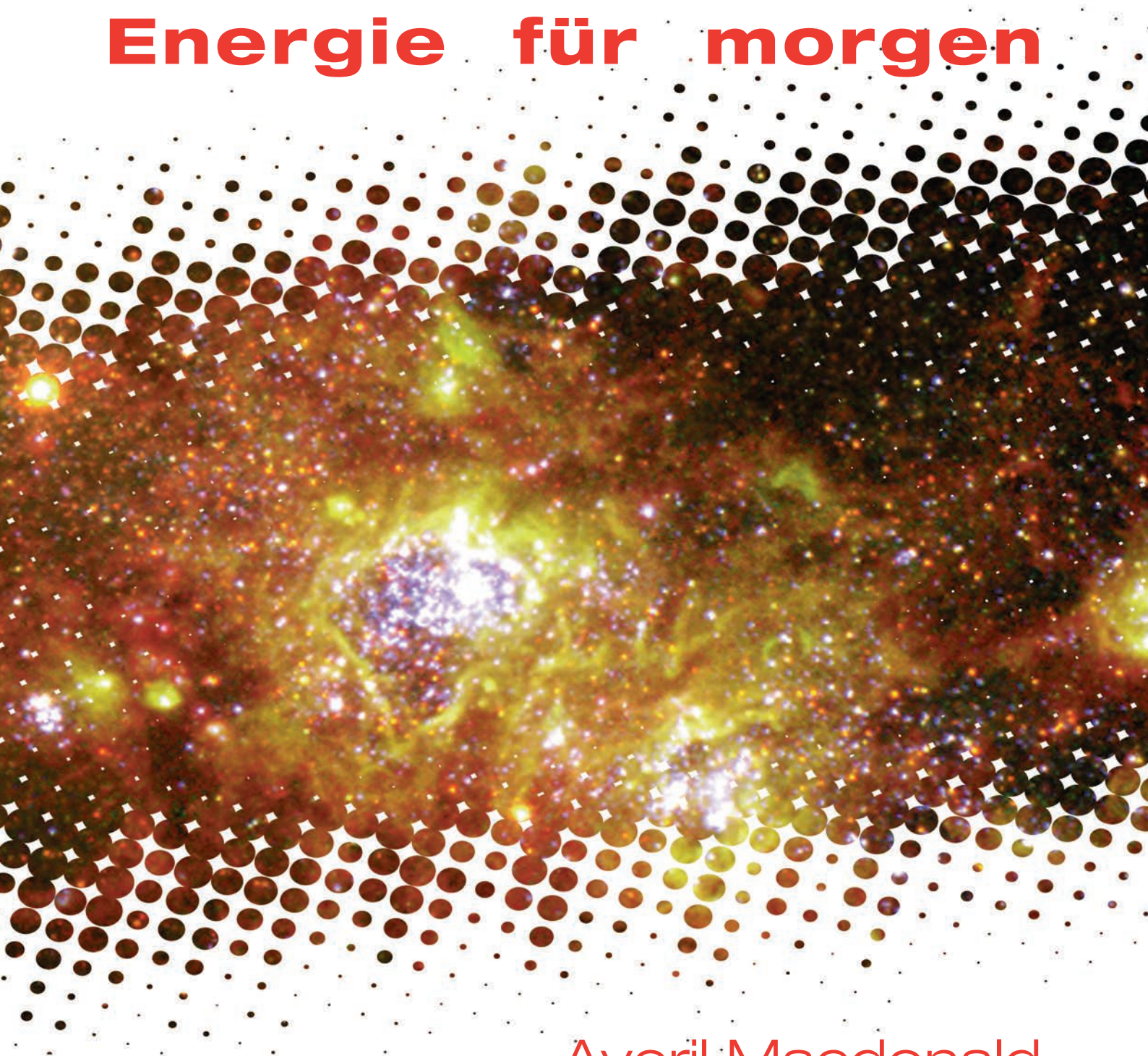


Physik für die Sekundarstufe II

# Wasserstoff

Energie für morgen



Averil Macdonald

heliocentris

# Inhalt

## Teil 1

Vorbereitete experimentelle Lektionen mit Lehrerinformationen zur Vermittlung von Rahmenplaninhalten und experimentellen Fertigkeiten

