

Lade- und Entladevorgänge am Kondensator

Jürgen Enders

Vorbemerkung

Innerhalb von T³ Deutschland arbeitet derzeit im Bereich Naturwissenschaften die Physik-Gruppe an einer Sammlung von physikalischen Experimenten mit Taschencomputern. Es handelt sich hierbei um eine erweiterbare Sammlung der wichtigsten Experimente, die im Physikunterricht der Sekundarstufe II unter Verwendung von grafikfähigen Taschenrechner oder CAS-Rechnern (vor allem TI-Nspire™ CAS und Voyage™200) mit Datenerfassungssystem (z.B. CBL 2™) durchführbar sind. Das Material soll Lehrerinnen und Lehrer beim Einsatz von Taschencomputern im Physikunterricht unterstützen. Die mit der Verwendung dieser sogenannten Handheld-Technologie verbundenen Chancen sind z.B.: Schüler- statt Demonstrationsexperimente, differenziertes Arbeiten in Gruppen mit ergebnisoffenen Fragestellungen, kontextorientierte und alltagsbezogene Fragestellungen, Überwindung mathematischer Schwierigkeiten zugunsten der Behandlung physikalischer Inhalte. Jeder einzelne Beitrag enthält deshalb neben der Beschreibung des Experimentes auch Hinweise zum sinnvollen Einsatz, Tipps und Tricks, Schülerarbeitsblätter und Lehrerlösungen. An die einzelnen Beiträge schließt sich ein Glossar an, in dem die wichtigsten Bedienungshinweise nachgeschlagen werden können. Zudem sind u.a. editierbare Schülerarbeitsblätter und Beispielmessreihen als Zusatzmaterial geplant.

Versuchsbeispiel (Lehrermaterial)

Die Untersuchung von Lade- und Entladevorgängen am Kondensator ist Standard in der Oberstufe. Dazu wird der Kondensator über einen Widerstand auf- und wieder entladen und der zeitliche Verlauf von Spannung und Stromstärke untersucht. Der vereinfachte theoretische Ansatz liefert dazu die bekannten Gleichungen für $U(t)$ und $I(t)$. In der Schülerübung soll beispielhaft die Entladestromstärke $I(t)$ als Spannung $U(t) = R \cdot I(t)$ über dem Widerstand R aufgenommen und untersucht werden.

Geräte

- Stromversorgungsgerät, Batterie
- Kondensatoren, z.B. 22 μF , 47 μF
- Widerstände, z.B. 10 k Ω , 22 k Ω , 33 k Ω
- Metallkugel auf Stecker (Elektrostatik)
- Verbindungsleiter
- Taschencomputer (hier: TI-Nspire™)
- Spannungssensor (hier mit Vernier EasyLink®)

Versuchsdurchführung

Der Kondensator wird aufgeladen und über den Widerstand entladen. Dies geschieht hier, indem der Stecker des langen grünen (dunklen) Kabels zunächst kurz an die Kugel gehalten wird. Der Steckerstift des kurzen gelben (hellen) Kabels ruht dabei auf der ENTER-Taste und wird dort festgehalten. Jetzt drückt man mit dem Steckerstift des langen Kabels schnell und fest auf den Steckerstift des kurzen Kabels, so dass die

ENTER-Taste ausgelöst wird (s. Abb.2). Die Taste muss bis zum Ende der Messung gedrückt bleiben, damit durch den Kontakt der beiden Steckerstifte der Kondensator entladen wird! Zeitbedarf : 45 Minuten

Einstellungen

- Spannung: ca. 1,5 V - 9 V
- Messmodus: Zeitgraph, Messzeit: z.B. 2 s
- Abstand zweier Messungen: z.B. 0,05 s

