

EI PH3  2010-11	<i>PHYSIK</i>  <b>Stunde vom 25.03.2011</b>	<b>Zusammenfassung</b>
-----------------------	---	------------------------

Hier gibt es eine (Formel-) Zusammenfassung zur Elektrostatik.

### **Ladungen**

Es gibt zwei Ladungssorten; positive und negative Ladungen. Dabei stoßen sich gleichnamige Ladungen ab und ungleichnamige Ladungen ziehen sich an (*elektrische Kraft*, siehe unten). Im *Milikan-Versuch* (siehe unten) konnte nachgewiesen werden, dass es eine kleinste Ladung im Atom gibt; die sogenannte **Elementarladung e**. Sie beträgt etwa  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C. Coulomb ist die Einheit der Ladung und wird mit C abgekürzt. Wie wir heute wissen, ist e gar nicht elementar. Es gibt Bausteine der Kernteilchen (Protonen und Neutronen), die **Quarks**, und sie tragen 1/3 bzw. 2/3 von e. Elektronen tragen  $-e$ , Protonen tragen  $+e$ .

### **Ladung wird weder erzeugt, noch vernichtet**

Ladung scheint (wie Energie) weder erzeugt, noch vernichtet werden zu können. Daher spricht man auch von der Ladungserhaltung. Man vermutet, dass die Gesamtladung im Universum Null ist.

### **Die Elektrische Kraft ist viel stärker als die Gravitationskraft**

Die elektrische Kraft (auch **Coulomb-Kraft** genannt) ist viel stärker als die uns bereits bekannte Gravitationskraft und kann anders als diese auch abstoßend wirken. Vergleicht man die anziehende Gravitationskraft mit der abstoßenden elektrischen Kraft bei Protonen, dann ist die **elektrische Kraft etwa  $10^{36}$ -mal stärker als die Gravitationskraft**. Das ist unvorstellbar viel mehr. *Wieso können Atomkerne stabil sein?! Es muss eine noch stärkere Kraft geben und das ist die Kernkraft. Sie beschäftigt uns in der kommenden Einheit.*

### **Strom ist fließende Ladung**

Bewegt sich Ladung, dann spricht man von einem Ladungsstrom oder von einem (elektrischen) Strom. Fließt viel Ladung in kurzer Zeit, dann entspricht das einem hohen Strom. Man definiert also  **$I = Q/t$**  (I für die Stromstärke, Q für Ladung und t für Zeit). Die Einheit der **Stromstärke** ist **Ampere** oder kurz A.

### **Strom ist nicht das gleiche wie Stromstärke**

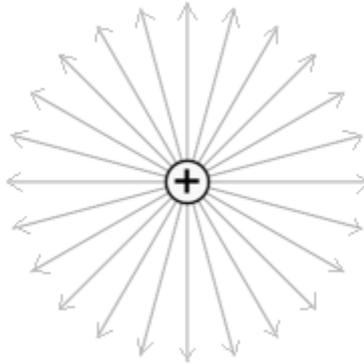
Man muss etwas aufpassen; die Stromstärke ist eine Eigenschaft des elektrischen Stroms. Dieser hat aber auch eine Richtung usw. Daher sind sie nicht dasselbe.

### **Strom in elektrischen Leitern – Influenz**

In Metallen fließt elektrischer Strom sehr gut. Daher sind unsere Kabel im Alltag auch aus Kupfer. Das liegt daran, dass in Metallen die Idee von einem Gerüst aus Atomen, die wiederum aus einem Kern und umkreisenden Elektronen bestehen, nur bedingt richtig ist. Denn einige der Elektronen je Atom sind frei beweglich („**delokalisiert**“) und können so zur Ladungsverschiebung beitragen. Der Einfachheit halber kannst du elektrische Leiter mit Metallen gleichsetzen. Nichtmetalle sind fast immer Isolatoren und deren Leitfähigkeit ist viel schlechter (siehe unten).

## Elektrische Felder durchdringen alles

Elektrische Ladungen sind von elektrischen Feldern umgeben. Das elektrische Feld ist eine theoretische Idee, die eine „was wäre, wenn“-Frage beantwortet: Was wäre, wenn sich unserer ortsfesten Ladung (bspw. ein Atomkern) ein Proton nähert. Die **Feldlinien** geben hier an, wie sich dieses Proton verhalten würde:



Dabei ist die eingezeichnete Pfeilrichtung völlig willkürlich. **Man zeichnet nach einer Konvention die Pfeile immer so, wie sich eine positive Ladung in diesem Feld bewegen würde.** In unserem Fall würde das Proton ja abgestoßen, daher die Pfeile nach außen. Elektrische Felder können sich überlagern („**Superpositionsprinzip**“).