1. Die Untersuchung eines Solarmoduls:  
Sind Strom und Spannung konstant? Seite 10
2. Die Untersuchung eines Solarmoduls:  
Ist eine Solarzelle eine Diode? Seite 16
3. Die Kennlinie eines Elektrolyseurs Seite 22
4. Die Kennlinie einer Brennstoffzelle Seite 28
5. Der Fotostrom einer Solarzelle in  
Abhängigkeit vom Abstand der  
Lichtquelle Seite 34
6. Der Fotostrom einer Solarzelle  
in Abhängigkeit vom Einfallswinkel  
des Lichtes Seite 38
7. Reihen- und Parallelschaltung von  
Brennstoffzellen Seite 44
8. Reihen- und Parallelschaltung von  
Solarzellen Seite 50
9. Der Wirkungsgrad des Systems  
Elektrolyseur-Brennstoffzelle Seite 56
10. Die Anpassung des Elektrolyseurs an  
das Solarmodul - Bestimmung von  
Arbeitspunkten Seite 60
11. Die zerlegbare Brennstoffzelle:  
Der Einfluss des Innenwiderstands auf  
die Kennlinie einer Brennstoffzelle Seite 66
12. Die Kennlinie einer Methanol-  
Brennstoffzelle Seite 72
13. Parallel- und Reihenschaltung von  
Methanol-Brennstoffzellen Seite 78

## Teil 2

Schriftliche Aufgaben

1. Brennstoffzellen:  
Gestern und heute Seite 86
2. Das dritte Jahrtausend der  
Energieversorgung Seite 88
3. Batterien oder Brennstoffzellen:  
Wo liegt die Zukunft? Seite 90
4. Das Ende des Stromnetzes Seite 92
5. Kraftfahrzeuge ohne Emissionen Seite 94
6. Nachhaltigkeit -  
die nächste Herausforderung Seite 98
7. Solar-Wasserstoff-Technologie  
in der Praxis Seite 100

## Schlusswort/Literatur

Seite 102

## Teil 1

### Experimentelle Lektionen

Diese Lektionen umfassen eine Vielzahl von Themen, die Gegenstand der Rahmenpläne für das Fach Physik in der Sekundarstufe II sind.

#### Einsatz der Lektionen im Unterricht

Mit den Schülerübungsgeräten von heliocentris wird eine illustrierte Kurzanleitung geliefert. Diese kann den Schülerinnen und Schülern zur Erleichterung der Experimentvorbereitung ebenfalls ausgehändigt werden.

**Die Schüleranleitung:** Die Schülerinnen und Schüler werden bei der Vorbereitung, der Durchführung und der Auswertung des Experimentes angeleitet. Vor- und nachbereitende Fragen stellen sicher, dass die experimentelle Arbeit auf einer soliden theoretischen Basis und in Bezug zum Alltag steht. Die Schülerinnen und Schüler entwickeln dabei vielfältige experimentelle Fertigkeiten wie den Entwurf und Aufbau von elektrischen Schaltungen, die Auswertung und Protokollierung von Messungen und die Nutzung von Computern bei der Auswertung von Messreihen. Die Experimentanleitungen können den Schülerinnen und Schülern kopiert werden.

**Die Lehreranleitung:** Diese umfangreiche Anleitung bietet zusätzliche Informationen zur konkreten Durchführung der Experimente und zu den Lerninhalten jedes Experiments. Sie enthält Details zum experimentellen Aufbau und Hinweise zu den zu erwartenden Ergebnissen.

Die Anleitungen enthalten theoretische Grundlagen des Experiments und Beispiele für die Auswertung. Falls die Schülerinnen und Schüler über die Schüleranleitungen hinaus Informationen zur Durchführung des Experimentes benötigen, können ihnen je nach Ermessen der Lehrerin/des Lehrers Teile der Lehrerinformation zur Verfügung gestellt werden. Dies ist manchmal von Vorteil, um die Richtung des Experiments vorzugeben oder Details der Messmethode zu vermitteln.