Versuchsaufbau

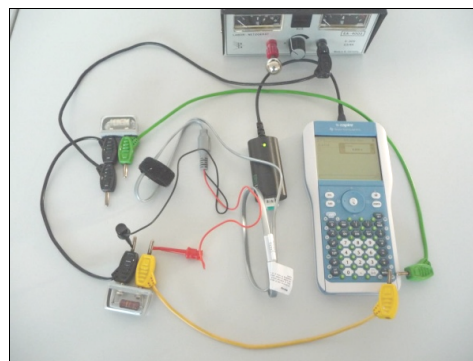


Abb. 1: Versuch mit TI-Nspire™

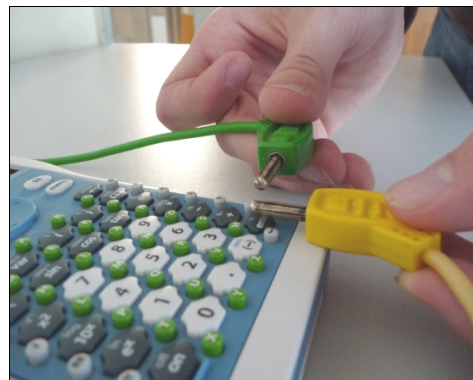


Abb. 2: Starten des Entladevorgangs

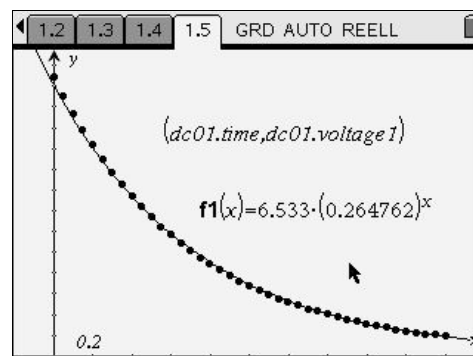


Abb. 3: Beispielgraph

Hinweise

Das Vernier EasyLink® ist z.Z. das einzige Messinterface, das mit dem TI-Nspire™ zusammen arbeitet und den Anschluss verschiedener Sensoren ermöglicht. Da bei diesem Gerät Triggern nicht möglich ist, habe ich nach einem anderen Weg

gesucht, Versuch und Messung möglichst zeitgleich zu starten. Das in der Versuchsdurchführung beschriebene Verfahren funktioniert gut.

Alternativ kann man auch das CBL™ mit dem Voyage 200™ oder dem TI-84 Plus verwenden (siehe Abb. 4 bis Abb.6). Das Laden/Entladen über die Steckerstifte kann man dann durch einen Umschalter ersetzen, da man das CBL™ triggern kann. Die übrigen Einstellungen können beibehalten werden. In jedem Fall darf man nicht erwarten, dass der erste Messwert der maximalen Ladespannung entspricht, denn bei Beginn der Messung ist der Kondensator schon etwas entladen, da u.a. die Messung mit einer gewissen Verzögerung nach der ersten Berührung der Kontakte beginnt. Deshalb darf auch die Zeitkonstante nicht zu klein gewählt werden; bewährt hat sich ein Wert von etwa $0,5 \text{ s}^{-1}$ oder größer.



Abb. 4: alternativer Aufbau mit dem V200

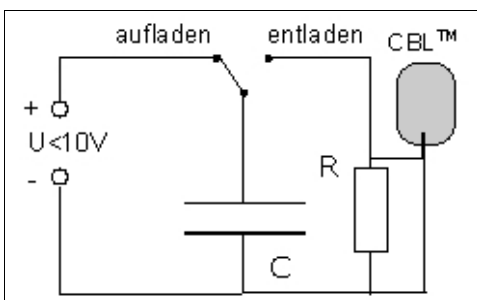


Abb. 5: Schaltplan

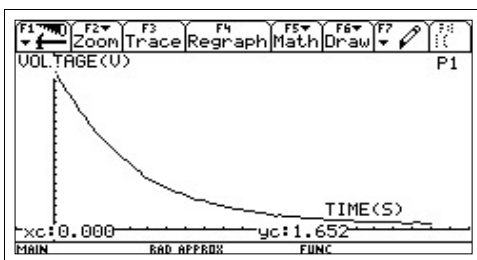


Abb. 6: Beispielgraph

Tipps und Tricks

- Der Kontakt der beiden Steckerstifte sollte zügig und fest erfolgen und während der Versuchsdauer nicht unterbrochen werden. Das gilt auch, wenn als Umschalter eine Morsetaste verwendet wird.
- Es eignen sich alle Gleichstromquellen, die eine Spannung kleiner als 10 V liefern.
- Die Triggerschwelle ist etwas niedriger als die maximale Ladespannung einzustellen.