## Die elektrische Feldstärke gibt an, wie stark ein elektrisches Feld ist

Genauso wie beim elektrischen Strom möchte man auch für das elektrische Feld eine Stärke angeben können. Man definiert daher die elektrische Feldstärke als „Kraft pro Ladung“, sprich, wie stark ist die Kraft, die mein Feld auf eine positive Probeladung ausüben kann? Daher liegt die Formel  **$E = F/q$**  nahe ( $E$  = Feldstärke,  $F$  = wirkende (Coulomb-)Kraft auf die Ladung  $q$ ). Kennt man die Feldstärke und die Ladung, kann man die wirkende Kraft  $F = Eq$  berechnen. Um eine der beiden Formeln merken zu können (die ja durch Umformen ineinander übergehen), merke sie dir mit  $q=e$  (also ist die Ladung im Feld gerade eine Elementarladung), denn dann ist sie  $F = Ee$  oder kurz „**Fee**“:



Eine eigene Einheit der Feldstärke gibt es nicht. Wegen  $F/q$  ist sie Newton/Coulomb bzw. kurz N/C.

## Spannung

Ladungen werden zwar nicht erzeugt oder vernichtet, sie lassen sich aber gegen die dann anziehend wirkende Coulombkraft trennen. **Werden Ladungen voneinander getrennt, entsteht eine Spannung.** Das ist eigentlich nichts anderes wie beim Gravitationsfeld der Erde: Auch hier kann man die Massen „trennen“: Du hebst einen auf dem Boden liegenden Stein gegen seine Gewichtskraft hoch. Lässt du ihn los, bewegt er sich wieder Richtung Boden zurück. Genauso verhalten sich Ladungen; verbindest du getrennte Ladungen mit einem Leiter können sie sich „ausgleichen“. Spannung beschreibt also die Fähigkeit, sich in Bewegung zu setzen. Daher definiert man **Spannung als Arbeit pro Ladung**. Sie beschreibt also, wieviel Arbeit eine Ladung verrichten kann. Das ist analog zu unserem Stein; er kann ja auch Arbeit verrichten, weil er beim Herunterfallen bspw. einen anderen Gegenstand hochheben könnte. In eine Formel gepresst ist das dann  $U = W/q$  (mit  $U$ =Spannung,  $W$ =Arbeit bzw. Energie und

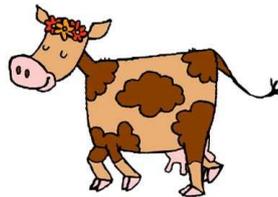
$q$ =Ladung). Die Einheit der Spannung ist also Joule/Coulomb und weil sie so wichtig ist, gibt es dafür einen eigenen Namen: **Volt** oder kurz V.

### In Kondensatoren lassen sich Ladungen speichern

Orte, wo Ladungen getrennt „gespeichert“ werden können, nennt man Kondensatoren. Zurück zu unserer Analogie: Die Lageenergie des hochgehobenen Steines wird in unserer Hand „gespeichert“. Kondensatoren speichern elektrische Energie. Wieviel ein Kondensator speichern kann, hängt von seiner Kapazität (siehe unten) ab.

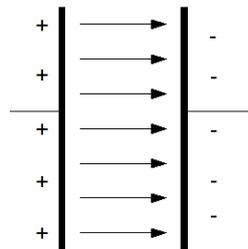
### Kapazität

Die Kapazität eines Kondensators ist die Fähigkeit, getrennte Ladungen zu speichern. Die Einheit ist das Farad, kurz F. Die Kapazität hängt von vielen Größen ab. Wird sie überschritten, kommt es zu unkontrollierten Überschlügen („Blitze“). Unsere Hand kann ja auch keinen beliebig schweren Stein halten. In einer Formel lässt sich die Kapazität als Faktor zwischen Spannung und Ladung beschreiben:  $Q=C \cdot U$  ( $Q$ =Menge der getrennten Ladung,  $C$ =Kapazität und  $U$ =Spannung). Denn man erwartet im einfachsten Fall bei doppelter Ladungsmenge eine doppelte Spannung. Also ist die Kapazität  $C=Q/U$ . Die erste Formel kann man sich besser merken, denn da steht „Kuh=Kuh“:



### Der Plattenkondensator als Spezialfall eines Kondensators

Besonders einfach sind die neu eingeführten Begriffe an einem Plattenkondensator zu verstehen. Ein Plattenkondensator besteht aus zwei gleichgroßen Platten mit einer Plattenfläche  $A$  auf jeder Seite, die mit einem festen Abstand  $d$  voneinander getrennt sind.



