

Experiment 02

Reihen- und Parallelschaltung

Lernziel:

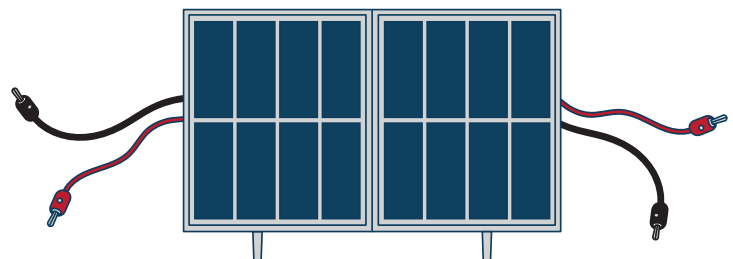
Es sollen die Kirchhoff'schen Maschen- und Knotenregeln bestätigt werden und eine optimale Verschaltung von PV-Modulen auf dem Dach von Gebäuden abgeleitet werden. Aus den Kirchhoff'schen Regeln folgt: **In Reihe** addieren sich die Klemmenspannungen der Module. Die Stromstärke bleibt dagegen in jedem Abschnitt konstant. **Parallel** addieren sich die Stromstärken, die Klemmenspannungen bleiben dagegen in jedem Abschnitt konstant.

Kurzbeschreibung:

Es wird eine Reihen- und Parallelschaltung aufgebaut, jeweils bestehend aus zwei PV-Modulen. Zusätzlich soll der Effekt von Beschattung auf den Modulen untersucht werden.

Vorüberlegungen

PV-Anlagen sind ganzjährig Umwelteinflüssen wie Regen, Schnee und Schmutz ausgesetzt. Diese verhindern, ebenso wie der Schatten von Bauwerken und Bäumen, dass direkte Sonneneinstrahlung auf PV-Module trifft. Wie wichtig es ist, Verschattung bei der Auslegung von PV-Anlagen zu beachten und was für einen Effekt diese auf Reihen- und Parallelschaltung hat, soll in diesem Experiment gezeigt werden.



1. Abb.: Zu benutzende Module

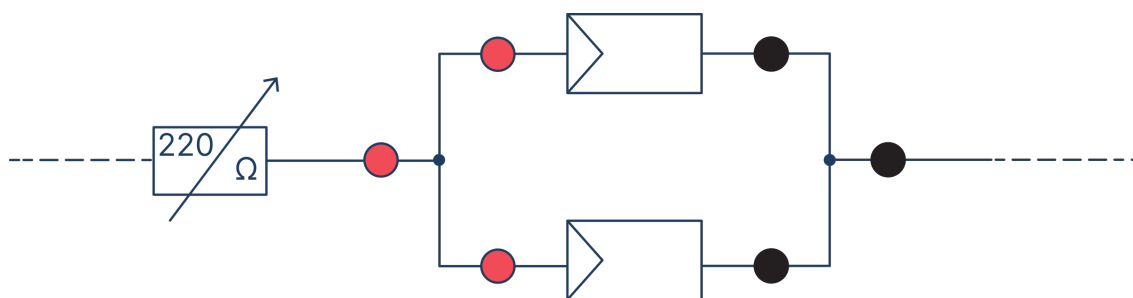
- Misst du in den Versuchen V_{DC} oder V_{AC} ?
 I_{DC} oder I_{AC} ? Kreise ein
- Achte darauf, innerhalb jedes Teilversuchs, den Widerstand, die Lichtverhältnisse und die Distanz zur Lichtquelle konstant zu halten

Tipps:

- Modulkabel direkt über Löcher in den Steckern miteinander verbinden
- Reihenschaltung: Plus- und Minuspole der Module aneinanderreihen (Schwarz auf Rot auf Schwarz etc.)
- Parallelschaltung: Alle Minuspole (Schwarz) zusammenlegen und alle Pluspole (Rot) zusammenlegen
- Für die Bemessung der Parallelschaltung mit dem Multimeter werden alle Stecker einer Farbe in die gleichfarbigen Buchsen der Grundplatte gesteckt. Die roten und schwarzen Buchsen sind jeweils leitend miteinander verbunden. Das Potentiometer kann dann mit diesen mittels zwei zusätzlicher Laborkabel (siehe Abbildung 2) verbunden werden.



