

Elektrostatik

Elektrostatik ist die Lehre von den ruhenden elektrischen Ladungen und was damit zusammenhängt.

Phänomene und Begriffe

Im antiken Griechenland beobachtete man, dass mit Wolle geriebener Bernstein Fusseln und Staub anzieht. In der Neuzeit (vor 1600) begann William Gilbert, der Hofarzt von Elisabeth I von England, auf diesem Gebiet zu experimentieren. Gilbert prägte das Adjektiv "elektrisch", weil Bernstein auf griechisch "elektron" heisst. Bernstein kann durch Reibung elektrisch geladen werden.

Heute erklärt man diese Reibungselektrizität so: Wolle und Bernstein kommen durch das Reiben an vielen Stellen in engen Kontakt. An den Kontaktstellen können Elektronen vom einen zum anderen Material wechseln. Da Elektronen in verschiedenen Stoffen ungleich stark gebunden sind, kann der eine Stoff einen Elektronenüberschuss, der andere einen leichten Elektronenmangel erlangen. Elektronen sind elektrisch geladen.

Reibungselektrizität im Alltag:

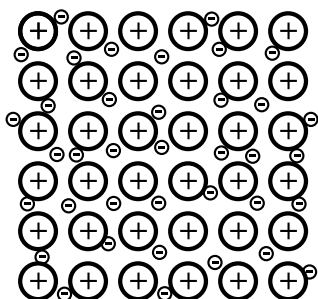
Im Winter den Pullover ausziehen, mit Kunststoffsohlen über Teppich laufen

Kunststoff lässt sich deshalb leicht aufladen, weil die Ladung an Ort bleibt. Alle Ladungsträger sind gebunden. Stoffe, die eine Ladungsausbreitung verhindern, heissen *Isolatoren*.

Beispiele: Bernstein, Glas, Paraffin, viele Kunststoffe und Mineralien, trockene Luft, Vakuum

Berührt man ein Ende eines isolierten Metallstabes mit einem geladenen Körper, so ist auch am anderen Ende Ladung nachweisbar. Stoffe, auf denen sich Ladungen ausbreiten können, heissen *Leiter*.

Beispiele: Metalle, Graphit (Kohle), Salzwasser, Salzschnmelzen, Plasmen, Säuren



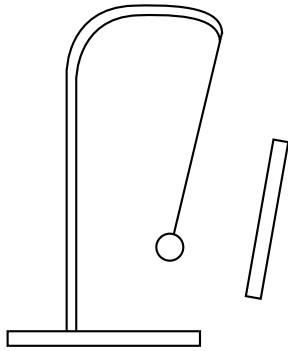
In Metallen transportieren Elektronen die Ladung.

Abbildung 445: Aufbau von Metallen

Die Metallatome im Kristallgitter geben jedes im Durchschnitt 1-3 Elektronen ab. Die Ionen bleiben an Ort, die Elektronen können sich innerhalb des Gitters frei bewegen. Man sagt, sie bilden ein 'Elektronengas'. Diese freien Elektronen können Ladung transportieren.

Mit dem Begriffspaar Leiter-Isolator werden Stoffe grob in zwei Klassen eingeteilt. Als feineres Mass folgt später die Leitfähigkeit. Elektrostatik-Experimente stellen hohe Anforderungen an Isolatoren.

Elektrische Kräfte



Demonstration

Abbildung 446: Ein metallisiertes, leichtes Kugelchen wird an einem Kunststofffaden isoliert aufgehängt. Reibt man einen Nylonstab mit einem Katzenfell und hält ihn in die Nähe des Kugelchens, so wird das anfangs ungeladene Kugelchen leicht angezogen. Hat das Kugelchen den Stab jedoch einmal berührt und von ihm etwas Ladung aufgenommen, so wird es fortan vom Nylonstab stark abgestossen.

Wird der in Abb. 446 beschriebene Versuch fortgesetzt, indem man einen mit Seide geriebenen Glasstab in die Nähe des bereits mit 'Nylonelektrizität' geladenen Kugelchens hält, so wird es angezogen. Berührt das Kugelchen den Glasstab und nimmt 'Glaselektrizität' auf, so wird es vom Glasstab abgestossen. Aus vielen ähnlichen Versuchen hat Charles Dufay 1733 gefolgert, dass es zwei Sorten elektrische Ladung gibt.

