

11 Elektrisches Feld

11.1 Grundlagen

Schon im antiken Griechenland (600 v. Chr.) entdeckte Thales von Milet (Philosoph und Mathematiker) die Reibungselektrizität und ihre Kraftwirkung. Er rieb ein Stück Bernstein an einem Tierfell woraufhin kleine Federn und Stückchen von Stroh daran haften blieben. Milet konnte dieses Phänomen nicht erklären.

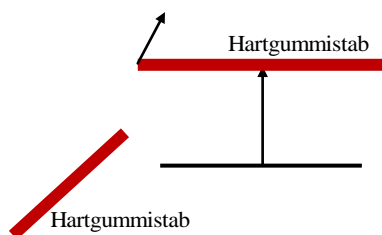
Da die Kräfte sehr klein waren sind sie für den damaligen Gebrauch sehr unbedeutend gewesen. Auch in Zeiten in denen die Mechanik weit fortgeschritten war (Römisches Reich, Renaissance) wurde von der Elektrizität kein Gebrauch gemacht. Erst während der raschen Entwicklung der Naturwissenschaften im 18. und 19. Jahrhundert wurden die Gesetze der Elektrizität systematisch erforscht. Heute weiß man, dass alle elektrischen Erscheinungen durch atomare Teilchen verursacht werden.

11.1.1 Existenz elektrischer Ladungen

Reibt man einen drehbar gelagerten Hartgummistab an einem Katzenfell und nähert diesem einen an

a) einem Katzenfell

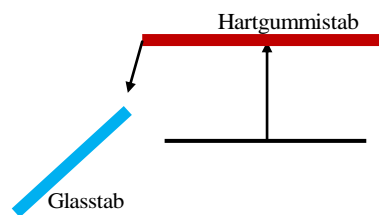
geriebenen Hartgummistab



so stoßen sich die beiden Stäbe ab.

b) einem Fensterleder (Seidentuch)

geriebenen Glasstab



so ziehen sich die beiden Stäbe an.

Erklärung:

Auf dem Stab und auf den Haaren des Fells befinden sich negative und positive Ladungsträger. Diese sind gleichmäßig verteilt, so dass Stab und Fell ungeladen sind (elektrisch neutral). Durch das Reiben werden die Ladungsträger zwischen dem Stab und dem Fell voneinander getrennt.

Auf dem Hartgummistab befinden sich überwiegend negative Ladungen (freie Leitungselektronen). Im Fell herrscht jetzt Elektronenmangel. Die übriggebliebenen Protonen ohne Partner bewirken die „positive Ladung“.

Da beide Hartgummistäbe negativ geladen sind stoßen sie sich gegenseitig ab.

Reibt man den Glasstab an einem Fensterleder (Seidentuch), so lädt sich das Glas positiv und die Seide entsprechend negativ auf. Da nun Hartgummistab und Glasstab entgegengesetzt geladen sind ziehen sie sich gegenseitig an.

Folgerung:

- Es gibt negative Ladungen (Elektronen) und positive Ladungen (Elektronenmangel).
- Gleichartige Ladungen stoßen sich gegenseitig ab.
- Ungleichartige Ladungen ziehen sich gegenseitig an.

Hat man zwei Tesastreifen die auf einem Tisch kleben und zieht die beiden sehr schnell vom Tisch ab, so sind beide ebenfalls elektrisch gleich geladen und stoßen sich gegenseitig ab.

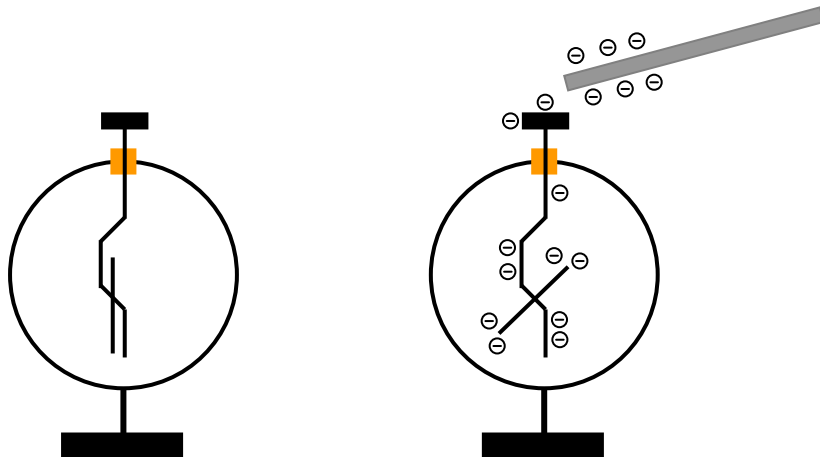
11.1.2 Nachweisgeräte für elektrische Ladungen

Zum Nachweis der elektrischen Ladung dient das Elektroskop.

