

So wie man Wein in Flaschen oder Fässern speichern kann, können wir auch Ladungen in verschiedenen Behältnissen speichern, das bekannteste ist der Akku. Physikalisch deutlich einfacher zu verstehen ist der, im einfachsten Fall eine Anordnung von zwei Platten nebeneinander.

Die Speicherung wird dadurch begünstigt, dass sich die entgegengesetzten Ladungen über den Plattenzwischenraum hinweg anziehen (elektrostatische Kraft). Bei ungünstigen Bedingungen (z.B. feuchte Luft) kann dies aber auch zum Entladung über den Zwischenraum führen → Ladungsdurchschlag, Funkenentladung.

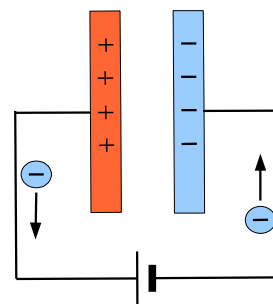
Zur experimentellen Untersuchung laden wir unseren Plattenkondensator zunächst mit einer Stromquelle auf und entladen ihn dann über ein spezielles Messgerät (Messverstärker) mit dem wir die Ladungsmenge  $Q$  bestimmen.

Wir können also mehr Ladung in einen Kondensator packen, wenn wir eine größere Ladespannung verwenden (Vorsicht: mit einem Akku sollte man das nicht versuchen!)

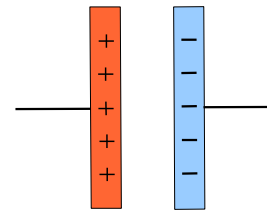
Die Kapazität gibt die Speicherefähigkeit eines Kondensators an.

Typisch bei Kondensatoren sind Werte im Bereich nF (nano Farad) oder  $\mu\text{F}$  (mikro Farad).

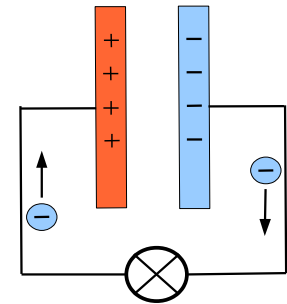
### 1.3 Kondensator als Ladungsspeicher



Aufladen

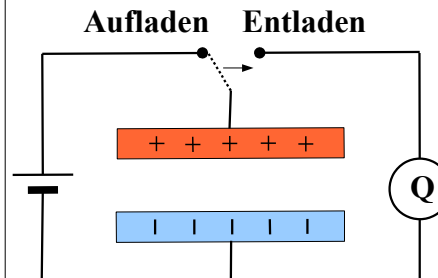


Speichern



Entladen

#### Experimente am Plattenkondensator



Ladungsmenge versus Ladespannung:

|         |   |    |     |     |     |     |
|---------|---|----|-----|-----|-----|-----|
| U in V  | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 |
| Q in nC |   |    |     |     |     |     |

→ gespeicherte Ladungsmenge und Ladespannung sind zueinander .....

Damit ist der Quotient  $\frac{Q}{U}$  konstant, wir nennen ihn Kapazität  $C$ , also  $C = \frac{Q}{U}$

Dieses Ergebnis kann man sich damit erklären, dass sich die Ladungen über den Plattenzwischenraum hinweg stärker anziehen und damit auf den Platten halten können.

Dieses Ergebnis ergibt sich eigentlich logisch aus der Vorstellung, dass bei mehr Fläche auch entsprechend mehr Ladungen draufpassen.

Da wir hier mit konstanter Spannung arbeiten, gelten die Ergebnisse, die wir für die Ladung gefunden haben in entsprechender Weise auch für die Kapazität.  $\epsilon_0$  gilt für Vakuum (bzw. Luft), für andere Materialien gibt's noch einen Korrekturfaktor  $\epsilon_r$ .

Einheit:  $1 \frac{C}{V} = 1 F$  (Farad, nach dem Physiker Faraday)

Ladungsmenge versus Plattenabstand (bei  $U = 100 V$  und  $A = 800 cm^2$ ):

|         |   |   |
|---------|---|---|
| d in mm | 2 | 4 |
| Q in nC |   |   |

→ gespeicherte Ladungsmenge und Plattenabstand sind .....

