

11. Elektrostatik

Ziel dieses Kapitels ist es zu verstehen warum ein Blitz meistens in spitze Gegenstände einschlägt und wie ein Kondensator Ladungen speichert.

11.1 Grundlagen

Versuch 1: "Der geladene Schüler"

Beobachtungen:

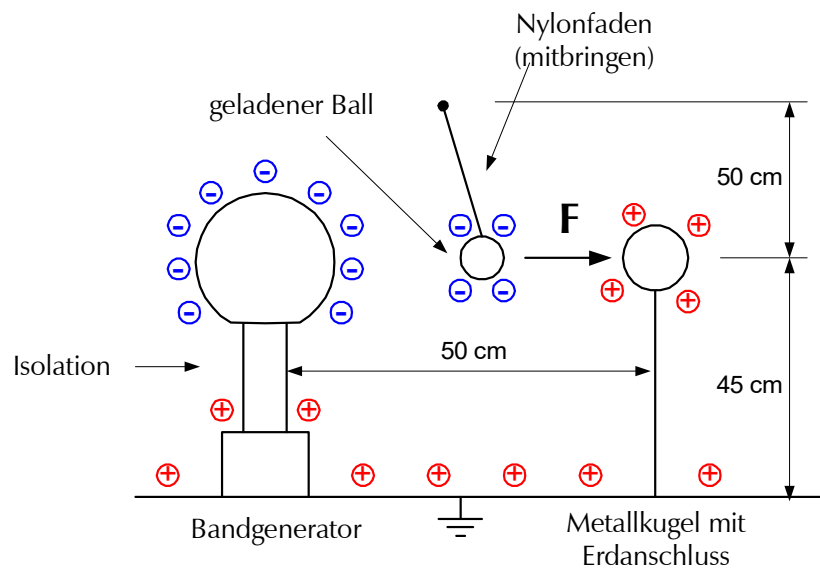
- Durch den Kontakt mit dem Bandgenerator wird der isoliert stehende Schüler unter Spannung gesetzt (mehrere kV).
- Wenn der Schüler den Bandgenerator loslässt, bleibt die Spannung erhalten.
- Bei Kontakt mit einem geerdeten Gegenstand (z.B. Lehrer), verschwindet die Spannung unter Bildung eines Funken.
- Berührt der unter Spannung stehende Schüler eine isoliert stehenden Metallkugel, so wird auch diese unter Spannung gesetzt. Je öfter er das wiederholt, umso höher steigt die Spannung an der Kugel.

Schlussfolgerungen:

- Da ein Funken nichts anderes ist als durch die Luft wandernde Elektronen, muss sich der Schüler über den Bandgenerator mit Elektronen aufgeladen haben.
- Der Bandgenerator fördert also negative Ladungen auf die Kugel und gibt die positiven Ladungen an Erde ab. Durch diese Ladungstrennung entsteht eine Spannung.
- Sowohl auf der Kugel als auch auf dem Schüler sind Ladungen gespeichert, selbst nachdem der Schüler den Generator losgelassen hat.
- Berührt der geladene Schüler einen geerdeten Gegenstand, fließen die negativen Ladungen zurück zu den positiven Ladungen und die Spannung verschwindet.
- Geladenen "Objekte" können ihre Ladung auf andere Objekte übertragen. Je mehr Ladung übertragen wird, umso höher steigt die Spannung an diesen Teilen.

Versuch 2: Kraftwirkung auf geladene Gegenstände

Versuchsaufbau:



Beobachtung:

Hängt man einen negativ geladenen Ball zwischen eine negativ und eine positiv geladene Kugel, so wirkt eine Kraft auf den Ball in Richtung der positiv geladenen Kugel. Da diese Kraft zwischen ruhenden (statischen) Ladungen wirkt, bezeichnet man sie als elektrostatische Kraft.

Schlussfolgerung:

Positive und negative Ladungen ziehen sich gegenseitig an. Gleichnamige Ladungen stoßen sich gegenseitig ab.

11.2 Elektrisches Feld

Da man nicht wirklich weiß warum entgegengesetzte Ladungen sich anziehen, behauptet man einfach sie wären von einem Kraftfeld umgeben. Man bezeichnet dieses Kraftfeld auch als elektrisches Feld. Graphisch kann man dieses Feld mit Hilfe von Feldlinien darstellen.