In einem geerdeten Gehäuse befindet sich eine vertikale Metallstange, an der ein beweglicher Zeiger befestigt ist. Dieser ist unten etwas schwerer, so dass er senkrecht stehen bleibt.

Wird die obere Platte mit einem negativen Pol in Verbindung gebracht, so verteilen sich die fließenden Elektronen auf dem Stab und Zeiger.

Da sich gleichartige Pole abstoßen, tritt der Zeigerausschlag ein. Je stärker die Ladung ist, desto stärker tritt der Zeigerausschlag auf.



Bringt man an das Elektroskop eine kalibrierte Skala an, dann nennt man es ein Elektrometer.

Will man kleine Ladungsmengen messen müssen diese häufig verstärkt werden bevor sie verarbeitet werden können. Diese Aufgabe übernimmt ein Messverstärker.

Vorteile:

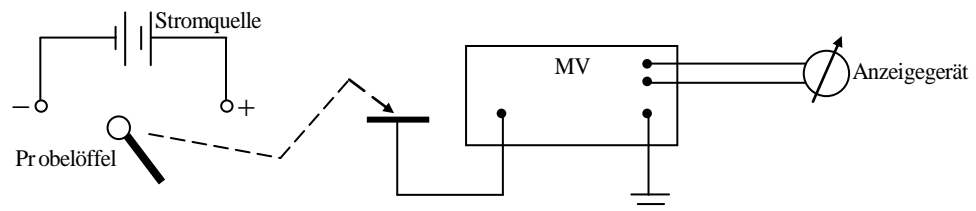
- Geringe Rückwirkung auf die Messgröße.
- Hohes Auflösungsvermögen.
- Gutes dynamisches Verhalten.
- Definiertes Übertragungsverhalten.

Anwendung des Messverstärkers:

1. Versuch: Ladungsmessung des geriebenen Hartgummistabs bzw. Glasstabs.

Ergebnis: Das Anzeigegerät des MV reagiert auf die unterschiedlichen elektrischen Ladungen durch entgegengesetzte Zeigerausschläge.

2. Versuch:



a) Berührung des Probelloffels mit dem Pluspol (Minuspol) der Stromquelle,

b) Messung der auf dem Probelloffel befindlichen Ladung mit Hilfe des MV.

Ergebnis: Der MV zeigt den gleichen Ausschlag wie bei der Berührung mit dem Glas- bzw. Hartgummistab.

Damit ist gezeigt, dass der geriebene Glasstab positive Ladungen

(Elektronenmangel) und der geriebene Hartgummistab negative Ladungen (Elektronenüberschuss) trägt.

3. Versuch: Wir bringen durch mehrmaliges Löffeln Ladungen vom Pluspol oder Minuspol der Stromquelle zum MV.

Ergebnis: Die dem MV zugeführte Ladung vergrößert sich durch das Löffeln auf ganzzahlige Vielfache. Die Ladung besitzt somit Mengencharakter.

4. Versuch: Wir bringen nacheinander mit dem Probelöffel Ladungen vom Plus- und Minuspol der Stromquelle zum MV.

Ergebnis: Der zunächst sichtbare Ausschlag des Anzeigeräts des MV geht nach der zweiten Berührung mit dem Probelöffel wieder auf Null zurück. Hieraus folgt, dass sich positive und negative Ladungen in ihrer Wirkung aufheben.

Für die Einheit der Ladung Q gilt: $[Q] = 1 \text{ As} = 1 \text{ C}$ (1 Coulomb)

1 Coulomb besteht aus $6,24 \cdot 10^{18}$ Elektronen, d.h. $1 \text{ C} = 6,24 \cdot 10^{18} e$

Die Elementarladung e des Elektrons ist die kleinste in der Natur vorkommende Ladung, sie ist unteilbar.

