreis



Energiebetrachtung

Die Batterie hat eine Arbeit verrichtet $dW = \mathscr{E} i dt$

Die von der Batterie verrichtete Arbeit gleich der im Widerstand erzeugten Wärmemenge $dW = i^2 R dt$

$$\boxed{\mathscr{E} = iR}$$

Potenzialbetrachtung: $V_a + \mathscr{E} - iR = V_a$

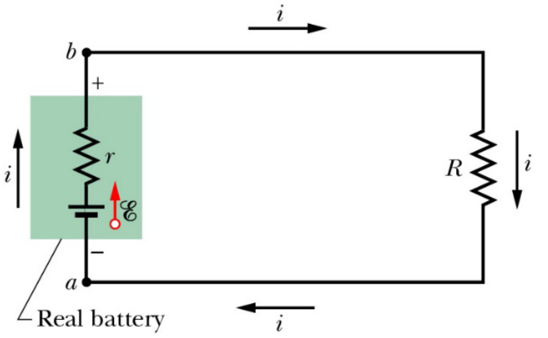
Kirchhoffsche Maschenregel: Die algebraische Summe aller Potenzialänderungen beim vollständigen Durchlaufen eines beliebigen, geschlossenen Weges (einer geschlossenen Schleife, d. h. einer Masche) in einem Stromkreis ist null

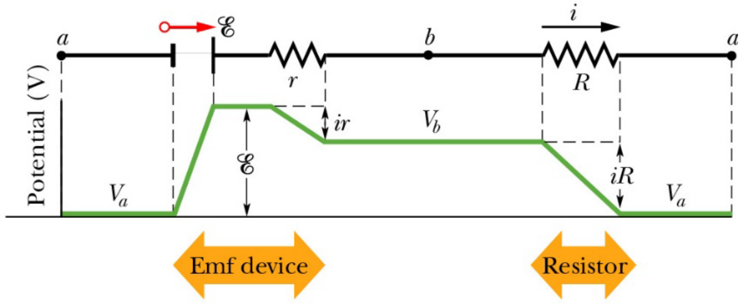
Widerstandsregel: Durchläuft man einen Widerstand in Stromrichtung, so ändert sich das Potenzial dabei um —iR, durchläuft man ihn entgegen der Stromrichtung, so ist die Änderung gleich +iR.

Spannungsregel: Bewegt man sich durch eine ideale Spannungsquelle vom (-) Richtung (+), so ist die Potenzialänderung gleich $\mathscr{E}$; in Gegenrichtung ist sie gleich $-\mathscr{E}$

24.4 Innenwiderstand und Reihenschaltungen von Widerständen

Innenwiderstand



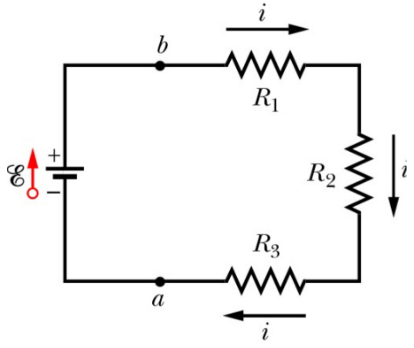


$$V_a + \mathscr{E} - ir - iR = V_a$$

$$\mathscr{E} - ir - iR = 0$$

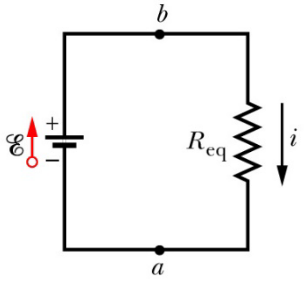
$$\boxed{i = \frac{\mathscr{E}}{R + r}}$$

Reihenschaltungen von Widerständen



Legt man eine Potenzialdifferenz V an eine Reihenschaltung von Widerständen, so fließt durch jeden Widerstand der *gleiche Strom* i.

Die Potenzialdifferenzen über die einzelnen Widerstände *summieren sich* zu der über die gesamte Widerstandsreihe anliegenden Potenzialdifferenz V.