Gleichnamige Ladungen stossen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

Benjamin Franklin (1706-1790, Erfinder des Blitzableiters und späterer amerikanische Präsident) hat diese zwei Sorten positive und negative Ladung genannt. Die Ladung eines mit Wolle geriebenen Bernsteins nannte man negativ, die eines mit Seide geriebenen Glasstabs positiv. Leider erfolgte die Zuordnung der Namen lange vor der Entdeckung des Elektrons. Das Elektron stellte sich als negativ geladen heraus. Dies führt manchmal zu lästigen Vorzeichenfehlern. In Zeichnungen oder an Geräten wählt man oft die Farbzuordnung positiv rot und negativ blau (entsprechend den Anschlüssen einer Kupfer-Zink-Batterie).

Das Vorzeichen der Ladung kann durch Vergleich mit 'Bernsteinelektrizität' bestimmt werden oder indem man den Körper durch eine Glimmlampe entlädt. Das Neongas in der Glimmlampe leuchtet auf der negativen Seite kurz auf.

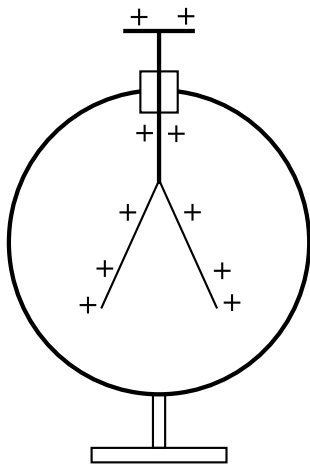


Abbildung 447: Das Goldblatt-Elektroskop dient der qualitativen Beobachtung elektrischer Ladungen. Elektrische Kräfte spreizen zwei frei nebeneinander hängende, geladene Metallfolien. Der Spreizwinkel wächst mit der Ladung. Verbindet man gleichstark aber ungleichnamig geladene Elektroskope, so neutralisieren sich die Ladungen. Moderne Elektroskope haben meist Zeiger statt Metallfolien. Will man quantitativ messen, muss das Elektroskop (gr. skopein, betrachten) mit einer Skala versehen werden. Das Gerät heisst dann Elektrometer (gr. metrein, messen). Eine besonders wichtige Variante ist das elektrostatische Voltmeter.

Influenz

Demonstration: Ein *leitendes* Kügelchen wird isoliert aufgehängt und entladen. Es wird trotzdem von einem geladenen Stab angezogen. Wie ist das zu erklären? (siehe Abb. 448 und 451)

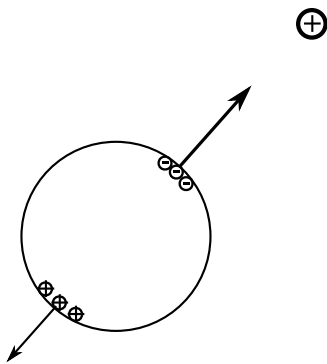


Abbildung 448: Eine externe, positive Punktladung trennt in einem elektrisch neutralen Metallstück die Ladungen: Freie Elektronen werden angezogen, auf der Gegenseite bleiben positive Ionen zurück. Da die Elektronen näher bei der Punktladung sind als die Ionen, überwiegt die Anziehungskraft.

Die Ladungstrennung aufgrund externer Ladungen heisst *Influenz* (von lat. Einfluss).

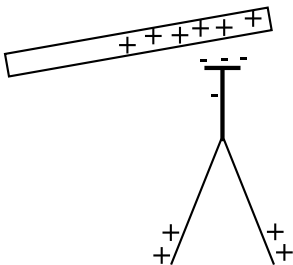


Abbildung 449: Nähert man einen geladenen Stab einem ungeladenen Elektroskop, so schlägt das Elektroskop wegen der Influenz aus. Ist das Elektroskop bereits geladen, so kann man der Reaktion ansehen, ob Stab- und Elektroskop-Ladung gleichnamig sind. Dann nämlich vergrössert die Influenz den Ausschlag zusätzlich, andernfalls verringert sie ihn.