Auswertung

Es erfordert etwas Übung, bis man gute Ergebnisse erzielt, aber dann lassen sich die Daten gut durch eine abklingende Exponentialfunktion modellieren.

Die Herleitung ergibt für die Spannung am Widerstand

$$U(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{1}{RC} \cdot t}$$

Die exponentielle Regressionsgleichung ist

$$f_1(x) = a \cdot b^x;$$

Der Vergleich ergibt $U_0 = a$ und

$$b = e^{-\frac{1}{RC}} \text{ und damit } R \cdot C = -(\ln b)^{-1}.$$

Bei der Abbildung oben war der Entladewiderstand $R = 33 \text{ k}\Omega$, und man erhält mit der Kapazität $C = 23 \text{ }\mu\text{F}$ eine gute Übereinstimmung mit dem aufgedruckten Wert von $22 \text{ }\mu\text{F}$.

Hinweise zur Bedienung des TI-Nspire™ :

- Verbindet man das Vernier EasyLink® mit dem GTR oder CAS, so wird automatisch das Datenerfassungs-Modul gestartet.
- Der Spannungssensor wird automatisch erkannt.
- Über **Menu – Experiment – Erfassung einrichten – Zeitgraph** lassen sich die Versuchsparameter einstellen.
- Wechselt der Rechner in den „Schlafmodus“, so erkennt er nach dem „Aufwecken“ das Interface nicht mehr. Man muss das Interface abziehen und den Rechner nochmals neu starten, bevor man es wieder mit dem Rechner verbinden kann. Dann wird es jedoch wieder erkannt. Die Einstellungen bleiben dabei erhalten.
- Will man nach der 1. Messung eine erneute Messung durchführen, so meldet sich der GTR mit einem Fenster **Ungespeicherte Daten**. Wählt man Verwerfen und bestätigt durch Enter, so wird unmittelbar danach die neue Messung gestartet. Die Bestätigung durch die Enter-Taste kann man zwar wie den Start eines neuen Versuches ansehen, aber sicherer ist es, bei einem neuen Versuch über **Menu – Daten – Alte Daten löschen** zu gehen. Dann kann man den Versuch ganz normal starten.
- Die Daten werden standardmäßig in den Listen **dc01.time** und **dc01.voltage1** gespeichert. Diese Listen sollte man in Lists & Spreadsheet an 2 Spalten übergeben. Mit jeder neuen Messung werden dann diese Spalten aktualisiert.
- Über **Menu – Statistik – Statistische Berechnung...** kann man eine exponentielle Regression durchführen und die Regressionsgleichung als Funktion abspeichern lassen. Auch sie wird dann bei jeder neuen Messung neu berechnet.
- Im Fenster Graphs & Geometry werden die aufgenommenen Daten angezeigt, wenn man sie über **Menu – Grafiktyp – Streuplot** einem Plot zugeordnet und das Fenster über **Menu – Fenster – Statistik-Zoom** angepasst hat. Verwendet man dieses Fenster als Hintergrund bei den Messungen, so kann man gleich kontrollieren, ob die Messung gelungen ist.

Autor:

Jürgen Enders, Hameln (D)
Humboldt-Gymnasium Bad Pyrmont
aj.enders@t-online.de

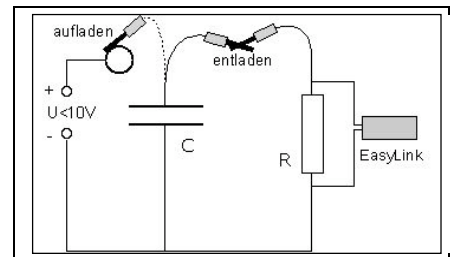
Lade- und Entladevorgänge am Kondensator

Schülerarbeitsblatt

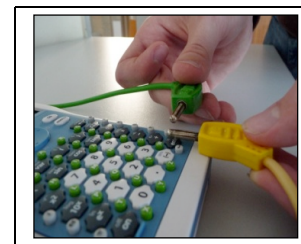
Geräte

- Stromversorgungsgerät, Batterie
- Kondensatoren, z.B. 22 μF , 47 μF
- Widerstände, z.B. 10 k Ω , 22 k Ω , 33 k Ω
- Metallkugel auf Stecker (Elektrostatik)
- Verbindungsleiter
- Taschencomputer (hier: TI-Nspire™ GTR)
- Spannungssensor (hier mit Vernier EasyLink®)