Nehmen wir einmal an, wir haben auf unserem Plattenkondensator Ladungen gespeichert. Was passiert jetzt? Zuerst einmal hat sich ein elektrisches Feld gebildet, denn auf beiden Seiten sind elektrische Ladungen. Die Feldlinien sollten direkt von einer zur anderen Platte gehen (rechtwinklig zur Platte und parallel zueinander; siehe Zeichnung). Man spricht bei einem so regelmäßigen Feld von einem **homogenen Feld**. An den Plattenrändern kommt es allerdings zu Verzerrungen.

### Im Plattenkondensator ist die Feldstärke sehr einfach bestimmt

Die Feldstärke im Inneren eines Plattenkondensators hängt nur von der aufgebracht Ladung  $Q$  und der Plattenfläche  $A$  ab. Eigentlich von der „Ladungsdichte“ Ladung pro Flächeneinheit, denn  $A$  hast du mehr Fläche, kann sich eine gleiche Ladung  $Q$  besser „verteilen“. Der einfachste Zusammenhang wäre  $E=c \cdot Q/A$  mit einer Konstanten  $c$ , die historisch  $1/\epsilon_0$  ist mit  $\epsilon_0$  als **elektrische Feldkonstante**.

## Im Plattenkondensator ist die Kapazität sehr einfach bestimmt

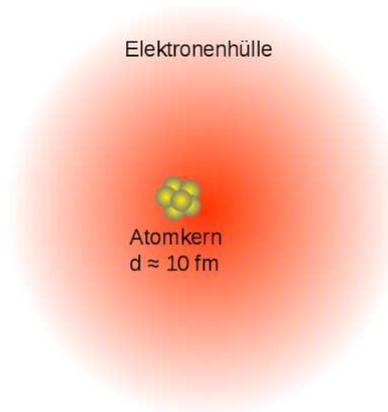
Die Kapazität des Plattenkondensators hängt wieder nur von zwei einfachen Größen ab. Von der Plattenfläche  $A$  und vom Abstand der Platten  $d$ . Man findet auch hier einen sehr einfachen Zusammenhang:  $C = \epsilon_0 \cdot A/d$ . Wieder taucht die elektrische Feldkonstante auf.

## Die Spannung eines Plattenkondensators

Außerdem ist eine Spannung entstanden. Stell dir ein frei bewegliches Proton in der Nähe der positiv geladenen Platte vor; es würde stark abgestoßen und gleichzeitig stark von der negativ geladenen Platte angezogen. Es „fällt“ also auf die negativ geladene Platte (wie unser Stein, den wir im Anziehungsfeld der Erde fallen lassen). Dabei wird das Proton durch die elektrische Kraft beschleunigt. Der Zusammenhang zwischen Spannung und elektrischem Feld ist im Plattenkondensator sehr einfach:  $U = E \cdot d$ . Sprich, doppeltes Feld, doppelte Spannung oder halber Abstand, halbe Spannung. Hier taucht nicht einmal mehr eine Konstante auf.

## Nicht-Leiter (Isolatoren) und Polarisation

In Nicht-Metallen stimmt die Idee vom Atomgerüst mit fest zugehörigen Elektronen. Daher ist dort keine Influenz möglich und die Leitung von elektrischem Strom ist entsprechend schlecht. Es gibt allerdings „Influenz im Kleinen“: Befindet sich ein Isolator in einem elektrischen Feld (wie unsere Grieskörner), so werden die Elektronen eines Atoms leicht verschoben:



Auch hier bildet sich ein kleines elektrisches Feld aus, das dem eigentlichen Feld genau entgegengesetzt wirkt und dieses abschwächt.

## Mit Isolatoren lässt sich die Kapazität eines Kondensators erhöhen

Befindet sich zwischen den Platten eines Plattenkondensators ein Isolator, so erhöht sich die Kapazität mit einem Faktor zu  $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A/d$ . Ein Beispiel: Für Glas gilt  $\epsilon_r = 9$ .