Für Feldlinien des elektrischen Felds gilt:

1. Die Feldlinien verlaufen ohne Knick von den positiven zu den negativen Ladungen. Sie haben also einen Anfang und ein Ende.
2. Eine Feldlinie verlässt den geladenen Körper immer senkrecht zur Oberfläche der Elektroden.
3. Sind die Ladungen symmetrisch verteilt, so ist auch das Feld symmetrisch.
4. Setzt man eine positive Ladung irgendwo auf eine Feldlinie, so gibt die Feldlinie einem die Richtung an in die die Ladung gezogen wird.
5. Je dichter die Feldlinien sind umso stärker ist das elektrische Feld.

Aufgabe 1:

Zeichne die Feldlinienbilder des elektrischen Felds folgender Anordnungen.

Kugelelektroden



Plattenelektroden



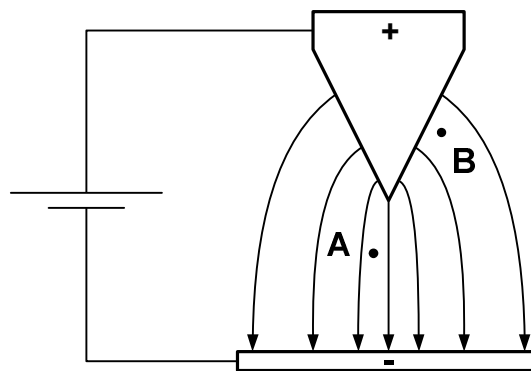
11.3 Elektrische Feldstärke (E)

Die elektrische Feldstärke E ist ein Maß für die Stärke des elektrischen Felds und somit auch für die Größe der Kraft auf ein geladenes Objekt. Die elektrische Feldstärke wird in Volt pro Meter

$[\frac{V}{m}]$ gemessen.

Aufgabe 2:

- In welchem der beiden folgenden Punkte ist die Feldstärke deiner Meinung nach am Größten? Begründe deine Antwort.
- In welchem der beiden Punkte wäre die Kraft auf ein geladenes Objekt größer? Begründe deine Antwort.



Aufgabe 3:

Die Feldlinien zwischen zwei parallelen Platten sind alle parallel und haben den gleichen Abstand zueinander. Man nennt ein solches Feld auch ein homogenes Feld.

- Zeichne ein homogenes elektrisches Feld.
- Was kannst du über die Feldstärke an verschiedenen Stellen in diesem Feld sagen?
- Leite dir aus der Einheit der elektrischen Feldstärke die Formel zur Berechnung der elektrischen Feldstärke in einem homogenen elektrischen Feld her.
- Vervollständige mit Hilfe der eben gefundenen Formel den folgenden Satz:
"Die elektrische Feldstärke zwischen den zwei Platten ist umso größer, je ..."

11.4 Durchschlagfestigkeit

Ein Isolator isoliert nur so lange, wie seine Durchschlagfestigkeit nicht überschritten wird. Die Durchschlagfestigkeit ist eine elektrische Feldstärke und wird deshalb ebenfalls in $\frac{\text{V}}{\text{m}}$ ausgedrückt. Überschreitet man die Durchschlagfestigkeit, so wird der Isolator schlagartig zum Leiter. Man sagt "Der Isolator schlägt durch."

Typische Durchschlagfestigkeiten:

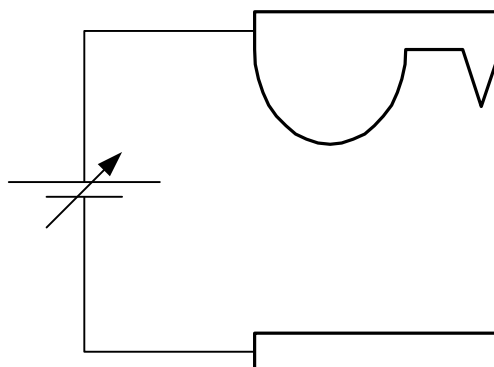
| Isolationsmaterial | Durchschlagfestigkeit |
|--------------------|-----------------------|
| Luft | 30 kV/cm |
| Transformatoröl | 120 kV/cm |
| Glas | 140 kV/cm |
| PVC | 300 kV/cm |
| Plexiglas® | 400 kV/cm |
| Keramik | 450 kV/cm |
| Mylar® | 1330 kV/cm |

Aufgabe 4:

Berechne die Spannung die nötig ist um 100m Luft sicher zu durchschlagen.

