

1 Grundlagen der Elektrotechnik

1.1 Elektrische Stromkreise bei Gleichstrom

1.1.1 Ladungen und Ladungsträger

Elektrische Ladung

Ursprüngliche Eigenschaft der Materie, die sich in Kraftwirkungen äußert. Die Kräfte gehen von Ladungen aus und wirken auch auf sie ein.

Elektrisches Feld

Die Kräfte sind in dem Raum wirksam, der die Ladung umgibt. Er wird elektrisches Feld genannt (**Bilder 1.1 und 1.2**).

Feldlinien. Linien, längs derer die Kräfte wirksam sind. In Bildern werden nur ausgewählte Feldlinien dargestellt.

Ladungsvorzeichen

Je nachdem, ob die Kraft von der Ladung ausgeht oder auf sie einwirkt, wird der Ladung ein positives oder negatives Vorzeichen zugeordnet. Die Feldlinien gehen von positiven Ladungen aus und enden an negativen Ladungen.

Kraftwirkungsgesetz

Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, und ungleichnamige ziehen sich an. Die Größe der Kraft nimmt mit der Größe der Ladungen zu und mit dem Quadrat der Entfernung der Ladungen voneinander ab. Die Kräfte haben nur geringe Beträge. Ihre Anwendung erfolgt vorwiegend in der Elektronik zur Ablenkung von Elektronenstrahlen (Bildröhren für Oszilloskope).

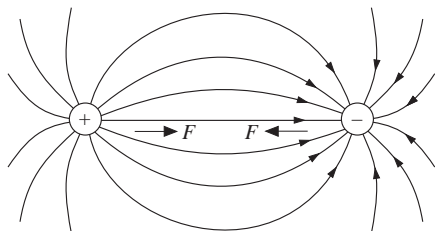


Bild 1.1 Elektrisches Feld ungleichnamiger Ladungen – Anziehung

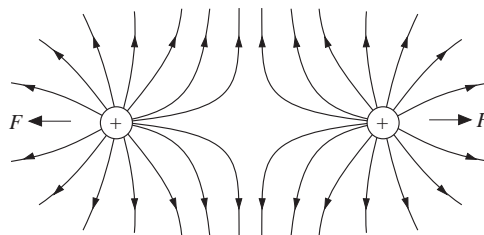


Bild 1.2 Elektrisches Feld gleichnamiger Ladungen – Abstoßung

Ladungsträger

Die Ladungen sind an elementare materielle Träger gebunden. Protonen besitzen positive und Elektronen negative Ladung.

Ionen. Atome und Moleküle können, ausgelöst durch gewisse energetische Einflüsse, Überschuss oder Mangel an Elektronen aufweisen. Damit verlieren sie ihre elektrische Neutralität und sind nun elektrisch geladen. Man nennt solche Atome und Moleküle Ionen.

Kationen. Positiv geladene Ionen (Atomrümpfe), die unter dem Einfluss elektrischer Spannung zur Kathode wandern.

Anionen. Negativ geladene Ionen, die unter dem Einfluss elektrischer Spannung zur Anode wandern.

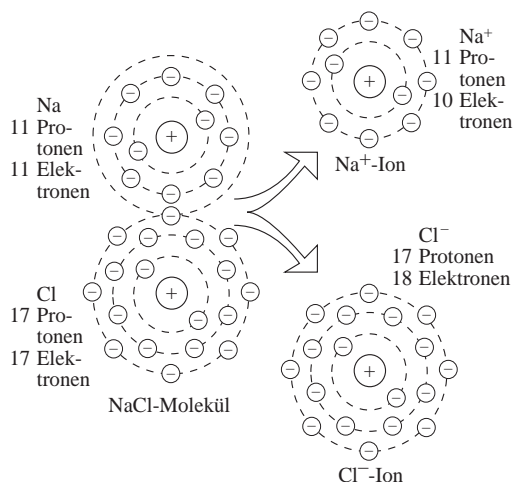


Bild 1.3 Ionenbildung

Elementarladung

Elektrische Ladung ist gequantelt. Das kleinste Ladungsquantum ist die Elementarladung e .