Versuchsaufbau



Schaltplan



Starten des Entladevorgangs

Einstellungen

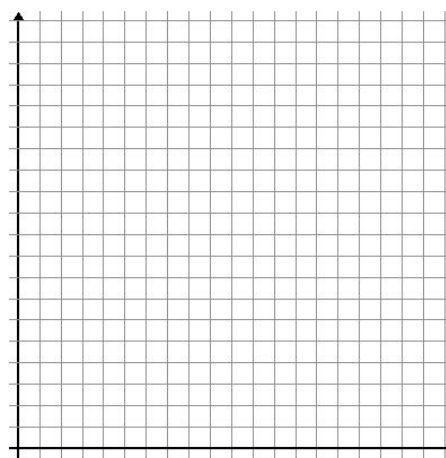
- Spannung: ca. 1,5 V - 9 V
- Messmodus: Zeitgraph
- Messzeit: z.B. 2 s
- Abstand zweier Messungen: z.B. 0,05 s

Versuchsdurchführung

1. Bauen Sie zunächst die Schaltung mit einem Kondensator und einem Widerstand aus der Liste auf. Die Metallkugel wird in den Pluspol der Stromquelle gesteckt. Der Kondensator wird aufgeladen, wenn man mit dem einem Stecker die Metallkugel berührt (gestrichelte Verbindung).
2. Legen Sie den mit dem Minuspol verbundenen Steckerstift auf die Enter-Taste und halten Sie ihn dort fest. Jetzt drücken Sie mit dem zweiten Steckerstift so fest auf den anderen, dass die Enter-Taste betätigt wird, wodurch die Messung ausgelöst wird. Halten Sie die beiden Steckerstifte in dieser Position, bis die Messung beendet ist.

Auswertung

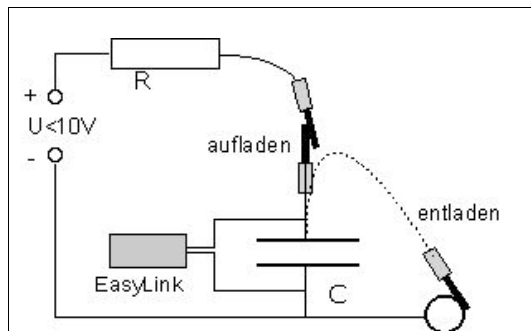
1. Stellen Sie die Messwerte auf dem Taschenrechner dar. Beurteilen Sie, ob Ihre Messung gelungen ist, und wiederholen Sie sie gegebenenfalls.
2. Führen Sie eine exponentielle Regression durch und bestimmen Sie die Zeitkonstante $\tau = R \cdot C$ gemäß der Gleichung $R \cdot C = -(\ln b)^{-1}$.
3. Stellen Sie die Regressionsgleichung auf dem Taschenrechner grafisch dar.
4. Wiederholen Sie den Versuch für andere Kombinationen von R und C .
5. Ändern Sie den Versuch so ab, dass der Spannungsverlauf am Kondensator während des Aufladens gemessen wird. Führen Sie die Messung durch und erläutern Sie den Graphen.
6. Tragen Sie die Graphen für einen Lade- und Entladevorgang in das Gitternetz ein (Rechtsachse ist die Zeit).



Lösungshinweise zum Schülerarbeitsblatt

zu 1.) Eine Messung ist gelungen, wenn die Messwerte alle auf einer Kurve zu liegen scheinen.

zu 5.) neuer Schaltplan



Für die Spannung am Kondensator gilt: $U_C = U - U_R$. Aus der exponentiellen Abnahme von U_R ergibt sich der beobachtete Verlauf von U_C .

zu 4.) Tabelle

C	R	10 k Ω	22 k Ω	33 k Ω
22 μ F		0,22 s ⁻¹	0,484 s ⁻¹	0,726 s ⁻¹
47 μ F		0,47 s ⁻¹	1,034 s ⁻¹	1,551 s ⁻¹

zu 6.) Beispielgraph

