

In den letzten Kapiteln haben wir das homogene Feld des Plattenkondensators kennengelernt. Kondensatoren sind als Ladungsspeicher wichtige Bauteile in Elektrik und Elektronik. Mit einer Stromquelle können wir einen Kondensator aufladen, durch einen Verbraucher wieder entladen.

Im klassischen Physikkurs wurde der Kondensator mit verschiedenen Spannungen aufgeladen und beim Entladen die Ladungsmenge gemessen. Das Ergebnis ist in einem Q - U -Diagramm angegeben.

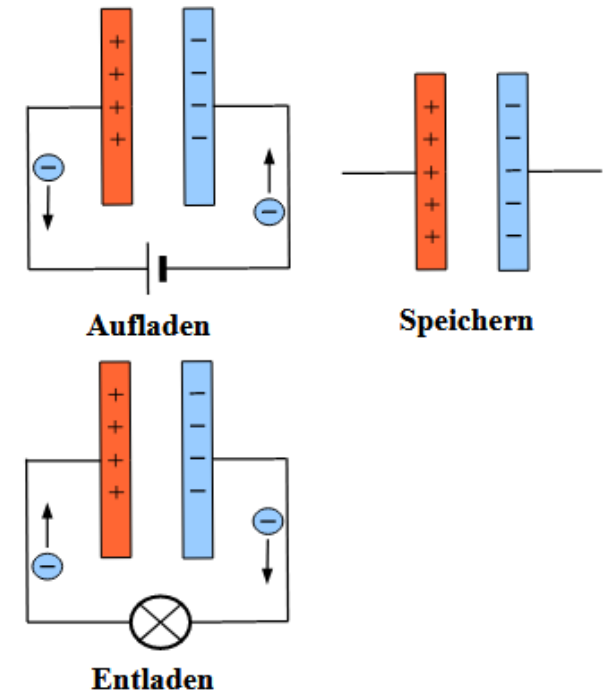
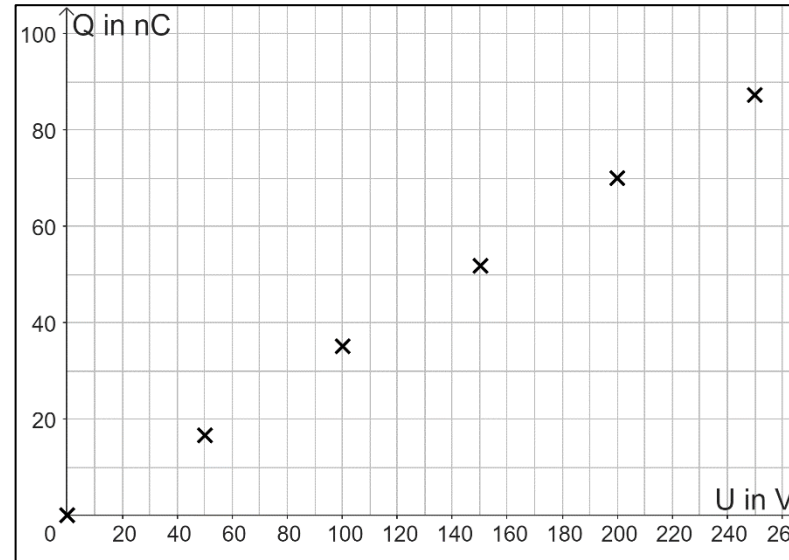
Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Größen?

Fast immer, wenn wir in der Physik auf einen solchen Zusammenhang stoßen, bekommt der auftretende Quotient eine physikalische Bedeutung. Hier dient er als **Maß für die Speicherkapazität** eines Kondensators.

Die Kapazität eines Kondensators hängt von seiner geometrischen Form ab. Für einen Plattenkondensator gibt es einen einfachen Zusammenhang. (Die Formel gilt für Vakuum oder Luft zwischen den Platten.)