$$e^+ = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad e^- = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Ladungsmenge Q

Als physikalische Größe zur Kennzeichnung der elektrischen Ladung wird die Ladungsmenge Q definiert. Ihre Einheit ist das *Coulomb* bzw. die *Amperesekunde*.

$$Q = N \cdot e$$

$$1 \text{ As} = 1 \text{ C} = 6,2 \cdot 10^{18} \cdot e$$

Q Ladungsmenge in As oder C

N Anzahl der Elementarladungen

e Elementarladung in As oder C

1.1.2 Elektrischer Strom

Bewegte elektrische Ladungen werden als elektrischer Strom bezeichnet. Voraussetzung für das Fließen des elektrischen Stromes ist das Vorhandensein von frei beweglichen Ladungsträgern.

Leiterarten

Elektronenleiter. Die Elektronen der äußeren Schale von Metall- und Grafitatomen sind frei beweglich und füllen die Kristallzwischenräume als eine Art Elektronengas aus. Unter bestimmten Bedingungen können auch Gase und Vakua Elektronen leiten, die aus Elektroden emittiert werden.

Ionenleiter. In wässrigen Lösungen spalten sich die Moleküle von Säuren, Basen und Salzen in Anionen und Kationen auf, die in den Lösungen frei beweglich sind. In Gasen werden von schnell bewegten Elektronen aus den Gasmolekülen Elektronen herausgeschlagen, so dass in dem Gas positive Ionen und negative Elektronen zugleich frei beweglich sind.

Halbleiter. Verschiedene Stoffe wie Silizium, Germanium, Selen setzen in Abhängigkeit von ihrer Kristallstruktur, Verunreinigung und Temperatur in geringem Maße Elektronen frei.

Nichtleiter. Stoffe mit einer extrem niedrigen Konzentration an freien Elektronen heißen Nichtleiter. Sie ist z. B. bei Quarzglas um 21 Zehnerpotenzen kleiner als bei Kupfer.

Eigenschaften des elektrischen Stroms

- Elektrischer Strom ist eine in sich geschlossene Erscheinung, ein endloses Band bewegter Ladungsträger.
- Die Stärke des Stromes ist an allen Stellen des Bandes gleich.
- Der elektrische Strom hat eine Richtung. Die *technische Stromrichtung* ist die Bewegungsrichtung positiver Ladungsträger, d. h. die von Plus nach Minus. Davon ist die Bewegungsrichtung der (negativen) Elektronen zu unterscheiden, die *physikalische Stromrichtung* genannt wird. Sie ist der technischen Stromrichtung entgegengerichtet.
- Elektrischer Strom erzeugt (außer im Zustand der Supraleitung) immer Wärme in den Leitern.
- Ebenso erzeugt er stets ein Magnetfeld.
- Elektrischer Strom in Flüssigkeiten ist mit Stofftransport verbunden.

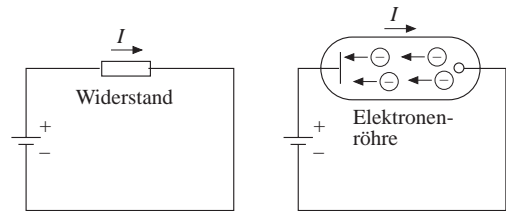


Bild 1.4 Technische Stromrichtung und Bewegungsrichtung der Elektronen/physikalische Stromrichtung

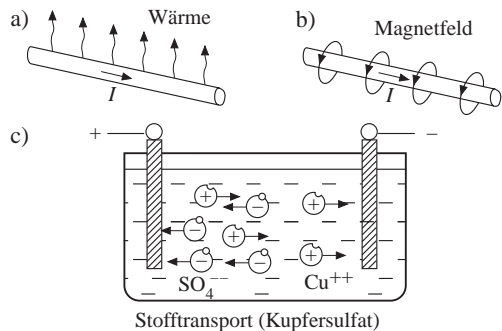


Bild 1.5 Wirkungen des elektrischen Stroms
a) Wärmewirkung; b) magnetische Wirkung;
c) chemische Wirkung

Elektrische Stromstärke I

Definition. Mit dieser physikalischen Größe wird die Intensität der Ladungsträgerbewegung bezeichnet.