Ladungsmenge versus Plattenfläche (bei  $U = 100 V$  und  $d = 2 mm$ ):

|             |  |  |
|-------------|--|--|
| A in $cm^2$ |  |  |
| Q in nC     |  |  |

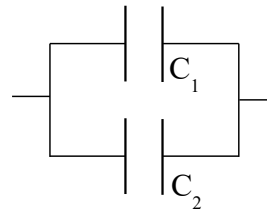
→ gespeicherte Ladungsmenge und Plattenfläche sind .....

Wir bauen diese Ergebnisse in einer Formel zusammen:  $C = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d}$

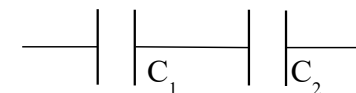
mit der Proportionalitätskonstanten  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$

**Auf Seite 32 findest Du in einer Tabelle die Gesetze für Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren. Überlege zusammen mit Deinem Banknachbarn (mündlich): Welche Regeln ergeben sich logisch aus den bekannten Regeln für Widerstände, welche lassen sich aus der Formel für den Plattenkondensator herleiten? Wo ergeben sich für unsere Vorstellung zunächst Schwierigkeiten? Notiere die Regeln in Wortform unter die Schaltungen. → Lösung**

Parallelschaltung von Kondensatoren



Reihenschaltung von Kondensatoren



**Selbst-Check:**

- Versuch zur Messung am Plattenkondensator
- Kapazität
- Parallel- /Reihenschaltung von Kondensatoren

Eine Rechenübung zu Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren findest Du in S.45/16. Jede Menge Aufgaben gibt's auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Elektrizitätslehre – Kondensator und Kapazität – Kapazität des Kondensators Aufgaben**. Gut passt hier „Feldkonstante Abitur 2005“. An dem Thema geht's die nächste Stunde noch weiter.

Verändert man die Plattengeometrie, vor allem den Plattenabstand  $d$  eines Kondensators, so ändert sich auch dessen Kapazität (siehe letzte Formel). Dieser Umstand führt zu sehr beliebten weil kniffligen Aufgabenstellungen, die sich aber leicht lösen lassen, wenn man die nebenstehenden Zusammenhänge kennt.

**Der Plattenabstand eines Kondensators wird verdoppelt, im ersten Beispiel bleibt die Stromquelle angeschlossen, im zweiten Beispiel wird die Stromquelle vorher abgetrennt. Welchen Einfluss hat die Veränderung des Plattenabstandes auf die Größen Kapazität  $C$ , Ladungsmenge  $Q$ , Spannung  $U$  und Feldstärke  $E$ ? (obige Regeln und die einschlägigen Formeln helfen Dir bei der Lösung) → Lösung**

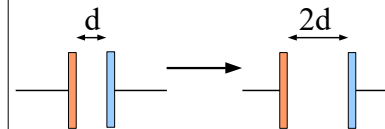
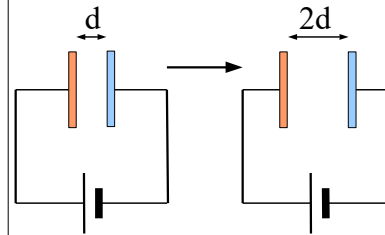
Bei anderen Änderungen des Plattenabstandes (halbieren o.ä.) funktioniert es genauso.

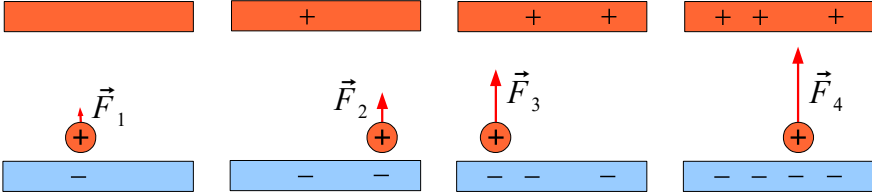
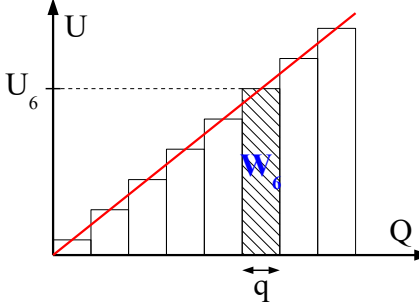
Was passiert eigentlich mit den überschüssigen Ladungen in Variante 1, die nach der Veränderung nicht mehr auf den Kondensator passen?