3.3 Kapazität und Potential

Kondensator und Kapazität



Damit ist der Quotient , wir nennen ihn

(Farad, nach dem Physiker Faraday)

Kapazität eines Plattenkondensators

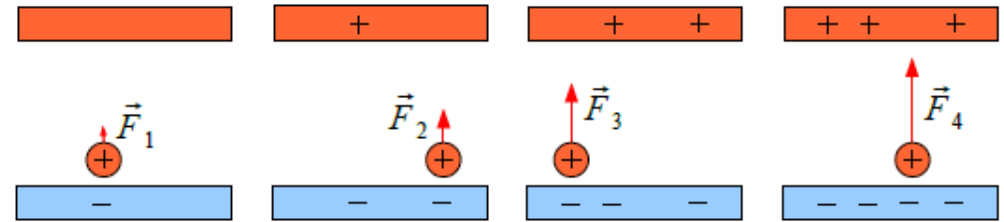


In der Technik nutzen wir Kondensatoren auch, um Energie zu speichern und bei Bedarf wieder abzugeben. Hier ähneln sie den wohl bekannten Akkus, weichen aber in einigen Eigenschaften von diesen ab. Generell kann man sagen, dass sich Kondensatoren eher für kleinere Energiemengen eignen, diese aber im Vergleich zu Akkus sehr schnell aufnehmen und abgeben können. Um eine Formel für die gespeicherte Energie zu finden, modellieren wir den Ladevorgang dadurch, dass wir in Gedanken einzelne Ladungen von einer Kondensatorplatte zur anderen transportieren.

Während Akkus während des gesamten Lade-bzw. Entladevorganges eine fast gleichbleibende Spannung aufweisen, verändert sich die Spannung bei Kondensatoren während des Ladens und Entladens ganz erheblich (hier rot dargestellt, Achtung: die Kurve zeigt die Entwicklung nicht zeit-, sondern ladungsabhängig). Das Problem bei der Berechnung der Gesamtarbeit (= Gesamtenergie) liegt hier darin, dass sich beim Laden die Spannung permanent ändert.

Energie im Kondensator

Wir laden einen Kondensator (als Gedankenexperiment) auf, indem wir eine Ladung q nach der anderen von einer Platte entnehmen und zur anderen Platte transportieren.



Bei jeder weiteren Ladung benötigen wir Kraft, da wir sie das Feld des bereits teilgeladenen Kondensators bewegen müssen.

Arbeit bei der Bewegung der Ladung gegen das Feld

In der Mechanik gilt für die verrichtete Arbeit generell

das bedeutet, die Arbeit wird mit jeder weiteren Ladung

In der Mittelstufe haben wir für die elektrische Arbeit eine Formel kennengelernt:

Spannung eines Kondensators in Abhängigkeit von der Ladungsmenge

Beim Aufladen eines Kondensators wächst seine Spannung zu seiner Ladungsmenge (siehe Q-U-Diagramm oben).

Berechnung der Gesamtenergie für das Laden eines Kondensators

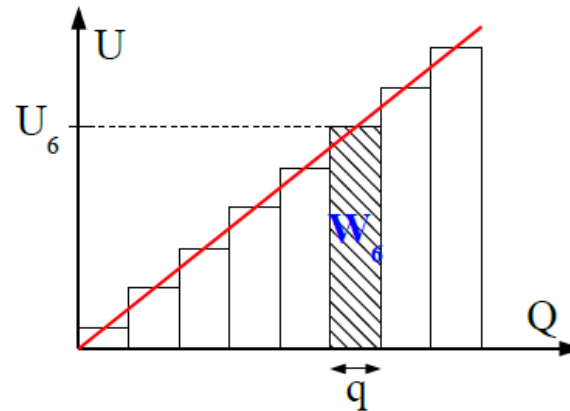
Da sich beim betrachteten Vorgang die Spannung des Kondensators (rote Kurve) mit jeder

zusätzlichen Ladung, müssen wir auch die aufgewendete Arbeit für jede Ladung

neu berechnen. Das Produkt $W = U \cdot q$ entspricht dabei der

..... unter der Spannungskurve.

Die gesamte Arbeit ist dann die ,
 näherungsweise entspricht das der unter der Kurve.



Die zweite Formel ergibt sich mit
 $Q = C \cdot U$.

Defibrillatoren können bei Herzstillstand oder Kammerflimmern durch einen Elektroschock das Herz wieder zum richtigen Rhythmus anregen.

Berechne die Kapazität eines Kondensators, der bei 4,0 kV gerade die maximal zulässige Energiemenge von 360 J bereitstellt.