Die elektrische Stromstärke ist die Ladungsmenge je Sekunde in einem Leiterquerschnitt.

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

I Stromstärke in A

Q Ladungsmenge in As

t Beobachtungszeit in s

Einheit. Das Ampere ist die Einheit der Stromstärke. Es ist eine Grundeinheit des internationalen Einheitensystems SI.

Messung. Das Messinstrument heißt *Strommesser* oder Amperemeter. Es wird so in den Stromkreis geschaltet, dass es vom zu messenden Strom durchflossen wird, d. h. in Reihe mit den Betriebsmitteln.

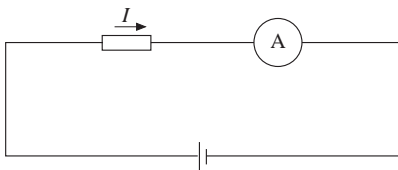


Bild 1.6 Strommesserschaltung

Stromarten

Gleichstrom. Ein Strom ständig gleich bleibender Richtung und über einen relativ langen Zeitraum auch gleich bleibender Stärke.

Wechselstrom. Ein Strom periodisch wechselnder Richtung und (meist auch) Stärke.

Mischstrom. Durch Überlagerung von Gleich- und Wechselstrom entsteht Mischstrom. Er wird auch als *pulsierender Gleichstrom* bezeichnet (Bild 1.7).

Stromdichte S

Sie kennzeichnet den Zusammenhang zwischen der Stromstärke I und dem Leiterquerschnitt A und ist ein Maß für die Strombelastung eines Leiters. Je höher diese Belastung ist, desto mehr erwärmt sich der Leiter.

$$S = \frac{I}{A}$$

S Stromdichte in A/m² bzw. in A/mm²

I Stromstärke in A

A Leiterquerschnitt in m² bzw. in mm²

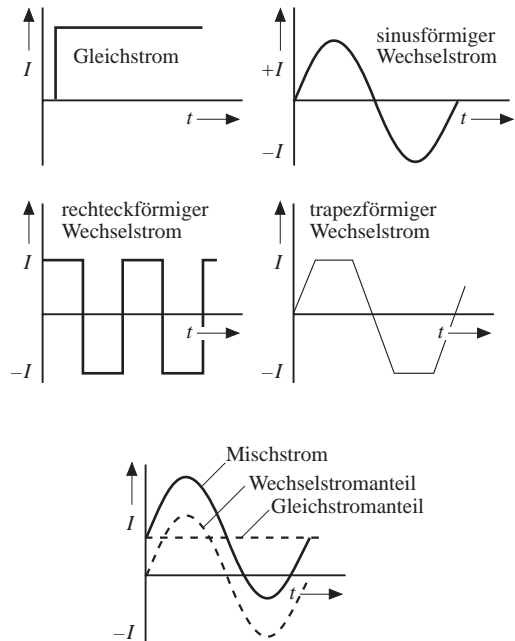


Bild 1.7 Stromarten

1.1.3 Elektrische Spannung

Wird eine Ladungsmenge im elektrischen Feld bewegt, so ändert sie ihre Energie.

- Zunahme: An der Ladung wird Arbeit verrichtet.

- Abnahme: Die Ladung verrichtet Arbeit.

Definition. Der Quotient aus der Energieänderung ΔW und der Ladungsmenge Q wird Spannung U genannt.

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

U Spannung in V

ΔW Energieänderung in Nm

Q Ladungsmenge in As

Einheit. Die Spannung wird in *Volt* gemessen.

$$1 \text{ V} = \frac{1 \text{ Nm}}{1 \text{ As}}$$

Spannungsquellen. Jene elektrischen Betriebsmittel, in denen die Energie von Ladungsmengen erhöht wird, werden Spannungsquellen oder *Stromquellen* genannt. Die Energieerhöhung wird entweder durch Ladungstrennung an Grenzflächen (Thermoelemente, Fotoelemente,