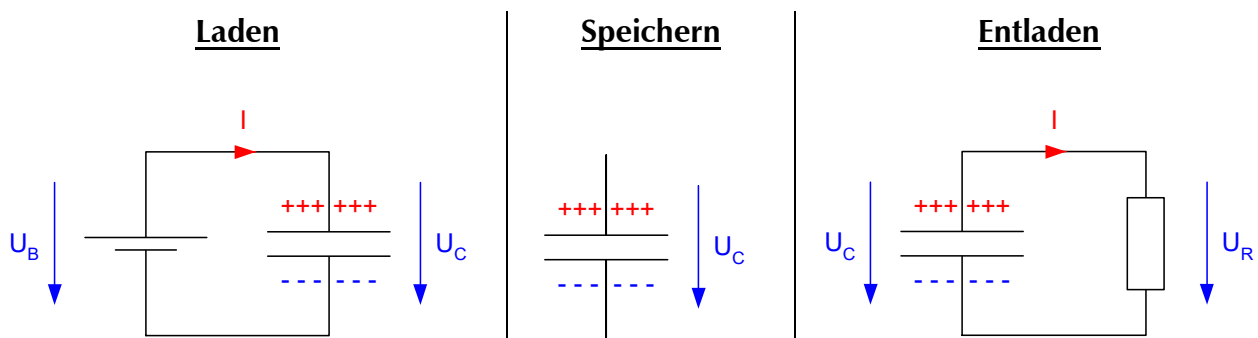
Aufgabe 5:

An welcher Stelle des folgenden Aufbaus wird der Durchschlag beginnen, wenn man die Spannung langsam erhöht? Begründe deine Antwort.



11.5 Kondensator

Ein Kondensator ist ein Ladungsspeicher. Er besteht im Prinzip aus zwei leitfähigen Gegenständen die voneinander isoliert sind. Im einfachsten Fall sind dies zwei parallele leitfähige Platten mit Luft dazwischen. Um den Kondensator zu laden muss man ihn an eine Spannungsquelle anschließen. Dadurch fließen Ladungen von der Spannungsquelle auf die Kondensatorplatten. Unterbricht man die Verbindung zwischen der Spannungsquelle und dem Kondensator, bleiben die Ladungen auf dem Kondensator gespeichert bis sie über einen angeschlossenen Verbraucher wieder abfließen können.



11.6 Kapazität (C) eines Kondensators

Die Kapazität C eines Kondensators ist ein Maß dafür wie viel Ladungen ein Kondensator speichern kann. Die Kapazität eines Kondensators wird in Farad (Abkürzung: F) gemessen.

Die Menge Q der gespeicherten Ladungen berechnet sich aus folgender Formel:

$$Q = C \cdot U$$

Q ist die Ladungsmenge in Amperesekunden [As]

C ist die Kapazität des Kondensators in Farad [F]

U ist die Spannung am Kondensator in Volt [V]

Aufgabe 6:

Wie muss man einen Plattenkondensator bauen, damit er möglichst viele Ladungen speichert?

Aufgabe 7:

Wie muss man einen Plattenkondensator bauen, damit er eine möglichst hohe Kapazität hat?

Aufgabe 8:

Wie muss man vorgehen um möglichst viele Ladungen in einem Kondensator zu speichern?

Aufgabe 9:

Wie lange kann man eine LED (2V/20mA) an einem Kondensator mit einer Kapazität von $1000\mu\text{F}$ betreiben, wenn der Kondensator auf 2V aufgeladen ist?

Aufgabe 10:

Welche Gefahr besteht immer, wenn Kondensatoren in Schaltungen eingebaut sind?

Aufgabe 11:

Eine Druckluftflasche verhält sich sehr ähnlich wie ein Kondensator, wenn du folgende Entsprechungen berücksichtigst:

| | | |
|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| Die gespeicherten Ladungen | entsprechen | der Luft in der Flasche. |
| Die Spannung am Kondensator | entspricht | dem Druck in der Flasche. |
| Die Kapazität des Kondensators | entspricht | dem Volumeninhalt der Flasche. |

Übersetze schriftlich folgende Beobachtungen an der Druckluftflasche auf den Kondensator.