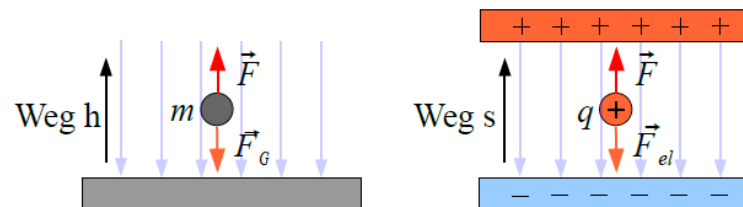
Energie im Kondensator:

oder

Übungsaufgabe: Defibrillator •

Wenn wir Probeladungen gegen die Kraft in einem elektrischen Feld bewegen, verrichten wir Arbeit. Um hierfür ein Rechenmodell zu entwickeln, vergleichen wir das mit der Hubarbeit im Gravitationsfeld, die wir gut aus der Mittelstufe kennen. **Stelle die auftretenden Größen gegenüber, z.B. "Masse" entspricht ...**

Hubarbeit versus Arbeit im elektrischen Feld



Hubarbeit berechnen wir mit der Formel
 $W = F_G \cdot h = m \cdot g \cdot h$, wobei F_G die konstante Kraft ist, mit der wir ziehen und h der Weg, den wir bewältigen müssen.

Elektrische Arbeit berechnen wir mit
 $W = F_{el} \cdot s = q \cdot E \cdot s$, wobei F_{el} die konstante Kraft ist, mit der wir ziehen und s der Weg, den wir bewältigen müssen.

Die Begriffe Arbeit und Energie sind eng miteinander gekoppelt, das zeigt schon ihre gemeinsame Einheit J. Wenn wir einen Nullpunkt für die Energie festlegen, nutzen wir die Formeln synonym.

Die Begriffe Arbeit und Energie sind eng miteinander gekoppelt, das zeigt schon ihre gemeinsame Einheit J. Wenn wir einen Nullpunkt für die Energie festlegen, nutzen wir die Formeln synonym.

Die Abbildung zeigt drei Positionen a) -c) in einem homogenen Feld. Ordne die Potentiale $\varphi_a) - \varphi_c)$ der Größe nach (beim größten Potential beginnend). Markiere mit grünen Linien alle Positionen, an denen das Potential jeweils den gleichen Wert hat, diese heißen Äquipotentiallinien.

Wir vergleichen nun den neuen Begriff mit einem altbekannten. Berechne hierzu zunächst die Einheit des Potentials.

Im nächsten Schritt verwenden wir zur Berechnung der Arbeit alternativ eine Formel aus der Mittelstufe und vergleichen.

Arbeit und Energie

In der Mittelstufe haben wir gelernt: Arbeit = , also:

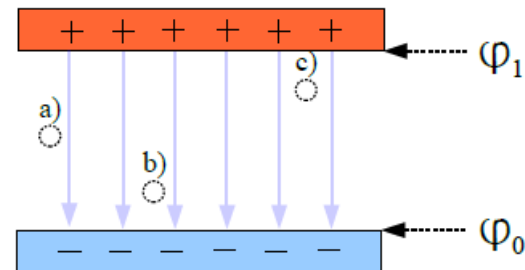
Einfacher wird es, wenn man einen Nullpunkt für die Energie festlegt, im elektrischen Feld wählt man in der Regel dafür die negative Platte. Dann ist die potentielle Energie in der "Höhe" s gleich:

Potential

Den Term $\mathbf{E} \cdot \mathbf{s} = \boldsymbol{\varphi}$ nennen wir "**Potential $\boldsymbol{\varphi}$** ". Damit lässt sich die potentielle Energie schreiben als:

Das Potential hängt im Gegensatz zur potentiellen Energie von der Probeladung q, sondern vom Feld ab.

Potential im homogenen Feld



Merke:

Äquipotentiallinien und Feldlinien schneiden sich immer
.....

Spannung und Potential

Alternative Berechnung für elektrische Arbeit

$$W = U \cdot I \cdot t = U \cdot q \quad \text{da} \quad q = I \cdot t \quad \rightarrow \quad U = \frac{W}{q}$$

$$\text{mit (1)} \rightarrow U = \frac{E_{\text{pot},1} - E_{\text{pot},0}}{q} = \frac{E_{\text{pot},1}}{q} - \frac{E_{\text{pot},0}}{q} = \varphi_1 - \varphi_0$$

3.3 Kapazität und Potential

Spannung =