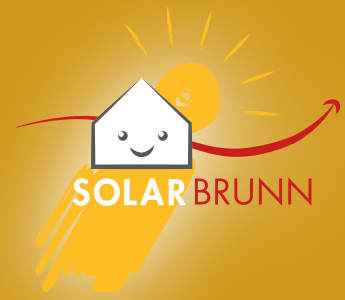


# SOLARbrunn: mit der Sonne in die Zukunft!



## „Eine sonnige Zukunft?“

*Lernumgebung  
Oberstufe*



universität  
wien

Dr.<sup>in</sup> Ilse Bartosch  
Ass.-Prof. Dr. Viktor Schlosser  
Mag.<sup>a</sup> Roswitha Avalos Ortiz  
Susanne König  
(Universität Wien, Fakultät für Physik)



## REDAKTION

Dr.<sup>in</sup> Ilse Bartosch  
ilse.bartosch@univie.ac.at  
Gruppe Experimentelle  
Grundausbildung und Hochschuldidaktik  
Universität Wien  
Boltzmannngasse 5, 1090 Wien

## AUTORINNEN UND AUTOREN

Dr.<sup>in</sup> Ilse Bartosch  
Ass.-Prof. Dr. Viktor Schlosser  
Mag.<sup>a</sup> Roswitha Avalos Ortiz  
Susanne König  
Universität Wien  
Fakultät für Physik

## LEKTORAT

Mag.<sup>a</sup> Roswitha Avalos Ortiz (Universität Wien)  
Dr.<sup>in</sup> Anna Streissler (Umweltdachverband)

## LAYOUT

Irmgard Stelzer

## COVER FOTOS

[www.volker-quaschning.de](http://www.volker-quaschning.de)

**Vielen herzlichen Dank an alle Studierenden, die an der Entstehung dieser Materialien beteiligt waren!**

Universität Wien, Oktober 2017

## HAFTUNGSAUSSCHLUSS

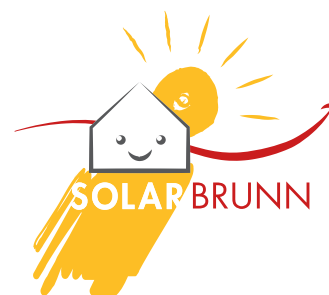
Sämtliche Inhalte in den Lernmaterialien wurden sorgfältig geprüft. Dennoch kann keine Garantie für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität und Verfügbarkeit der Inhalte übernommen werden. Der Herausgeber übernimmt keinerlei Haftung für Schäden und Nachteile, die allenfalls aus der Nutzung oder Verwertung der Inhalte entstehen.

Links zu Webseiten Dritter: Das Setzen von Links ist ein Verweis auf Darstellungen und (auch andere) Meinungen, bedeutet aber nicht, dass den dortigen Inhalten zugestimmt wird. Es wird keinerlei Haftung für Webseiten übernommen, auf die durch einen Link verwiesen wird. Das gilt sowohl für deren Verfügbarkeit als auch für die dort abrufbaren Inhalte. Für diese Inhalte sind ausschließlich deren Betreiber bzw. Eigentümer verantwortlich. Nach Kenntnisstand der Betreiber\_innen enthalten die verlinkten Seiten keine rechtswidrigen Inhalte, sollten solche bekannt werden, wird in Erfüllung rechtlicher Verpflichtungen der elektronische Verweis umgehend entfernt. Inhalte Dritter sind als solche gekennzeichnet. Sollten Sie trotzdem auf eine Urheberrechtsverletzung aufmerksam werden, bitten wir um einen entsprechenden Hinweis. Bei Bekanntwerden von Rechtsverletzungen werden derartige Inhalte umgehend von uns entfernt bzw. korrigiert. Falls unsere Materialien auf Ihre Webseite verweisen und Sie dies nicht wünschen, nehmen Sie bitte mit uns Kontakt auf!

Die Materialien wurden im Rahmen des Projekts „SOLARbrunn mit der Sonne in die Zukunft!“ erstellt. SOLARbrunn ist ein Projekt durchgeführt im Rahmen des Förderprogramms Sparkling Science, gefördert vom Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, 2014-2017.