Somit gilt für die Ladung des Elektrons: $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Jede in der Natur vorkommende Ladungsmenge Q ist ein ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung. Man spricht von einer gequantelten Größe.

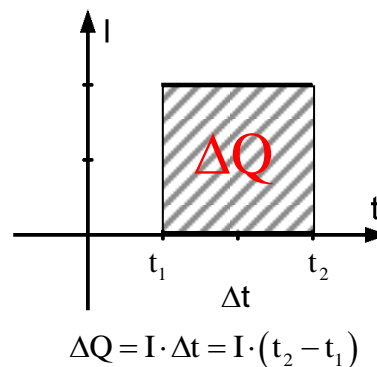
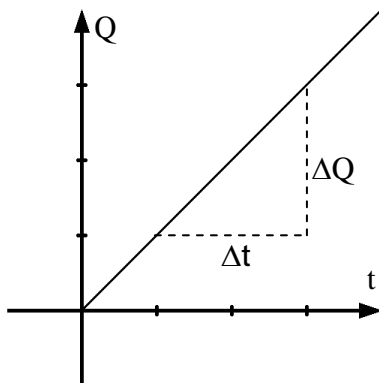
Ein Elektron trägt genau eine negative Elementarladung, ein Proton genau eine positive Elementarladung. Neutronen sind elektrisch neutral.

In der Physik schreibt man für eine kleine Ladungsmenge q und für eine große Ladungsmenge Q .

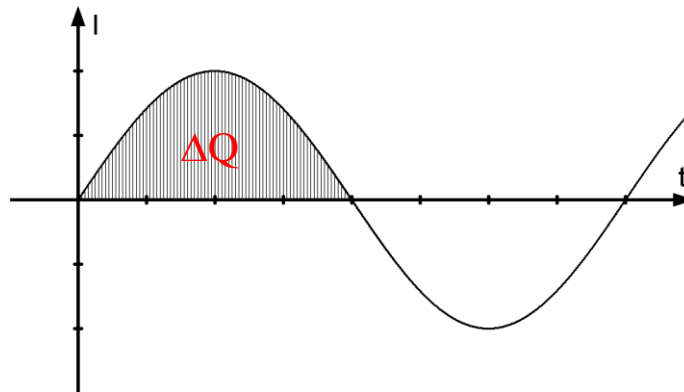
11.1.3 Elektrische Stromstärke

Bewegen sich elektrische Ladungsträger, so spricht man von einem elektrischen Strom I . Bewegt sich in einer bestimmten Zeit Δt immer die gleiche Ladungsmenge ΔQ an einem bestimmten Punkt vorbei, so hat man einen elektrischen Gleichstrom.

Dafür gilt: $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \text{konst.}$



Für Wechselstrom gilt: $I = I_0 \cdot \sin(\omega t) = I_0 \cdot \sin(2\pi f t)$



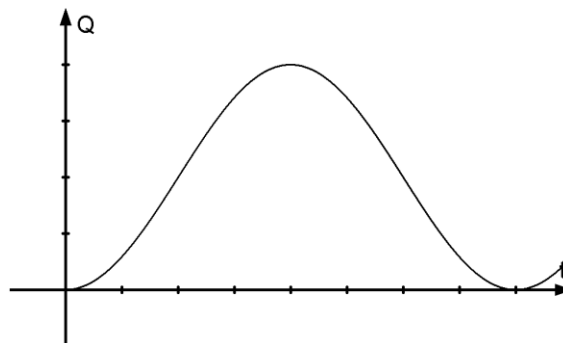
Die Ladungsmenge entspricht der Fläche unter dem Funktionsgraphen. Somit gilt:

$$\Delta Q = \int_{t_1}^{t_2} I(t) dt$$

$$\Delta Q = \int_{t_1}^{t_2} I(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} I_0 \cdot \sin(2\pi f t) dt = \left[-\frac{I_0}{2\pi f} \cos(2\pi f t) \right]_{t_1}^{t_2} = -\frac{I_0}{2\pi f} (\cos(2\pi f t_2) - \cos(2\pi f t_1))$$

Mit $t_1 = 0$ und $t_2 = t$ folgt:

$$Q(t) = \frac{I_0}{2\pi f} (1 - \cos(2\pi f t))$$



Ferner gilt:

$$I(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt} = \dot{Q}(t)$$

Physikalische Stromrichtung: Elektronen bewegen sich vom Minus- zum Pluspol.