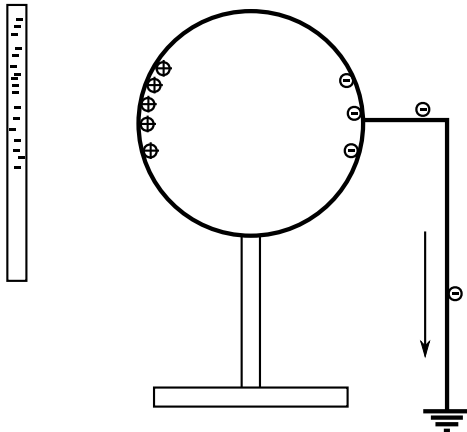


Abbildung 450: Ein geladener Stab bewirkt eine Ladungstrennung in einer isoliert aufgestellten, ungeladenen Metallkugel. Berührt man die dem Stab abgewandte Seite der Kugel mit einem Erdungskabel, so kann die dort vorhandene Ladung abfliessen. Entfernt man das Erdungskabel und danach den geladenen Stab, so bleibt die Kugel elektrisch geladen. Die Erde kann fast beliebig viel Ladung aufnehmen oder abgeben. Bei der Situation im Bild könnte man auch so tun, als ob positive Ladung zur Kugel hin flösse.

Demonstration: Eine Influenzmaschine erzeugt nach diesem Prinzip grosse Ladungen und Funken.

Demonstration: Ein neutraler *Isolator* wird auch von einer Punktladung angezogen. Hülle und Kern der Atome eines Isolators werden leicht gegen einander verschoben, wenn eine Ladung in der Nähe ist (siehe Abb. 451). Man sagt, die Atome werden 'polarisiert'. Auf der Isolator-Oberfläche erscheinen Polarisationsladungen, von denen jene stärker angezogen werden, die der Punktladung näher sind.

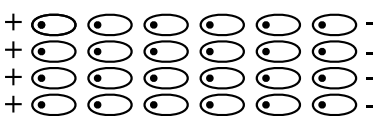


Abbildung 451: Verschiebungspolarisation (mehr im Abschnitt Kondensator)

Ladungserhaltung

Demonstration: Wir messen die Ladung von Fell und Stab, wenn ein ungeladener Nylonstab mit einem ungeladenen Fell gerieben wird, siehe Abbildung 452.

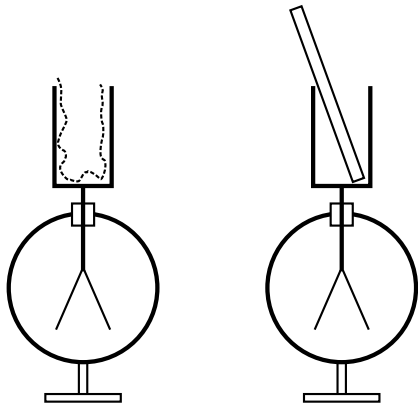


Abbildung 452: Legt man ein Katzenfell über ein Elektroskop, reibt es mit der vorderen Hälfte eines Nylonstabs ohne es weiter zu berühren, stösst es mit dem Stab in den Becher hinein und stellt den Stab mit der vorderen Hälfte voran sofort in den Becher eines zweiten, gleichen Elektroskops, so schlagen beide gleich stark aus. Verbindet man die zwei Elektroskope mit einem isolierten Draht, verschwindet bei beiden der Ausschlag.

Der Versuch in Abb. 452 zeigt, dass gleich viel positive wie negative Ladung erzeugt worden ist. Die Summe aller Ladungen vor und nach dem Reiben ist gleich, nämlich Null.

In einem abgeschlossenen System ist die Gesamtladung konstant.

Ladung kann weder erzeugt noch vernichtet werden. Wird ein Körper aufgeladen, so handelt es sich stets um eine Ladungstrennung. Der Ladungserhaltungssatz ist mit äusserster Präzision geprüft worden. Bis jetzt ist noch keine eindeutige Verletzung des Satzes aufgetreten.

Um den Ladungserhaltungssatz algebraisch zu formulieren, benötigen wir Platzhalter:

Q, q “quantity of electricity” (Ladungsmenge, nicht mit Wärmemenge verwechseln!)

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + \dots = \sum Q_i = \text{const} \quad (\text{Ladungserhaltungssatz})$$

$[Q] = 1 \text{ C}$ Coulomb, Einheit der elektrischen Ladung

Im internationalen Einheitensystem (SI) ist das Ampère (1 A) die Basiseinheit der Elektrizität.

$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$ (Ampère-Sekunde), mehr dazu später.

Ladungserhaltung wurde 1746 durch W. Watson und 1747 von B. Franklin vorgeschlagen. Das erste, überzeugende Experiment zur Ladungserhaltung wurde von M. Faraday 1843 durchgeführt. Es gibt auch einen theoretischen Grund: Nach dem Noether-Theorem ist die Ladungserhaltung eine Folge der Eichinvarianz des elektromagnetischen Feldes.