



Kondensatoren

Alexander Methfessel, SS 23

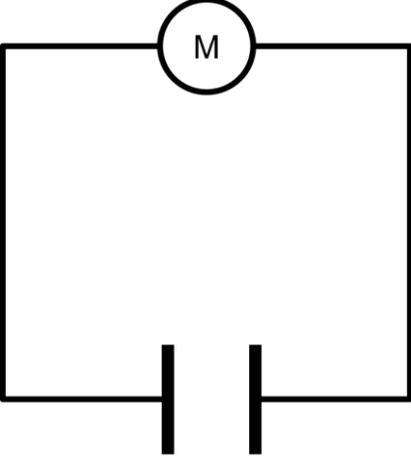
Einstieg: Eine einfache Schaltung aus

- einem Kondensator und
- einem „elektrischen Generator“/ Stepper-Motor

wird den Lernenden als Demonstrationsversuch vorgeführt. Der Generator ist dabei mit einem Rad verbunden. Dieses wird zunächst in Bewegung gebracht und anschließend angehalten. Nach dem Loslassen beginnt sich das Rad wieder zu drehen, ohne dass für die Lernenden eine Krafteinwirkung erkennbar ist.

Alternativ: Die Lernenden finden durch eigenständiges Experimentieren selbst zu einer intrinsisch motivierten Problemgenese und lösen diese mit bereitgestellten Lernmitteln.

Experiment	Elektromotorische Kraft am Kondensator - Pumpenmodell
Material	<ul style="list-style-type: none"> – Rad und Verbindungsachse – Stepper-Motor (fungiert gleichzeitig als Generator) z.B. Lego™-Motor oder leichtgängiger Farad Dynamo  <p>Abbildung 1:Lego™ Motor (Modell 87577c01) [2]</p> <ul style="list-style-type: none"> – Kondensator (Kapazität beachten 1F;1,2V)  <p>Abbildung 2:Lego™ Kondensator (9916) [6]</p>
Durchführung	Ein mit einem Kondensator verbundener Generator wird händisch durch ein Rad in Bewegung versetzt. Das Rad wird angehalten und anschließend gut sichtbar losgelassen.

Versuchsaufbau	
	<p>Abbildung 3: Schaltplan zum Versuchsaufbau</p>
Beobachtung	Das angehaltene Rad beginnt sich von selbst zu drehen.
Erklärung	Der durch die Drehbewegung aufgeladene Kondensator verfügt über genügend Energie, um das Rad wieder in Bewegung zu versetzen, sofern Reibungskräfte dies nicht unterbinden. Der Generator fungiert dabei zu gleich als Motor.

1 Aufbau

Kondensatoren finden sich heutzutage in fast allen Elektrogeräten - vom Smartphone bis zur Farad Leuchte! Es gibt sie in unterschiedlichen Größen und Bauformen:

Zum Beispiel: *Keramikkondensatoren, Folienkondensatoren, Elektrolytkondensatoren...*



Abbildung 4: Verschiedene Arten und Bauformen von Kondensatoren [5]

Um zu verstehen, wie Kondensatoren Elektrische Energie speichern können, soll im Folgenden der grundsätzliche Aufbau eines Kondensators näher betrachtet werden. Dazu wird den Lernenden der Querschnitt durch einen Folienkondensator gezeigt (siehe dazu Abbildung 5).



Abbildung 5: Folienskondensator mit aufgesägtem Querschnitt [1]

Achtung: Kondensatoren können je nach Kapazität *erhebliche* Spannungsspitzen in kurzer Zeit abgeben! Abhängig von der Bauart, besteht beim Öffnen außerdem akute Brandgefahr! Überdies können Kondensatoren platzen, wenn sie einer zu hohen Ladespannung ausgesetzt sind. *Unsachgemäßes Öffnen kann zu lebensgefährlichen Stromschlägen und Brandentwicklung führen!* Kondensatoren immer auf Kapazität, maximale Ladespannung und den Ladungszustand prüfen.