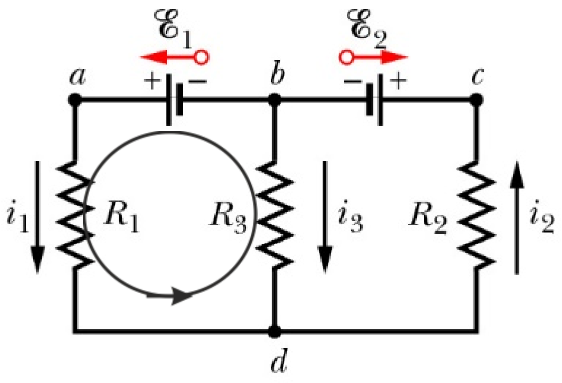
$$\mathscr{E} - iR_1 - iR_2 - iR_3 = 0$$

$$i = \frac{\mathscr{E}}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$\mathscr{E} - iR_{äq} = 0$$

$$\boxed{R_{äq} = R_1 + R_2 + R_3}$$

24.5 Verzweigte Stromkreise

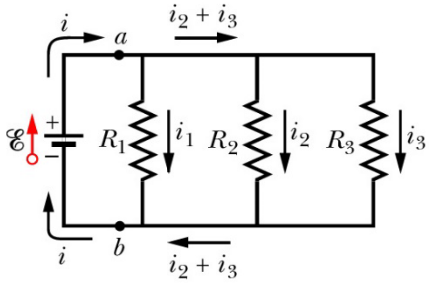


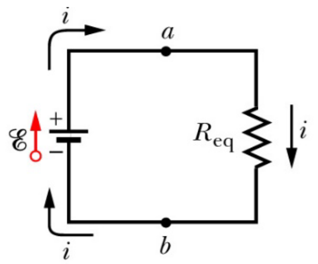
Hier gibt es zwei <u>Verzweigungspunkte,</u> und drei <u>Zweige</u> verbinden diese beiden Punkte.

Der kirchhoffsche Satz (Verzweigungsregel):
In einem Verzweigungspunkt eines Stromkreises ist die Summe aller eingehenden Ströme gleich der Summe aller ausgehenden Ströme.

$$\text{Punkt d: } i_1 + i_3 = i_2 \qquad \mathscr{E}_1 - i_1 R_1 + iR_3 = 0$$

Parallelschaltung von Widerständen





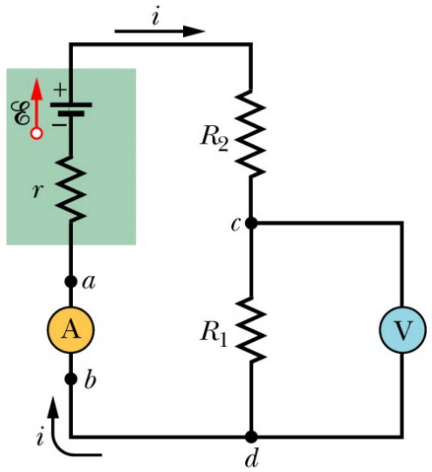
Legt man eine Potenzialdifferenz V an eine Parallelschaltung von Widerständen, so besteht über jeden der Widerstände die gleiche Potenzialdifferenz.

$$i_1 = \frac{\mathscr{E}}{R_1} \quad i_2 = \frac{\mathscr{E}}{R_2} \quad i_3 = \frac{\mathscr{E}}{R_3} \qquad i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$i = \frac{\mathscr{E}}{R_{äq}}$$

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

24.6 Amperemeter und Voltmeter



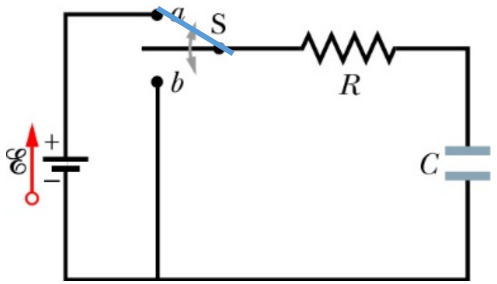
Ein Instrument zur Messung von Strömen bezeichnet man als Amperemeter. Um den in einer Leitung fließenden Strom zu messen, ist es normalerweise erforderlich, die Leitung zu unterbrechen und das Amperemeter in die Leitung einzuschleifen, sodass der zu messende Strom durch das Messgerät fließt.