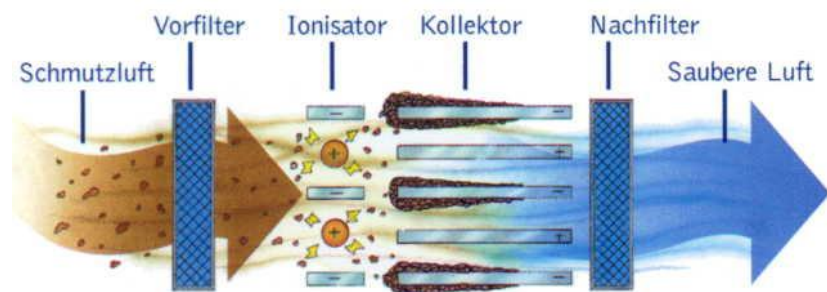
Technische Stromrichtung: vom Plus- zum Minuspol.

Aufgabe:

- 1.0 Durch einen Draht fließt ein sinusförmiger Wechselstrom mit einer Frequenz von $f = 50,0 \text{ Hz}$. Die maximale, momentane Stromstärke ist $I_0 = 1,25 \text{ A}$ ($\hat{=}$ Scheitelwert der Stromstärke).
- 1.1 Berechnen Sie, welche Ladungsmenge ΔQ insgesamt in einer Sekunde ($t = 1,0 \text{ s}$) durch den Draht fließt, wenn gilt: $I(t) = I_0 \cdot \sin(2\pi f \cdot t)$.
- 1.2 Berechnen Sie die verschobene Ladungsmenge ΔQ für eine Zeitspanne von $t = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ s}$ beginnend zum Zeitpunkt $t_0 = 0 \text{ s}$.

Prinzip der Luftreinigung:

Luftreiniger arbeiten auf dem elektrostatischen Prinzip, d.h. große Partikel werden vom mechanischen Vorfilter abgeschieden, kleinere Partikel werden im Ionisierungsabschnitt aufgeladen und von den folgenden Kollektorplatten angezogen.



Hier verbleiben Sie, bis Sie bei einer Reinigung der Filterzelle abgewaschen werden. (Die Filter könne somit immer wieder verwendet werden)

Optimal kann bei den meisten Geräten ein Aktivkohlefilter nachgerüstet werden, dieser entfernt zusätzlich Gerüche und wird nach Verbrauch ausgetauscht

Prinzip eines Kopierers (Laserdruckers) → Xerographie

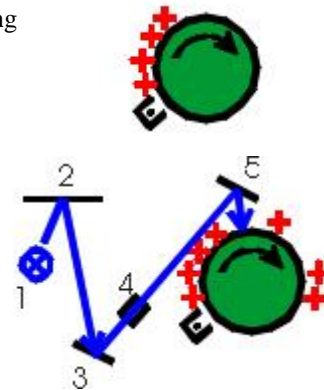
Dies ist ein Verfahren, bei dem ein Bild erzeugt wird, indem ein thermoplastisches Pulver – der Toner – von einem lichtempfindlichen Photorezeptor angezogen wird. Dieser Toner wird wiederum auf das Papier übertragen und das Tonerbild anschließend mit Hitze und Druck fixiert. Bei diesem Prozess der Bildgebung dreht sich der als Trommel bzw. Band ausgeführte Photorezeptor und durchläuft die nachfolgend kurz erläuterte Folge von sieben Einzelschritten.

1. Aufladung:

Zunächst bringt das sogenannte Koroton - ein Draht, an dem eine hohe Spannung anliegt - eine einheitliche elektrostatische Ladung auf die Oberfläche des Photorezeptors auf.

2. Bildgebung:

Dann wird das Bild der Originalvorlage auf den Photorezeptor projiziert. Eine Lampe (1) beleuchtet das Dokument (2). Das Bild wird von einem Spiegel (3) durch ein Objektiv (4) reflektiert und über einen weiteren Spiegel (5) auf den Photorezeptor projiziert.