Der Aufbau ist an dieser Art von Kondensatoren am leichtesten nachzuvollziehen. Es zeigt sich, dass Kondensatoren im Allgemeinen aus je zwei *leitenden Schichten* bestehen, die von einem nicht leitfähigen *Dielektrikum* getrennt sind. Diese sind bei der Becherbauweise zur Oberflächenvergrößerung aufgewickelt.

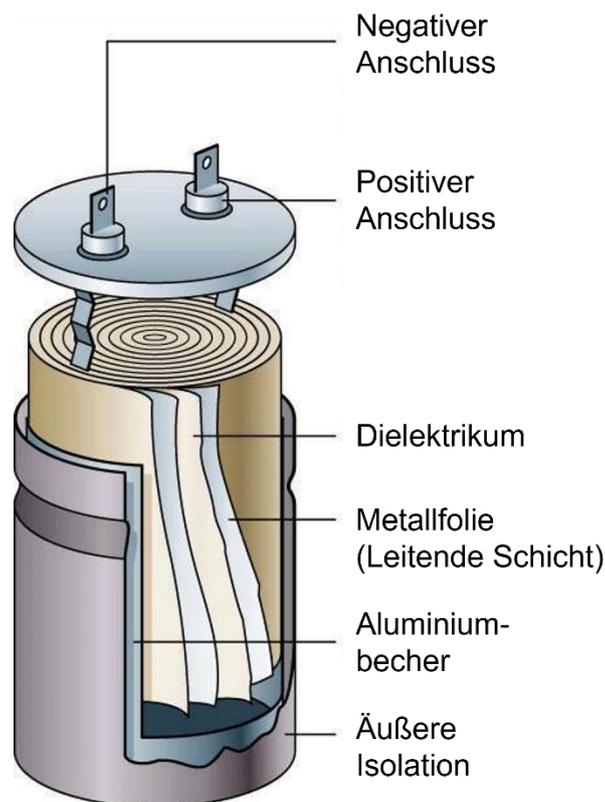


Abbildung 6: Schema der Bauweise: Die leitenden Schichten aus Metallfolie sind von einem nichtleitenden Dielektrikum getrennt - bearbeitet nach [9]

2 Funktionsweise

Nachdem der Aufbau erläutert wurde, soll nun untersucht werden, wie Kondensatoren Energie in einem elektrischen Feld speichern können. Dazu wird der Kondensator zunächst zu einem Plattenmodell simplifiziert.

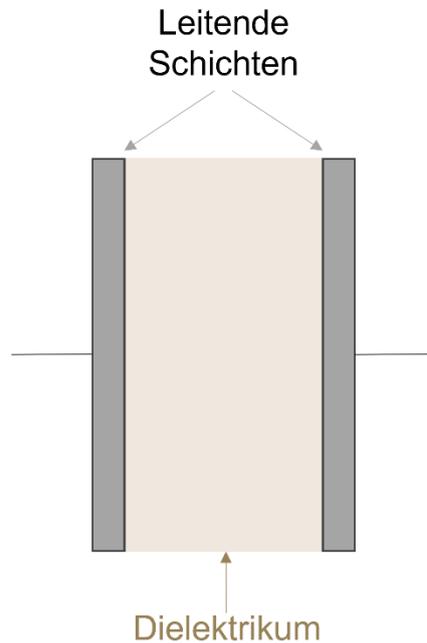


Abbildung 7: Plattenmodell des Kondensators

Wird eine Spannung (U) an die Platten mit der Fläche (A) und dem Abstand (d) angelegt, so tragen diese die Ladung (Q).