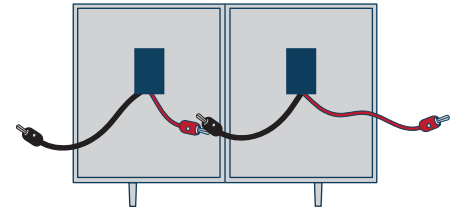
2. Abb.: Aufsicht der Grundplatte. Übersicht des Kabelverlaufs und der Buchsenverteilung



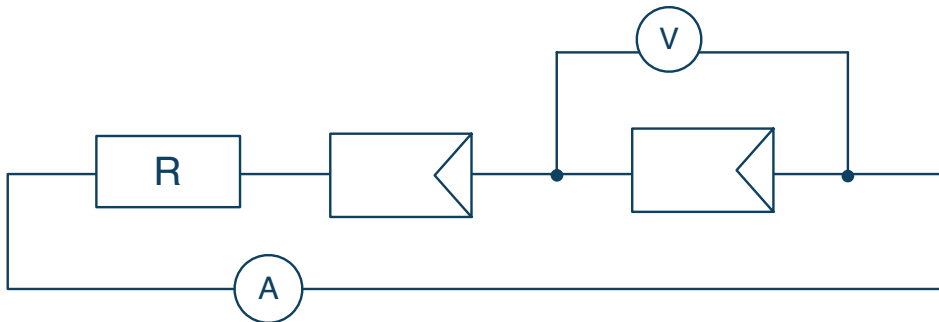
3. Abb.: Schaltplan einer Parallelschaltung mit zwei PV-Modulen. Es sind zusätzlich die roten und schwarzen Buchsen eingezeichnet, die denjenigen in Abbildung 2 entsprechen.

Teilversuch 01: Reihenschaltung

- Für diesen Versuch lassen sich die Module direkt miteinander verbinden, siehe Abbildung 4
- Verbinde nun das 220Ω Potentiometer, um die Schaltung in Abbildung 5 zu realisieren



4. Abb.: Die Kabel der PV-Module können direkt zusammengesteckt werden



5. Abb.: Schaltplan einer Reihenschaltung bestehend aus zwei PV-Modulen. Als Widerstand muss der kritische Widerstand eingestellt werden.

Als Widerstandswert muss der sogenannte *kritische Widerstand* eingestellt werden. Als kritischen Widerstand bezeichnen wir die Last, unter welcher die Leistung eines Moduls kurz davor ist, einzubrechen. Geht man unter diesen Widerstand, brechen die Spannungswerte ein. Geht man über diesen Widerstand, brechen die Stromwerte ein.

Gehe wie folgt vor:

- Stelle die Lampe auf die Sonnenposition und schalte sie an
- Um den kritischen Widerstand zu finden: Drehe das Potentiometer von $0 \rightarrow R_{\max}$ und beobachte die grünen Kontroll-Lämpchen an dem Rücken der Module. Es gibt einen Schwellwert R_{crit} , bei dem beide Lämpchen gerade noch gleichzeitig leuchten (dreht man also am Potentiometer ein bisschen weiter, würde eines der Lämpchen ausgehen)
- Messe nun die Klemmenspannung beider Module einzeln und trage in Tabelle 1 ein
- Bilde die Summe der einzelnen Klemmenspannungen und trage in Tabelle 2 ein
- Miss die Gesamtspannung (also z.B. die Klemmenspannung des Potentiometers) und trage in Tabelle 1 ein. Sind deine Erwartungen erfüllt?

Tabelle 1: Spannungen in einer Reihenschaltung

	Klemmenspannung in V	Summe der Klemmenspannungen in V	Gesamtspannung in V	Erwartung erfüllt?
PV1	1,85	10,72	10,72	✓
PV1	8,87			

- Messe nun die Stromstärke zwischen den Modulen. Trage in Tabelle 2 ein
- Messe die Stromstärke zwischen dem Potentiometer und einem der Module. Trage in Tabelle 2 ein
- Sind deine Erwartungen erfüllt?

Tabelle 2: Stromstärken in einer Reihenschaltung

	Stromstärke in mA	Erwartung erfüllt?
Zwischen den Modulen	58,5	✓
Zwischen dem Potentiometer und einem der Module	58,7	

- Verdecke nun eines der Module komplett, z.B. mit einem Stück Karton oder einem Heft. Was passiert mit der Gesamtspannung und dem Strom? Messe und trage die Werte in Tabelle 3 ein
- Verdecke nun gleichzeitig die beiden oberen Hälften der Module und trage die Werte für Gesamtspannung und Strom wieder in Tabelle 3 ein
- Schalte die Lampe aus
- Verwundern dich deine Ergebnisse? Kannst den Unterschied in den Spalten „Komplette Verschattung eines Moduls“ und „Verschattung der oberen beiden Hälften der Module“ erklären?

Tabelle 3: Effekt von Verschattung auf Gesamtspannung und Strom in Reihenschaltung

	Stromstärke in mA	Gesamtspannung in V
Komplette Verschattung eines der Module	0,2	0,06
Verschattung der oberen beiden Hälften der Module	0,6	0,10

Beschattet man ein komplettes Modul, so fällt dieses aus. Das heißt, die Elektronen fallen zurück in ihr „Valenzband“ und das Modul fungiert effektiv als ein Widerstand, während das zweite Modul noch arbeitet. Verschattet man beide gleichzeitig (auch bei Teilverschattung), fallen bei beiden Modulen Elektronen zurück und es gibt kein Modul welches Energie effizient umwandelt. In einer Reihenschaltung von PV-Modulen, ist es also wichtig zu bedenken, dass die ganze Anlage „nur so stark, wie das schwächste Mitglied“ ist.