3. Belichtung:

Die Ladung des Photorezeptors wird durch Licht neutralisiert. Während sich der Photorezeptor dreht, ist er dem von der Originalvorlage reflektierten Licht ausgesetzt; dadurch wird die Ladung auf der Oberfläche des Photorezeptors in den bildfreien Bereichen (weiß) neutralisiert. Da von den Bildbereichen kein Licht reflektiert wird, bleiben die entsprechenden Bereiche auf der Trommel geladen. Aus diesem Prinzip ergibt sich auch das Problem der schlechten Kopienqualität bei Photos oder sehr fein gerasterten Drucken: Entweder fließt Ladung ab oder eben nicht. Es muss eine Entscheidung getroffen werden, ab welchem Helligkeitsgrad etwas als "weiß" oder "schwarz" zu gelten hat. Da diese Grenze aber fließend ist, ergeben sich beim Kopieren ungleichmäßig verteilte Grautöne, vieles ist zu dunkel, anderes zu hell.

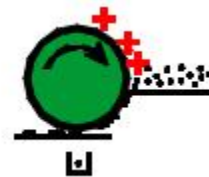
4. Entwicklung:

Der Toner wird mit Trägerkörnchen (Entwickler) gemischt, und erhält eine dem Photorezeptor entgegengesetzte Ladung. Diese Aufladung entsteht durch die Reibung zwischen unterschiedlichen Oberflächen. Wenn der Toner mit der Oberfläche des Photorezeptors in Kontakt kommt, wird er aufgrund der Ladung auf die Oberfläche gezogen, so dass ein Spiegelbild der Vorlage entsteht.



5. Übertragung:

Mit diesem elektrisch haftenden Tonerbild dreht sich der Photorezeptor, bis er mit einem Blatt Papier in Kontakt kommt. Dieses Blatt wird wiederum durch einen weiteren Korotrondraht aufgeladen, allerdings mit einer stärkeren Ladung als der Photorezeptor, sodass die Tonerpartikel auf das Papier übertragen werden.



6. Fixierung:

Das Papier wird vom Photorezeptor gelöst und durchläuft zwei beschichtete Walzen, die die Tonerpartikel durch Aufbringen von Hitze und Druck miteinander verschmelzen und auf dem Papier fixieren. Damit der Toner nicht auf den Walzen haften bleibt, sind diese oft mit Teflon beschichtet und sind mit Silikonöl überzogen.



7. Reinigung:

Die verbleibende statische Aufladung wird dann von einem Reinigungskorotron abgeschwächt und der restliche Toner mit Hilfe eines Abstreifers (bzw. einer Reinigungsbürste) entfernt. Zum Abschluss wird der Photorezeptor durch die Lichtquelle vollständig neutralisiert. Anschließend ist die Oberfläche bereit, erneut die verschiedenen Schritte der Aufladung und Bildgebung zu durchlaufen.



Unterschied zum Laserdrucker und digitalem Kopierer

Bei Druckern ist ein wesentlicher Unterschied zu beachten: Es gibt keine Originalvorlage. Statt dessen wird der aufgeladene Photorezeptor Lichtimpulsen eines Laserstrahls oder von LEDs ausgesetzt, der von einem sich drehenden Spiegel über die Trommel bzw. das Band gelenkt wird. Platzierung und Folge dieser Impulse werden durch Signale vorgegeben, die wiederum durch den elektronischen Transfer digitaler Daten – beispielsweise von einem Computer – gesteuert werden. Der grundsätzliche Ablauf des Aufbringens von Toner auf den Photorezeptor und das Papier sowie die abschließende Fixierung ist identisch mit dem des Kopierverfahrens.

Und wie arbeiten Farb-Laserdrucker und Farbkopierer?

Im Prinzip genauso. Der Unterschied besteht darin, dass für jede der vier Farben ein Druckvorgang notwendig ist.

Vorteile des Laserdruckers

- Hohe Druckqualität, vor allem bei Schrift und Grafik
- Hohe Seitenleistung (Seiten pro Minute)
- Geringe laufende Druckkosten
- geringe Umweltbelastung
- hohe Zuverlässigkeit und lange Lebensdauer
- Ausdrücke wasser- und wischfest

Nachteile des Laserdruckers

- hohe Anschaffungskosten
- Farblaser sind noch sehr teuer und sperrig
- bei gängigen Modellen keine Photoqualität beim Ausdruck möglich