

4.1 Musterlösung

Batterie und Kondensator als Energiespeicher

1. Die Nutzung von gespeicherter Energie ist vor allem in mobilen Geräten sowie Geräten notwendig, die an von der Energieversorgung entfernten Orten betrieben werden. Die folgende Liste gibt einen Überblick über mögliche Einsatzbereiche:

- Mobilfunk
- Weltall-Anwendungen (z. B. Mars Roboter und Raumstation)
- Tragbare Computer
- Einsatz in Automobilen
- Tragbare Abspielgeräte für Audio- und Videoanwendungen sowie Lesegeräte für eBooks
- Stromversorgung eines Wochenendhauses oder Schiffes
- ...

2. Neben den genannten Batterien und Kondensatoren sind folgende Energiespeicher denkbar:

- Pumpenspeicherwerk
- Schwungrad

3. Die maximale abzugebende Energie der Batterie beträgt 6480 J und kann wie folgt berechnet werden:

$$E = U \cdot Q$$

$$E = 1,5 \text{ V} \cdot 1,2 \text{ Ah} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$E = 6480 \text{ J}$$

4. Die oben genannte Batterie kann den mit 100 mW spezifizierten Verbraucher 18 Stunden mit elektrischer Energie versorgen.

$$E = P \cdot t$$

$$t = \frac{E}{P}$$

$$t = \frac{6480 \text{ J}}{100 \text{ mW}}$$

$$t = 64800 \text{ s}$$

$$t = 18 \text{ h}$$

5. Die oben dargestellten Berechnungen gehen von einer konstanten Spannung aus, die von der Batterie geliefert wird. Diese Annahme ist jedoch in der Praxis nicht zulässig, da die Spannung mit der Zeit sinkt.

6. Ein Blick in ein Tabellenbuch verrät folgende Definition der Kapazität eines Plattenkondensators:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

Aus dieser Definition wird deutlich, dass je größer die Fläche der Kondensatorplatten A und je kleiner der Abstand zwischen diesen Platten d ist, desto höher ist die Kapazität des Kondensators. Überdies kann die Kapazität mit der Wahl des Dielektrikums verändert werden, das in der Formel durch ϵ_r repräsentiert wird.

7. Die elektrische Energie, die im Kondensator gespeichert ist, lässt sich durch die Spannung, die an seinen Platten gemessen wird, und seine Kapazität bestimmen. Bei unserem Beispiel beträgt sie 112,5 μWs bzw. 112,5 μJ .

4.1 Musterlösung

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

$$E = \frac{1}{2} \cdot 100 \mu F \cdot (1,5 V)^2$$

$$E = 112,5 \mu J$$

Die in dem Kondensator gespeicherte Ladung kann ebenfalls mit diesen beiden Größen bestimmt werden und beträgt 0,15 mAs bzw. 0,15 mC.

$$Q = C \cdot U$$

$$Q = 100 \mu F \cdot 1,5 V$$

$$Q = 150 \mu As$$

8. Für die Dimensionierung eines Kondensators muss zunächst die Formel aus der Aufgabe 6 umgestellt werden:

$$A = \frac{C \cdot d}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}$$

Mit den vorgegebenen Werten muss die Fläche der Kondensatorplatte 3766 m² betragen:

$$A = \frac{100 \mu F \cdot 2 mm}{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} \cdot 6}$$

$$A = 3766 m^2$$

Bei dieser Fläche und quadratischen Kondensatorplatten ergibt sich eine Kantenlänge von 61,37 m:

$$A = a^2$$

$$a = \sqrt{A}$$

$$a = \sqrt{3766 m^2}$$

$$a = 61,4 m$$

9. Mit der Formel aus Aufgabe 4 und der Energie aus Aufgabe 7 lässt sich die Zeit direkt bestimmen. Der Kondensator versorgt den Verbraucher für 1,13 ms mit Energie:

$$t = \frac{E}{P}$$

$$t = \frac{112,5 \mu Ws}{100 mW}$$

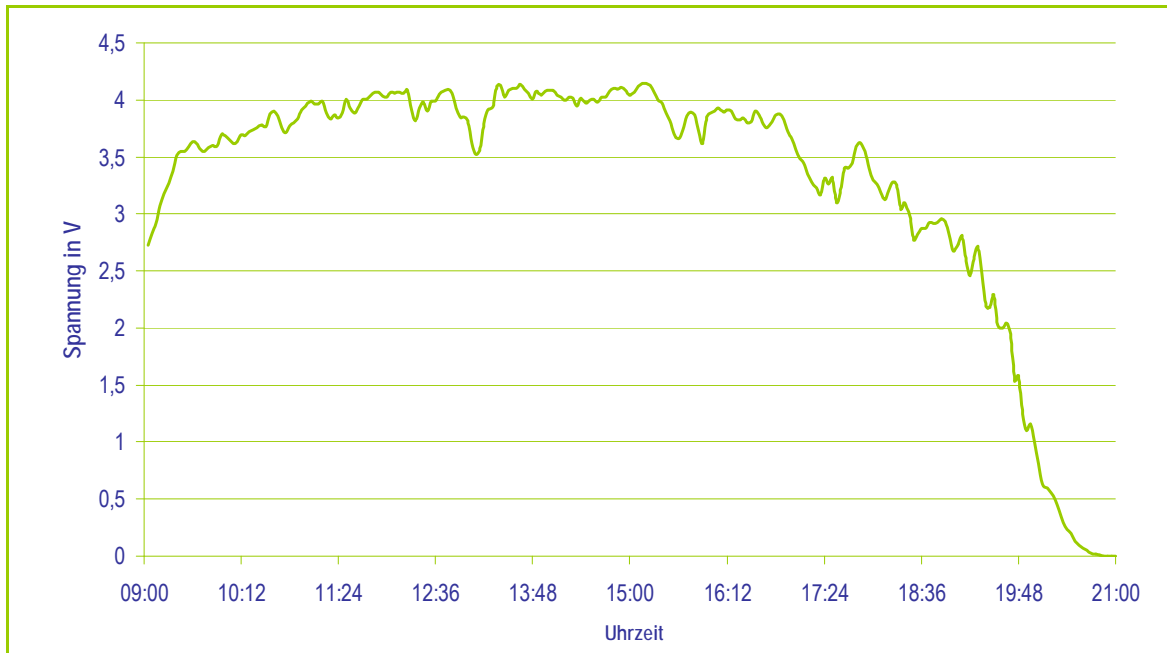
$$t = 1,125 ms$$

Es soll an dieser Stelle betont werden, dass die Berechnung ebenfalls von einer konstanten Kondensatorspannung ausgeht. Dies trifft in der Realität nicht zu.

4.2 Musterlösung

Zurück zur Energiegewinnung

1. Unsere Messung mit der Solarzelle und dem Datenlogger, die wir zwischen 9:00 Uhr und 21:00 Uhr durchgeführt haben, hat folgenden Verlauf:

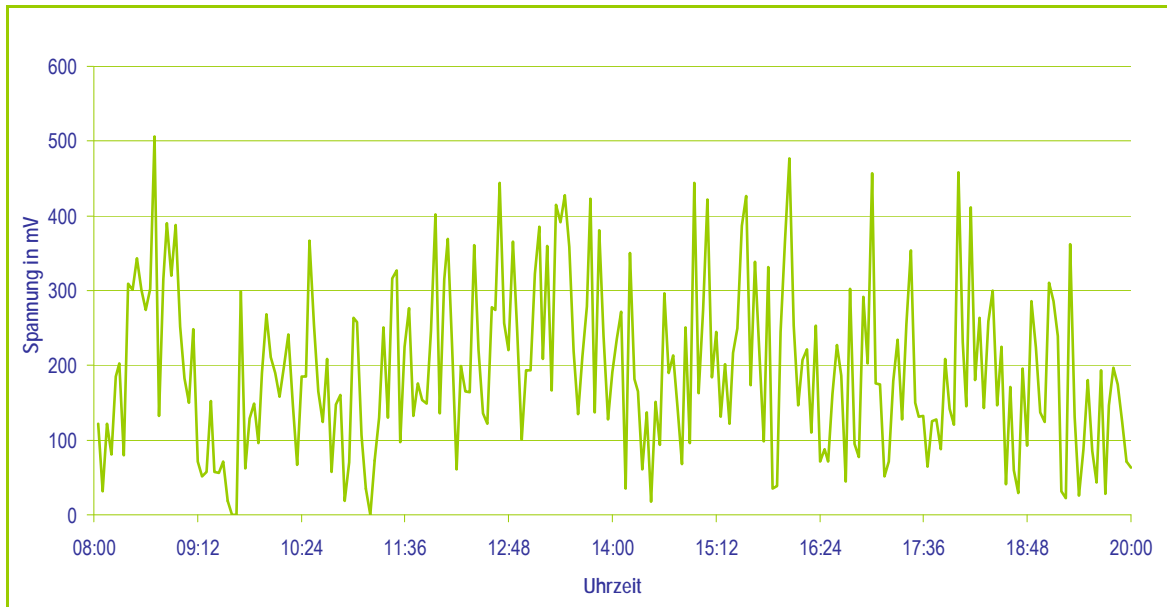


2. Der Hauptgrund für die Schwankungen der Ausgangsspannung stellen **Wolken** dar, die die Solarzelle verschatten. Überdies sind andere Verschattungen möglich, die durch Tiere oder Pflanzen in der Umgebung verursacht werden.
3. Unser Aufbau, den wir für die Messungen verwendet haben, ist wie folgt:

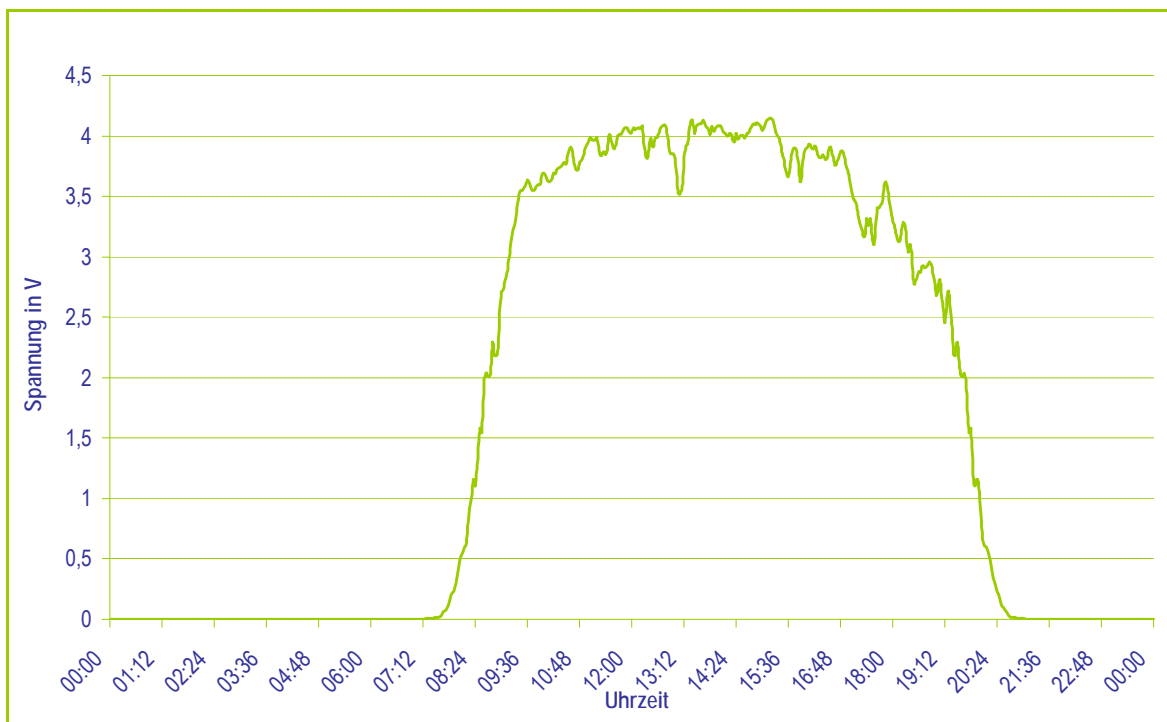


4.2 Musterlösung

4. Die Messung, die wir mit dem Windrad und dem Datenlogger durchgeführt haben, ergab folgendes Ergebnis:

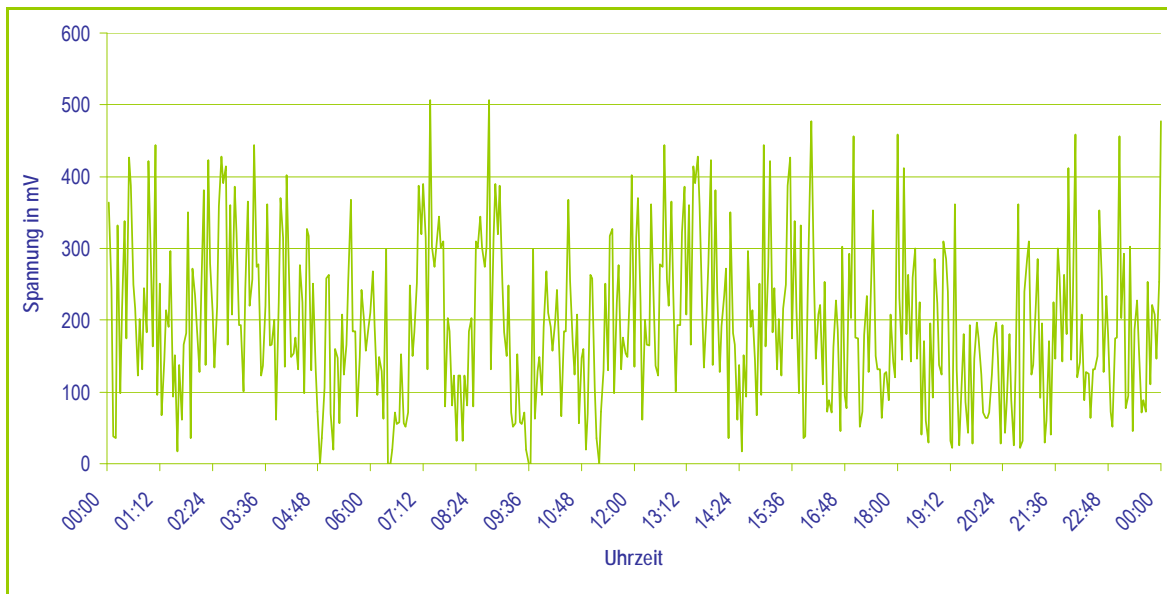


5. Die Erweiterung der Messungsergebnisse mit der Solarzelle stellt für die Nacht keine große Herausforderung dar, da die Sonne nicht scheint und somit die Spannung 0 V beträgt. Für den Zeitraum zwischen dem Sonnenaufgang und 9:00 Uhr (Beginn unserer Messung) haben wir die Messwerte vor und während des Sonnenuntergangs übernommen (19:21 Uhr – 21:00 Uhr).



Bei der Windmessung haben wir unterstellt, dass sich die Werte nicht stark verändern. Die Werte von 8:00 Uhr bis 16:00 Uhr wurden für den Zeitraum von 0:00 Uhr bis 8:00 Uhr (gespiegelt) übernommen. Für den Zeitraum von 20:00 Uhr bis 24:00 Uhr verwenden wir die Werte vom späten Nachmittag und Abend (16:00 Uhr – 20:00 Uhr). Mit dieser Vorgehensweise ergibt sich folgendes Diagramm:

4.2 Musterlösung



6. Ausgehend von den Messergebnissen werden folgende Vor- und Nachteile deutlich:

- Solarenergie
 - + höhere Ausgangsspannung
 - + keine mechanisch aufwendigen Aufbauten nötig (Dies ist kein Ergebnis der Messung, sondern eine Erfahrung, die Ihr bei dem Betrieb bestimmt gemacht habt.)
 - kein Betrieb nachts möglich
- Windenergie
 - + kontinuierlicher Betrieb möglich
 - geringe Ausgangsspannung

4.3 Musterlösung

Energieeffiziente Verbraucher

- Bei den Doppelschichtkondensatoren bildet sich, wie der Name bereits andeutet, eine elektrische Doppelschicht, die wie ein Dielektrikum wirkt. Ein echtes Dielektrikum gibt es nicht. Aufgrund der riesigen inneren Oberfläche bei kleinem Abstand wird die hohe Kapazität ermöglicht.
- Der Strom, der durch den Widerstand R_2 fließt, hat den Wert 10 mA:

$$I_{LED1} = \frac{U_{R1}}{R_1}$$

$$I_{LED1} = \frac{U_{C1} - U_{LED1}}{R_1}$$

$$I_{LED1} = \frac{4,5 V - 3,3 V}{120 \Omega}$$

$$I_{LED1} = 10 mA$$

Die Energiemenge, die der geladene Kondensator der Schaltung zur Verfügung stellt, beträgt 3,34 Ws:

$$E = \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot U_{C1}^2$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot 330 mF \cdot (4,5 V)^2$$

$$E = 3,34 Ws$$

Ausgehend von den beiden Berechnungen, kann die Zeit bestimmt werden, in der die LED leuchtet. Es vergehen 74,3 s, bis die Diode erlischt:

$$t = \frac{E}{U_{C1} \cdot I_{D1}}$$

$$t = \frac{3,34 Ws}{4,5 V \cdot 10 mA}$$

$$t = 74,25 s$$

- Bei absinkender Spannung vermindert sich auch der Strom durch die LED, somit leuchtet sie länger bei geringerem Strom. In der Praxis ist der Strom also nicht konstant wie in Aufgabe 4.3.2. angenommen.
- Die Diode verhindert ein Entladen des Kondensators bei niedriger Spannung an der Solarzelle. Falls die Diode weggelassen wird und die Solarzelle keine entsprechend hohe Spannung liefert, fließt ein Strom vom Kondensator über die Solarzelle und entlädt den Kondensator.

Der Grund für die Verwendung einer Schottky-Diode liegt in ihren elektrischen Eigenschaften. Eine Schottkydiode verursacht einen geringeren Spannungsabfall in Flussrichtung als dies bei einer Silizium- bzw. Germaniumdiode der Fall ist.

- Die Schaltung stellt eine sogenannte Ladungspumpe dar, die es ermöglicht, die niedrigere Spannung des Kondensators zu erhöhen. Mit der erhöhten Spannung leuchtet die LED weiter, auch wenn dies ohne die Ladungspumpe nicht mehr möglich war. Dieses Prinzip wird in DC-DC-Wandlern verwendet, die eine höhere Gleichspannung aus einer niedrigeren Gleichspannung erzeugen.
- Es gibt viele Bereiche, bei denen blinkende Leuchtmittel eingesetzt werden, sodass an dieser Stelle lediglich drei Beispiele angegeben werden:

4.3 Musterlösung

Anwendung	Periodendauer	Impulsdauer	Tastgrad
Blinker im Auto	1,5 s	0,75 s	0,5
Warnblitzer (z. B. bei Baustellen)	2 s	0,2 s	0,1
Blinkende LED in Feuermeldern zur Betriebsspannungsanzeige	10 s	0,1 s	0,01

Beachtet, dass es sich bei den Werten um keine genauen Angaben handelt.

- Die Frequenz des Multivibrators wird durch die Widerstände R_1 , R_3 und R_4 sowie durch den Kondensator C_3 beeinflusst. Bei einer Erhöhung der Kapazität des Kondensators C_3 wird die Frequenz des Multivibrators niedriger. Eine Veränderung der Kapazität des Kondensators C_2 hat keinen Einfluss auf die Frequenz des Multivibrators.
- Bei einem vollständig geladenen Kondensator C_1 blinkt die LED mehrere Stunden.

4.4 Musterlösung

Optimierung der Energieerzeugung

1. Die Effizienz der Energieerzeugung kann durch folgende Maßnahmen gesteigert werden:

- Ein Hohlspiegel, der die Sonnenstrahlen in einem Brennpunkt bündelt.
- Eine Sammellinse, die ebenfalls die Sonnenstrahlen in einem Brennpunkt bündelt.
- Verwendung von größeren Windrädern und Turbinen mit einem hohen Wirkungsgrad.
- Nachführen des Windrades / Nachführung der Solarzelle

Alternativ kann die Schwankungsbreite vermindert werden, wobei hier u. a. folgende Ansätze denkbar sind:

- Nachführen des Windrades / Nachführung der Solarzelle
- Energieerzeugung durch mehrere Solarzellen und/oder Windräder, die an unterschiedlichen Standorten installiert sind.
- Energieerzeugung durch die Kombination von Solar- und Windenergie
- Ein Spiegel, der die Sonnenstrahlen aus verschiedenen Richtungen bündelt.

2. Die Anzahl der Möglichkeiten ist hier beinahe unendlich, sodass wir hier lediglich eine Idee andeuten möchten. Es handelt sich um das Nachführen der Solarzelle mithilfe von dem mitgelieferten Uhrwerk, mit dem ein optimaler Einfallswinkel der Sonnenstrahlen gewährleistet wird.

3. Um die Wirksamkeit der Idee zu beweisen, kann eine Messreihe mit dem Datenlogger durchgeführt werden. Die Ergebnisse können mit den Ergebnissen der Aufgabe 4.2.1 verglichen werden. An dieser Stelle ist ebenfalls eine theoretische Berechnung denkbar, die über die trigonometrischen Funktionen die Steigung der Effizienz „beweist“.