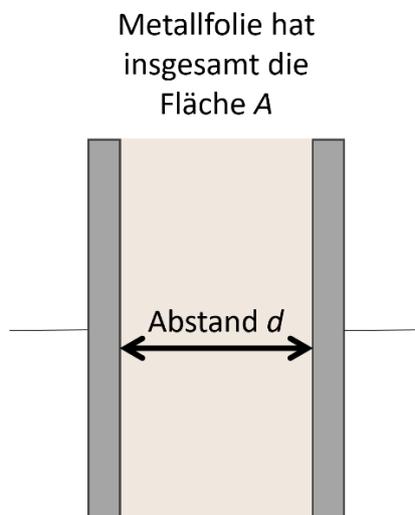


Abbildung 8: Fläche und Abstand der leitenden Schichten bestimmen die Kapazität

Dadurch entsteht zwischen den geladenen Platten ein elektrisches Feld.

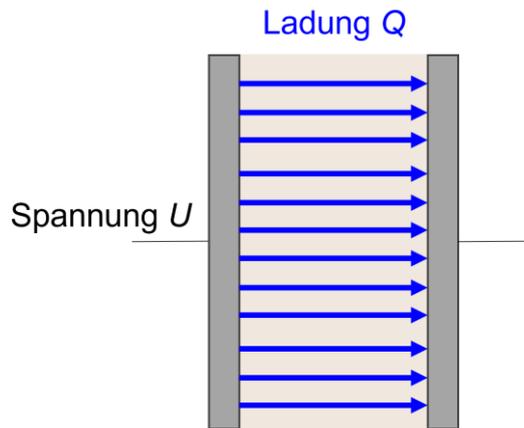


Abbildung 9: Elektrisches Feld im Plattenmodell

Ein Wechsel auf die Teilchenebene hilft die Funktion des Dielektrikums zu verstehen. Vereinfacht gesagt, besteht dieses aus vielen kleinen, induzierten Dipolen, deren magnetisches Moment, dem des elektrischen Felds entgegenwirkt.

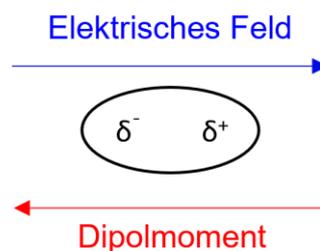


Abbildung 10: Die Dipolmomente des Dielektrikums wirken dem elektrischen Feld entgegen

Dadurch verringert sich die elektrostatische Abstoßung der Ladungsträger auf den Platten, wodurch sich die Energiemenge, die der Kondensator speichern kann, erhöhen lässt.

3 Quantitative Betrachtung

Die Energiemenge, die zwischen den Platten gespeichert werden kann, bezeichnet man als Kapazität (C). Sie wird in Farad [F] gemessen und hängt von einigen Variablen ab, die sich zum Teil aus der Bauweise ergeben:

Für den betrachteten Plattenkondensator ergibt sich C aus:

- Querschnittsfläche (A)
- Abstand (d) der Leiterplatten zueinander
- relative Permittivitätskonstante (ϵ_r) des Dielektrikums

Außerdem müssen noch die bauformunabhängigen Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Dazu gehören:

- Ladung (Q)
- Spannung (U)
- elektrische Feldkonstante (ϵ_0)

Zusammenfassend gilt daher der nachstehende Zusammenhang:

$$C = Q/U = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A/d$$

4 Lade- und Entladevorgang:

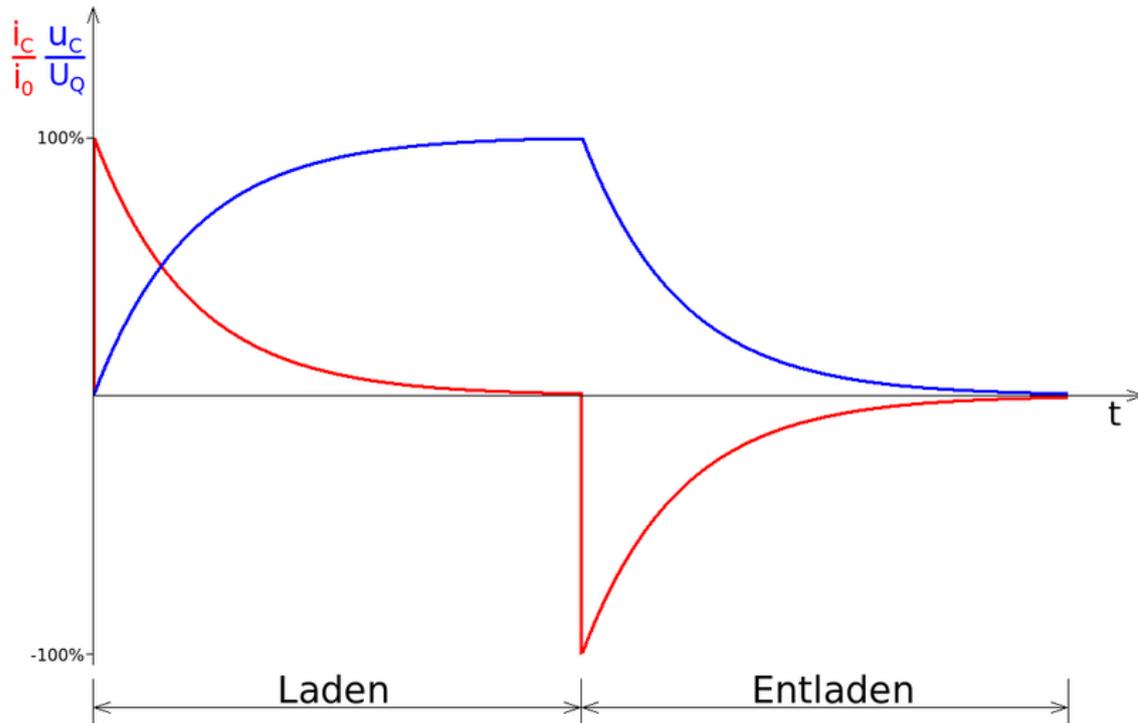


Abbildung 11: Lade- und Entladevorgang eines Kondensators: Aufgetragen ist der Quotient aus der im Kondensator gespeicherten Stromstärke (rot) und Spannung (blau) und der Ladestromstärke bzw. Ladespannung gegen die Zeit t . [4]

Zusammenfassung: Kondensatoren können große Mengen elektrischer Energie in sehr kurzer Zeit speichern und wieder abgeben. Ihre Ladungsdichte ist zwar geringer als die von Akkumulatoren, Batterien oder Brennstoffzellen, aber dafür ist deren Lade- und Entladezeit deutlich länger.

Abschluss: Der Kondensator aus dem Einstiegsversuch hat eine Kapazität von 1F. Superkondensatoren können dagegen mehrere hundert bis tausend Farad speichern ^[10, 11]. Dadurch ist es möglich Energierückgewinnungssysteme zu entwickeln, die den Bau immer sparsamerer Fortbewegungsmittel ermöglichen.

Quellen:

1. Oskay, W.; Schlaepfer, E.: Open Circuits: The Inner Beauty of Electronic Components, No Starch Press, 2022. S.32ff
2. https://brickelectronic.de/downloads/Brickelectronic_TechCheck3_de.pdf
26.05.2023
3. Kuchling, H.: Taschenbuch der Physik: Hanser Verlag, 20. Auflage, S.438ff
4. https://de.wikibooks.org/wiki/Datei:Verhalten_Kondensator_Gleichstromkreis.png
06.06.23
5. https://de.wikibooks.org/wiki/Bauelemente:_Band_1:_Kondensatoren 02.08.23
6. https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/31pwVDbzktL._AC_SX300_QL70_ML2_.jpg 02.08.23
7. https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Kondensator_%28Elektrotechnik%29
05.06.23
8. <https://www.grund-wissen.de/elektronik/bauteile/kondensator.html> 03.08.23
9. <http://eee-books01.blogspot.com/2015/06/internal-structure-of-capacitor.html>
03.08.23
10. <http://www.maxwell.com/ultracapacitors/> 03.08.23