Teilversuch 02: Parallelschaltung

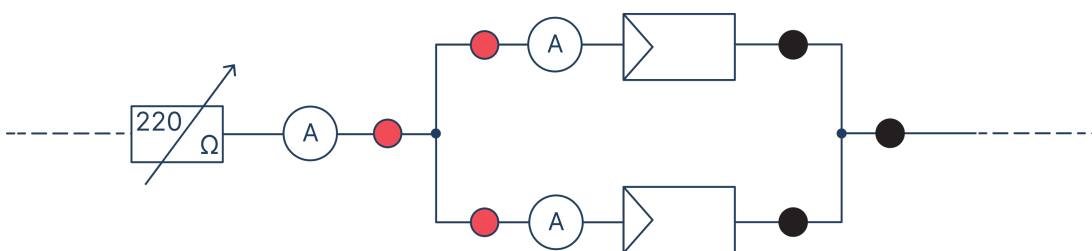
- Um nun eine Parallelschaltung zu realisieren, stecke die roten Modulkabel in die roten Buchsen an der Grundplatte und die schwarzen Modulkabel in die schwarzen Buchsen, wie in Abbildung 6
- Verbinde das Potentiometer wie in Abbildung 2
- Schalte nun die Lampe wieder ein
- Benutze das bekannte Verfahren um am Potentiometer den kritischen Widerstand R_{crit} einzustellen

Zu Erinnerung: In einer Parallelschaltung gilt, dass die Klemmenspannung eines einzelnen Moduls der Gesamtspannung im Stromkreis entspricht. Außerdem entspricht die Summe der Stromstärken in den Abzweigungen der Gesamtstromstärke. Die Gesamtstromstärke befindet sich z.B. zwischen dem Potentiometer und dem roten oder schwarzen Knotenpunkt in der Grundplatte.

Dies ist nun hier nachzuweisen.



6. Abb.: Parallele Verschaltung der Module an der Grundplatte.



7. Abb.: Schaltplan für die Parallelschaltung. Die Gesamtstromstärke wird zwischen dem Potentiometer und dem roten Knotenpunkt gemessen. Die Ströme in den Zweigen der Parallelschaltung werden gemessen.

- Messe zunächst die Klemmenspannung beider Module und trage die Werte in Tabelle 4 ein
- Messe nun die Gesamtspannung in dem du die Klemmenspannung vom Potentiometer misst. Trage in Tabelle 4 ein. Sind deine Erwartungen erfüllt?

Tabelle 4: Spannungen in einer Parallelschaltung

	PV1	PV2	Potentiometer
Klemmenspannung in V von...	2,61	2,61	2,61
Erwartung erfüllt?	✓		

- Messe nun die Stromstärken im oberen und unteren Zweig der Parallelschaltung (siehe Abbildung 6). Trage diese Werte, als auch deren Summe in Tabelle 5 ein
- Messe nun die Gesamtstromstärke (siehe Abbildung 6) und trage den Werte in Tabelle 5 ein. Sind deine Erwartungen erfüllt?

Tabelle 5: Stromstärken in einer Parallelschaltung

	Stromstärke in mA	Summe in mA	Gesamtstrom in mA	Erwartung erfüllt?
Zweig 1	66,6	125,5	125,7	✓
Zweig 2	58,9			

- Analog zum Reihenschaltungsversuch wird nun durch Beschattung eine vorbeiziehende Wolkenfront simuliert. Verdecke zunächst ein Modul komplett und danach beide obere Hälften der Module und trage dementsprechend in Tabelle 6 ein
- Schalte die Lampe aus
- Ist dir etwas Besonderes bei deinen Werten aufgefallen? Wie verhält sich die Gesamtspannung bei Verschattung eines Zweiges der Parallelschaltung?

An den Werten in Tabelle 6 sieht man, dass bei Verschattung eines Moduls, die Stromstärke der des arbeitenden Moduls plus einem kleinen Betrag entspricht. Der kleine Beitrag ist der Strombeitrag des ausgefallenen Moduls, welches wie ein Widerstand wirkt. Die Spannung ist um nur 1V (entspricht 33%) gefallen, im Vergleich dazu liegt der Spannungsabfall bei der Parallelschaltung bei 67%. Das Spannung dennoch um 33% abgefallen ist, kann an der veränderten MPP-Kurve durch Ausfall des einen Moduls liegen. Würden wir mit stabilisierten Spannungsquellen arbeiten, z.B. einer Batterie, hätten wir hier einen Abfall von ca. 0% erwartet.

- Ziehe ein Abschluss-Fazit im Arbeitsblatt „Zusatz 02“

Tabelle 6: Effekt von Verschattung auf Gesamtspannung und Strom in Parallelschaltung

	Stromstärke in mA	Gesamtspannung in V

Komplette Verschattung eines der Module	59,0 (dieselbe Stromstärke wie aus „Zweig 2“ Tabelle 5)	3,1 (ca. dieselbe Spannung wie in Tabelle 4, Abweichung durch anderen Innenwiderstand)
Verschattung der oberen beiden Hälften der Module	1,8	0,04