- Je mehr Luft man in die Flasche presst, umso größer wird der Druck in der Flasche.
- Je größer der Volumeninhalt der Flasche ist, umso mehr Luft kann man bei gleichem Druck speichern.

Aufgabe 12:

Beantworte mit Hilfe der Analogien aus Aufgabe 11 die folgenden Fragen.

- a. Wie verändert sich die Spannung an einem geladenen Plattenkondensator, wenn man die Distanz zwischen den Platten verringert und der Kondensator nicht mehr mit der Spannungsquelle verbunden ist?
- b. Wie verändert sich die Spannung in Punkt a, wenn der Kondensator noch immer mit der Spannungsquelle verbunden ist?

11.7 Dielektrikum

Versuch 3:

Wenn man eine Glasplatte zwischen die Platten eines geladenen Kondensators schiebt, verringert sich die Spannung. Zieht man die Platte wieder heraus, so vergrößert sich die Spannung wieder auf den Anfangswert.

Schlussfolgerung:

$U = \frac{Q}{C}$. Da sich die Ladungsmenge Q nicht verändert haben kann, muss sich durch die Plexiglasplatte die Kapazität des Kondensators vergrößert haben.

Erklärung:

Der Isolierstoff zwischen den Kondensatorplatten wird auch als Dielektrikum bezeichnet. Aus Gründen die hier nicht weiter erklärt werden sollen, verändert jedes Dielektrikum die Kapazität eines Kondensators.

Die relative Dielektrizitätszahl ϵ_R gibt an wie viel mal sich die Kapazität im Vergleich zu Luft vergrößert.

| Dielektrikum | relative Dielektrizitätszahl ϵ_R |
|----------------|---|
| Luft | 1 |
| Mylar® | 3,35 |
| Plexiglas® | 3,4 |
| Aluminiumoxid | 9 |
| Tantalpentoxid | 26 |

Aufgabe 13:

Wie muss man einen Plattenkondensator bauen, damit er eine möglichst hohe Kapazität hat?

11.8 Kondensator als Energiespeicher

Versuch 4:

Schaltet man eine LED parallel zu einem geladenen Kondensator kann man beobachten, dass die LED kurz aufleuchtet. Die Energie für dieses Aufleuchten kann nur aus dem Kondensator kommen und steckt im elektrischen Feld.

Schlussfolgerung:

Elektrische Felder sind Energiefelder, d.h. sie benötigen zum Aufbau eine gewisse Menge Energie, die sie beim Abbau des elektrischen Felds wieder abgeben.

Ein Kondensator speichert umso mehr Energie, je höher die Kapazität ist und je größer die Spannung an ihm ist. Es gilt:

$$W_C = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

W_C ist die im Kondensator gespeicherte Energie in Wattsekunden [Ws]

C ist die Kapazität des Kondensators in Farad [F]

U ist die Spannung am Kondensator in Volt [V]

Aufgabe 14:

Berechne die Energie die in einem 2200 μ F-Kondensator gespeichert ist der mit 30V aufgeladen wurde.

11.9 Verschalten von Kondensatoren

Aufgabe 15:

Du benötigst einen Kondensator von $1000\mu\text{F}$. Dir stehen aber nur zwei Kondensatoren von $500\mu\text{F}$ zur Verfügung.

- a. Wie müssen die beiden Kondensatoren miteinander verschaltet werden, damit sie die geforderte Kapazität haben? Begründe deine Antwort.
- b. Welche Kapazität ergibt sich, wenn man die beiden Kondensatoren anders verschaltet?
- c. Wie lauten die Formeln zur Berechnung der Gesamtkapazität bei Parallel- und bei Reihenschaltung?

11.10 Kenngrößen und Bauformen von Kondensatoren

Siehe Kopie S. 76 und 77 aus dem Buch Fachkunde Elektrotechnik des Europa-Lehrmittel-Verlags.

Aufgabe 16:

Beantworte folgende Fragen:

- a. Wie ist ein MKS Kondensator aufgebaut?
- b. Welche Kondensatortypen dürfen nicht verpolt angeschlossen werden?
- c. Welches Dielektrikum verwendet man bei Tantal- und bei Aluminium-Elektrolytkondensatoren?
- d. Woran kann man bei axialen Aluminium-Elektrolytkondensatoren noch den Plus-Anschluss erkennen, wenn die äußere Folie entfernt wurde?