### Veränderung der Plattengeometrie

Verändert sich die Kapazität eines Kondensators bei angeschlossener Stromquelle, so bleibt seine Spannung konstant (die wird von der Stromquelle gehalten).

Verändert man die Kapazität eines Kondensators bei abgeklemmter Stromquelle, so bleibt seine Ladung konstant (da keine Ladungen zu- oder abfließen können).



|   |  |
|---|--|
| <p>Ein geladener Kondensator kann für begrenzte Zeit ein Gerät mit Strom versorgen, hat also Energie gespeichert. Um diese Energiemenge geht es hier. Sie ist nicht zu verwechseln mit der Energie einer einzelnen Ladung, die sich im homogenen Feld befindet (damit haben wir uns vor ein paar Stunden beschäftigt).</p>  | <p><b>Energie im homogenen Feld</b></p> <p>Wir stellen uns vor, wir laden einen Kondensator auf, indem wir eine Ladung <math>q</math> nach der anderen von einer Platte entnehmen und zur anderen Platte transportieren:</p>  <p>Bei jeder weiteren Ladung benötigen wir ..... Kraft, da wir sie ..... das Feld des bereits teilgeladenen Kondensator bewegen müssen.</p>   |
| <p>Dieses Spiel machen wir nun so oft, bis unser Kondensator komplett aufgeladen ist. Dabei wird die Arbeit bei jeder weiteren Ladung etwas größer. <b>Weshalb erkennt man das auch an den unteren Formeln?</b></p>   | <p> <math>W_1 = F_1 \cdot d</math>    <math>W_2 = F_2 \cdot d</math>    <math>W_3 = F_3 \cdot d</math>    <math>W_4 = F_4 \cdot d</math>    .....         </p> <p>oder über das Potential:</p> <p> <math>W_1 = q \cdot U_1</math>    <math>W_2 = q \cdot U_2</math>    <math>W_3 = q \cdot U_3</math>    <math>W_4 = q \cdot U_4</math>    .....         </p>  |
| <p>Produkte lassen sich in Diagrammen immer als Rechtecksflächen interpretieren. In unserem Fall bemühen wir hierzu ein <math>Q</math>-<math>U</math>-Diagramm. Die auf dem Kondensator gespeicherte Ladung <math>Q</math> ergibt sich dabei als Summe aller Einzelladungen <math>q</math>, die wir bereits transportiert haben.</p> <p>Was wir da gerade machen, lernt man in der Mathematik als „Integrieren“ (12. Klasse).</p> <p>Die verrichtete Arbeit <math>W</math> ist natürlich identisch mit der dann gespeicherten Energie <math>E</math>.</p> | <div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Um die gesamte Arbeit beim Aufladen zu berechnen, addieren wir alle Arbeiten <math>W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6, \dots</math>. Diese entsprechen Rechtecksflächen. Insgesamt ergibt das ungefähr die Dreiecksfläche unter dem Graphen (durchgezogene Linie). Dessen Grundlinie entspricht der gesamten Ladungsmenge <math>Q</math> und dessen Höhe entspricht der am Ende erzielten Spannung <math>U</math>. →</p> <math display="block">W = \frac{1}{2} Q \cdot U = \frac{1}{2} C \cdot U \cdot U = \frac{1}{2} C \cdot U^2 \quad \text{da} \quad Q = C \cdot U</math> </div> </div> <div style="border: 2px solid red; padding: 10px; margin-top: 10px;"> <p>Die in einem Kondensator gespeicherte Energie lässt sich berechnen als</p> <math display="block">E = \frac{1}{2} Q \cdot U \quad \text{bzw.} \quad E = \frac{1}{2} C \cdot U^2 \quad \text{(Feldenergie)}</math> </div> |
| <p><b>Selbst-Check:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeit als Fläche im <math>Q</math>-<math>U</math>-Diagramm</li> <li>• Änderung der Plattengeometrie</li> </ul>  | <p>Die Berechnung der Energie im Kondensator ist z.B. in S.45/13 gefordert. Weitere Aufgaben auf Leifiphysik unter <b>Teilgebiet Elektrizitätslehre – Kondensator und Kapazität – Kapazität des Kondensators Aufgaben</b> sind jetzt machbar.</p>  |