#### Inhalt

##### E1. Die Untersuchung eines Solarmoduls: Sind Strom und Spannung konstant? **S. 10**

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen ein beleuchtetes Solarmodul unter Last, wobei sie Strom und Spannung bei unterschiedlichen Lastwiderständen und konstanter Beleuchtung messen. Sie beobachten, dass der Strom über weite Bereiche der Spannung bis zum Punkt maximaler Leistung nahezu konstant bleibt. Das Experiment führt den Begriff der elektrischen Leistung ein und wird durch Vorschläge für weiterführende Experimente zum Betrieb einer Solarzelle ergänzt.

##### E2. Die Untersuchung eines Solarmoduls: Ist eine Solarzelle eine Diode? **S. 16**

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen das Verhalten eines Solarmoduls im Dunkeln, wo es als Diode arbeitet. Dabei bauen sie einen einfachen Schaltkreis auf, mit dem sie den Strom, der durch das Solarmodul fließt, in Abhängigkeit von der angelegten Spannung messen können. Die Verwendung von Bypass-Dioden in Solarmodulen wird erläutert.

##### E3. Die Kennlinie eines Elektrolyseurs **S. 22**

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen den Einfluss der an einen Elektrolyseur angelegten Spannung auf die Höhe des Elektrolysestroms. **G**

## **E4. Die Kennlinie einer Brennstoffzelle**

**S. 28**

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen die Auswirkung verschieden hoher Lastwiderstände auf das Verhalten einer Brennstoffzelle. Die Reaktion in der Brennstoffzelle ist die Umkehrung der Reaktion im Elektrolyseur, deshalb lassen sich die Kennlinien vergleichen. **G**

## **E5. Der Fotostrom einer Solarzelle in Abhängigkeit vom Abstand der Lichtquelle**

**S. 34**

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen den Effekt unterschiedlicher Abstände zwischen Lichtquelle und Solarmodul. Durch grafische Auswertung der Ergebnisse kann das Abstandsgesetz aus der Strahlungstheorie des Lichts veranschaulicht werden.

## **E6. Der Fotostrom einer Solarzelle in Abhängigkeit vom Einfallswinkel des Lichtes**

**S. 38**

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen den Einfluss des Einstrahlungswinkels der Lichtquelle auf die Höhe des Fotostroms einer Solarzelle. Anschließend transferieren sie ihre Erkenntnisse auf das praktische Problem der Aufstellung von Solarmodulen auf Hausdächern. Die grafische Auswertung der Messergebnisse führt zum Nachweis der linearen Abhängigkeit des Fotostroms vom Cosinus des Einfallswinkels.

## **E7. Reihen- und Parallelschaltung von Brennstoffzellen**

**S. 44**

Batterien und Brennstoffzellen werden verglichen: Die Schülerinnen und Schüler untersuchen die Wirkung der Parallel- und Reihenschaltung von Brennstoffzellen auf deren Ausgangsleistung. Dieses Experiment zeigt den Effekt der Parallel- und Reihenschaltung bei Batterien und verdeutlicht die Wirkungsweise eines elektrischen Verbrauchers im Stromkreis.

*(Für dieses Experiment benötigt man zwei Schülerübungskästen.)*

## **E8. Reihen- und Parallelschaltung von Solarzellen**

**S. 50**

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen die Wirkung der Parallel- und Reihenschaltung von Solarzellen auf die Ausgangsleistung der Solarzellen. Dies verdeutlicht den Effekt der Parallel- und Reihenschaltung von Spannungsquellen. Die Bedeutung von in Reihe verschalteten Solarzellen für kommerzielle Anwendungen wird erläutert.