Es ist wesentlich, dass der *Innenwiderstand* R_A des *Amperemeters* im Vergleich zu anderen Widerständen im Stromkreis *sehr klein* ist.

Ein Messgerät zur Bestimmung von Potenzialdifferenzen heißt Voltmeter. Um die Potenzialdifferenz zwischen zwei beliebigen Punkten eines Stromkreises zu messen, schaltet man das Instrument zwischen diese beiden Punkte, ohne dazu den Stromkreis unterbrechen zu müssen.

Es ist wesentlich, dass der *Innenwiderstand* R_V eines *Voltmeters sehr groß* ist im Vergleich zum Widerstand desjenigen Elements des Stromkreises, zwischen dessen Anschlüssen die Potenzialdifferenz gemessen werden soll.

Laden eines Kondensators



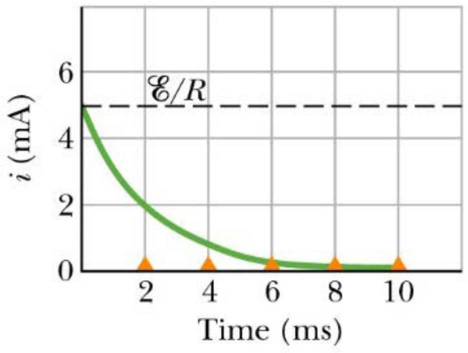
Kirchhoffsche Maschenregel

$$\mathscr{E} - iR - \frac{q}{C} = 0$$

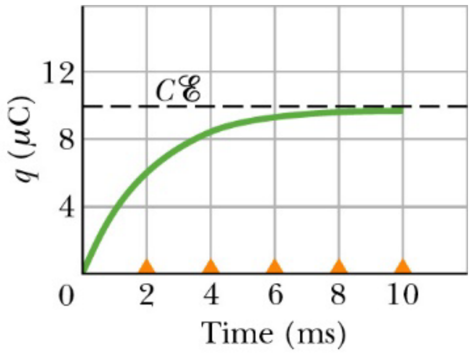
$$\mathscr{E} - \frac{dq}{dt}R - \frac{q}{C} = 0$$

$$q = \mathscr{E}C\left(1 - \exp\left(-t/RC\right)\right)$$

$$\boxed{i = \frac{\mathscr{E}}{R}\exp\left(-t/RC\right)}$$



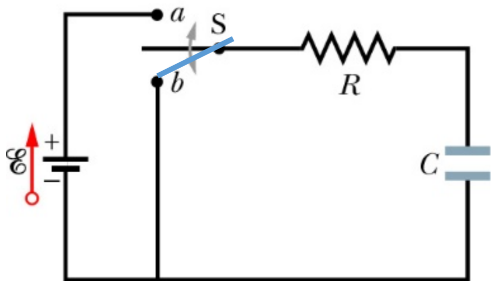
Ein ungeladener Kondensator verhält sich zu Beginn des Ladevorgangs für den ladenden Stromkreis wie eine leitende Verbindung (wie ein *Kurzschluss*). Längere Zeit später, nachdem er vollständig geladen ist, wirkt er effektiv als eine Unterbrechung des Kreises.



Das Produkt RC hat die Dimension einer Zeit. Man nennt diese Größe die <u>kapazitive Zeitkonstante des Stromkreises</u>

$$\boxed{\tau = RC}$$

Entladen eines Kondensators



Kirchhoffsche Maschenregel

$$-iR - \frac{q}{C} = 0$$

$$\frac{dq}{dt}R + \frac{q}{C} = 0$$

$$q = q_0 \exp(-t/RC) = q_0 \exp(-t/\tau)$$

$$\boxed{i = \frac{q_0}{RC}\exp(-t/\tau)}$$

Der Entladestrom eines Kondensators nimmt daher exponentiell mit der Zeit ab, mit einer Rate, die durch die kapazitive Zeitkonstante τ bestimmt wird. Der anfängliche Entladestrom ist gegeben durch q_0/RC.