*(Für dieses Experiment benötigt man zwei Schülerübungskästen.)*

## **E9. Der Wirkungsgrad des Systems Elektrolyseur-Brennstoffzelle**

**S. 56**

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen die Veränderung der Ausgangsleistung einer Brennstoffzelle bei Verwendung verschiedener Lastwiderstände und bestimmen den maximalen Wirkungsgrad des Systems Elektrolyseur-Brennstoffzelle.

## **E10. Die Anpassung des Elektrolyseurs an das Solarmodul – Bestimmung von Arbeitspunkten**

**S. 60**

Die Schülerinnen und Schüler wiederholen Experiment 1 und 4 und verbinden die dort gewonnenen Ergebnisse, indem sie diese bei gemeinsamen Diskussionen und der Erstellung von Diagrammen auswerten. Sie bestimmen den Punkt der optimalen Anpassung und beobachten die Abhängigkeit des Arbeitspunktes von der Beleuchtung des Solarmoduls.

## **E11. Die zerlegbare Brennstoffzelle: Der Einfluss des Innenwiderstands auf die Kennlinie einer Brennstoffzelle**

**S. 66**

Die Schülerinnen und Schüler vergleichen die Kennlinien einer Brennstoffzelle bei unterschiedlich hohen Innenwiderständen und stellen Leistungsverlust bei Zunahme des Widerstandes fest. *(Für dieses Experiment benötigt man das Ergänzungssset „zerlegbare Brennstoffzelle“.)*

## **E12. Die Kennlinie einer Methanol-Brennstoffzelle**

**S. 72**

Die Schülerinnen und Schüler arbeiten mit einer Brennstoffzelle, die Methanol in elektrische Energie umwandelt. Die Auswertung entspricht dem Vorgehen in Experiment 4. *(Für dieses Experiment benötigt man eine Methanol-Brennstoffzelle.)*

**G**

## **E13. Parallel- und Reihenschaltung von Methanol-Brennstoffzellen**

**S. 78**

Die Schülerinnen und Schüler experimentieren mit Methanol-Brennstoffzellen in unterschiedlicher elektrischer Verschaltung. Die Auswertung entspricht dem Vorgehen in Experiment 7. *(Für dieses Experiment benötigt man zwei Methanol-Brennstoffzellen.)*

**Hinweis:** Die mit **G** markierten Experimente sind in ähnlicher Form auch in *Wasserstoff: Energie für morgen - Chemie für die Sekundarstufe II* enthalten.

# Lehreranleitung

## Der **Fotostrom** einer **Solarzelle** in Abhängigkeit vom **Abstand** der **Lichtquelle**

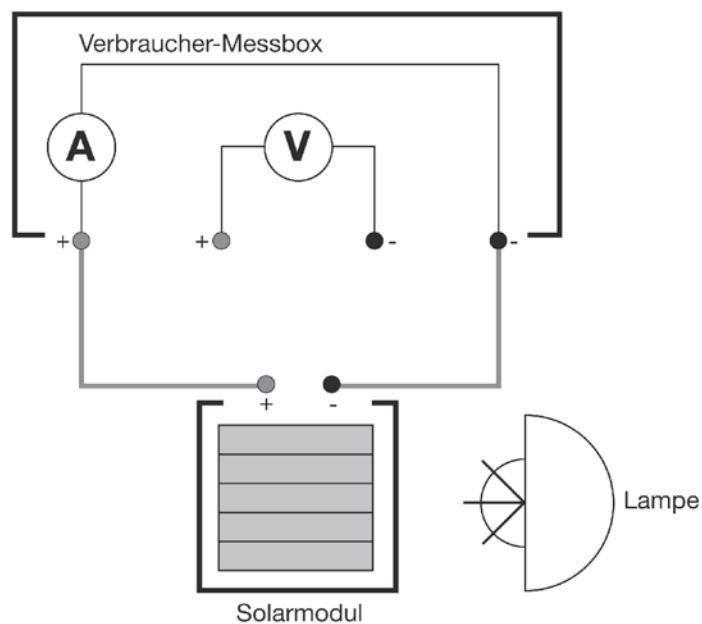
### Material:

- Solarmodul
- Verbraucher-Messbox
- 2 Kabel

### Zusätzliche Komponenten:

- Lampe 100 -150 Watt
- Metermaß/Zollstock

Abb. 1



**Sicherheit: Beachten Sie bitte die Anweisungen aus der Bedienungsanleitung. Das Solarmodul wird heiß.**

**Vor Beginn des Experiments muss eine Gefahrenanalyse durchgeführt werden.**

## Durchführung

1. Bauen Sie eine Anordnung nach Abb. 1 auf. Stellen Sie den Wahlschalter der Verbraucher-Messbox auf KURZSCHLUSS.
2. Stellen Sie das Solarmodul auf und leuchten Sie es mit der Lampe gut aus. Der Strom des Solarmoduls sollte ca. 150 mA betragen. Der Abstand zwischen Solarmodul und Lichtquelle liegt dann typischerweise bei 50 cm.

Messtabelle:

Abstand/cm	Strom/mA

3. Verändern Sie nun den Abstand der Lampe zum Solarmodul und messen Sie den Fotostrom bei unterschiedlichen Abständen (von 50 bis 150 cm in 10 cm-Schritten).

## Auswertung

1. Zeichnen Sie das I-d- und das  $I \sim 1/d^2$ -Diagramm.
2. Wie sind die funktionalen Zusammenhänge vom Abstand der Lichtquelle und der Höhe des erzeugten Stroms zu erklären? Welche praktischen Auswirkungen ergeben sich daraus?

## Lerninhalte

- **Der Fotostrom eines Solarmoduls verändert sich mit der Lichtintensität.**
- **Der Fotostrom ist umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes zwischen Solarmodul und Lichtquelle.**

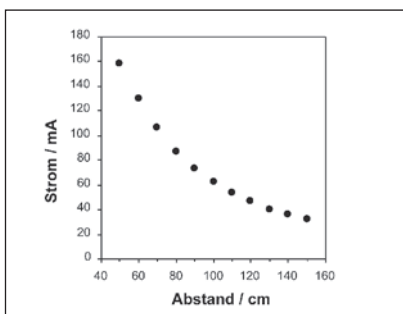
## Interpretation

Die Leistungsabgabe von Solarmodulen bzw. Solargeneratoren wird direkt von den jeweiligen aktuellen Einstrahlungsbedingungen bestimmt. Schwankungen im Strahlungsangebot können durch das Solarmodul bzw. einen Solargenerator nicht ausgeglichen werden.

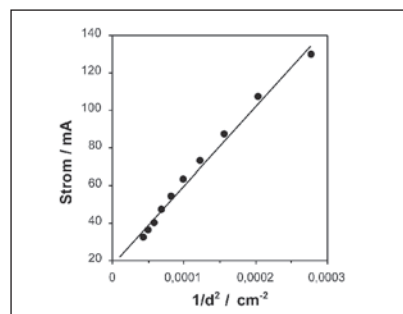
Aus dem Experiment geht hervor, dass der Fotostrom des Solarmoduls mit zunehmender Entfernung von der Lichtquelle abnimmt. Die Verringerung des erzeugten Stroms folgt dem Strahlengesetz.

Der Fotostrom des Solarmoduls ist umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes von der Lichtquelle ( $I \sim 1/d^2$ ).

Diese funktionalen Zusammenhänge entsprechen den Strahlengesetzen der Physik, die mit der Theorie der Ausbreitung des Lichtes zusammenhängen.



Fotostrom in Abhängigkeit vom Abstand zur Lampe



Fotostrom in Abhängigkeit von  $1/d^2$

# Schüleranleitung

## Der **Fotostrom** einer **Solarzelle** in Abhängigkeit vom **Abstand** der **Lichtquelle**

### Material:

- Solarmodul
- Verbraucher-Messbox
- 2 Kabel

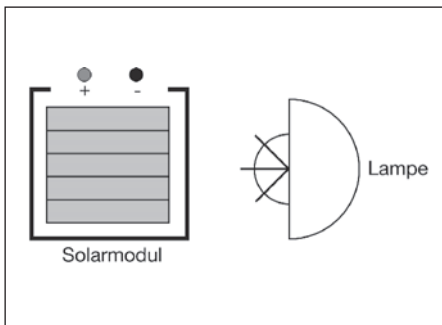
### Zusätzliche Komponenten:

- Lampe 100 -150 Watt
- Metermaß/Zollstock

**Sicherheit: Beachten Sie bitte die Anweisungen aus der Bedienungsanleitung. Das Solarmodul wird heiß.**

**Vor Beginn des Experiments muss eine Gefahrenanalyse durchgeführt werden.**

### Einführung



Eine Solarzelle ist eine spezielle Halbleiter-Diode, die eine elektrische Spannung erzeugt, wenn sie bestrahlt wird. Die Solarzelle absorbiert Lichtenergie und wandelt sie in elektrische Energie um. Die Menge an Licht, die auf die Solarzelle fällt, beeinflusst die Höhe des elektrischen Stroms.

Ein Solarmodul besteht aus einer Anzahl von in Reihe verschalteten Solarzellen.

### Zielsetzung

Es ist zu untersuchen, wie sich eine Solarzelle verhält, wenn sie mit unterschiedlich hohen Lichtintensitäten bestrahlt wird. Dazu ist in diesem Experiment der Abstand zwischen Lichtquelle und Solarmodul zu variieren.

## Versuchsvorbereitung

Bearbeiten Sie die folgenden Punkte, bevor Sie mit dem Experimentieren beginnen.

1. Zeichnen Sie eine Schaltung, mit der Sie den Fotostrom eines beleuchteten Solarmoduls messen können.
2. Skizzieren Sie, was Sie unternehmen wollen, um die Menge an Licht, die auf das Solarmodul fällt, zu variieren und um geeignete Messdaten zu erhalten.

## Durchführung

- Bauen Sie Ihre Schaltung auf und prüfen Sie, ob die Geräte Messwerte im gewählten Messbereich anzeigen.
- Verändern Sie die Menge des Lichtes, die auf das Solarmodul fällt, und messen Sie den jeweiligen Fotostrom des Solarmoduls. Stellen Sie sicher, dass kein Lastwiderstand im Stromkreis enthalten ist.

**Hinweis:** Warten Sie, bis das beleuchtete Solarmodul eine konstante Temperatur erreicht hat, bevor Sie mit dem Experiment beginnen.

## Ergebnisse

1. Zeichnen Sie den Schaltkreis und erklären Sie die experimentelle Technik, die Sie angewendet haben, um Ihre Daten zu erhalten.
2. Stellen Sie eine geeignete Mess-tabelle auf, um Ihre Messdaten entweder auf Papier oder mit einem Tabellenkalkulationsprogramm zu protokollieren.
3. Zeichnen Sie ein Diagramm des gemessenen Fotostroms über dem Abstand.
4. Diskutieren Sie den Verlauf der Messkurve.
5. Es existiert eine umgekehrt proportionale Abhängigkeit zwischen der Lichtintensität und dem Quadrat des Abstandes zwischen der Lichtquelle und dem bestrahlten Körper. Finden Sie heraus, ob diese Beziehung auch für den Fotostrom eines beleuchteten Solarmoduls und dessen Abstand zur Lichtquelle gilt.
6. Beschreiben Sie, auf welche Schwierigkeiten Sie während des Experimentes gestoßen sind, welche Maßnahmen Sie getroffen haben, um Genauigkeit sicherzustellen, und was Sie gegenüber Ihrem ursprünglichen Plan verändert haben.
7. Bewerten Sie die experimentellen Techniken, die Sie angewendet haben, und schlagen Sie Verbesserungsmöglichkeiten für das Experiment vor.

## Frage

- Warum ist das Leben auf der Erde, nicht aber auf anderen Planeten unseres Sonnensystems möglich? Berücksichtigen Sie bei der Beantwortung dieser Frage die Intensität der Sonneneinstrahlung und die unterschiedlichen Abstände der einzelnen Planeten zur Sonne.