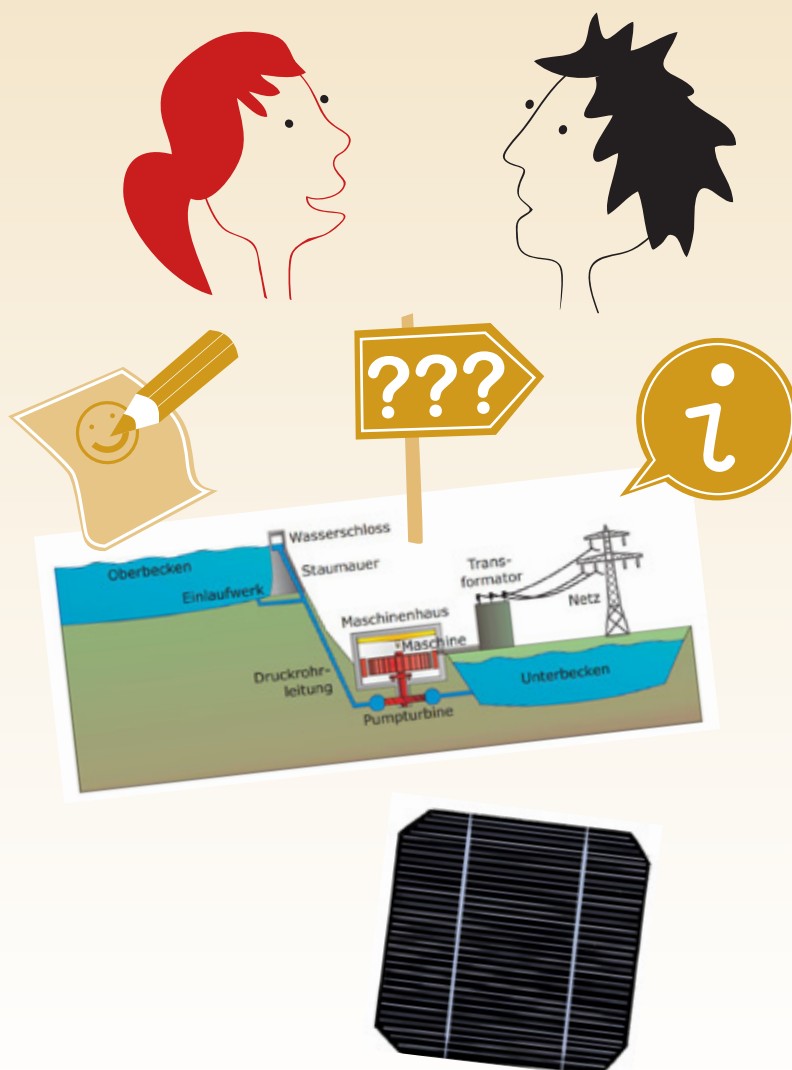


# SOLARbrunn: mit der Sonne in die Zukunft!



## „Eine sonnige Zukunft?“

*Materialien  
für Schüler\_innen  
Oberstufe*



## WIE VIEL ENERGIE BRAUCHT DAS AUFLADEN EINES SMARTPHONES?

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 1/Oberstufe

*Wenn man das Smartphone aufladen möchte, scheint das ganz einfach: Handy an das Ladegerät anstecken und Stecker in die Steckdose – doch welcher Aufwand steckt tatsächlich hinter der Energiebereitstellung?*

Im Alltag kommt die elektrische Energie, die für das Aufladen eines Smartphones benötigt wird, einfach „aus der Steckdose“. Allerdings ist elektrische Energie „aus der Steckdose“ das Produkt einer Reihe von Energieumwandlungen. Mit sogenannten „Powerbanks“ können elektrische Geräte ohne Anschluss an die öffentliche Versorgung mit elektrischer Energie aufgeladen werden. So kann man z.B. mit einer ‚Dynamo Powerbank‘ die eigene Bewegungsenergie zum Aufladen des Smartphones nutzen: Ein kleiner Generator wandelt die beim Kurbeln zugeführte Energie in elektrische Energie um. Dasselbe Prinzip wird beim Fahrraddynamo genutzt. Kombiniert mit einem Smartphone-Ladegerät kann die mechanische Arbeit, die beim Treten in die Pedale aufgewendet wird, zum Laden des Smartphones genutzt werden. Doch wie anstrengend ist es wirklich, wenn man das Mobiltelefon mit der eigenen Muskelarbeit auflädt?



Quelle: [www.pearl.at/a-NC5026-1420.shtml](http://www.pearl.at/a-NC5026-1420.shtml)

- 1 Ein durchschnittlicher Smartphone-Akku kann ungefähr 10 Wh elektrische Energie speichern. Wie viel mechanische Arbeit muss man verrichten, um diese Energie liefern zu können? (Tipp: erinnert euch an den Zusammenhang von Arbeit und Energie!)
- 2 Vergleicht diesen Wert mit der mechanischen Arbeit, die für andere körperliche Tätigkeiten aufgewendet wird. Findet ein Beispiel, bei dem ihr ungefähr dieselbe Energie bereitstellen müsst.
- 3 Zum Glück muss man aber nicht immer in die Pedale treten oder per Hand kurbeln, um den Akku des Smartphones zu laden. Im Alltag wird die benötigte elektrische Energie direkt zur Steckdose geliefert, aber auch hier stehen unterschiedliche ‚Primärenergieträger‘ dahinter. Welche Energieträger werden dabei eingesetzt?
- 4 Welche dieser Energieträger kommen infrage, um das Smartphone mobil aufzuladen? Welche nicht? Warum?



*Mit Hilfe einer Solarzelle kann Sonnenlicht in elektrische Energie umgewandelt werden. Doch wie ist eine Solarzelle aufgebaut und was passiert genau, wenn Licht auf sie trifft?*

Solarzellen wandeln Sonnenenergie in elektrische Energie um. Dieser Vorgang wird als Photovoltaik bezeichnet.

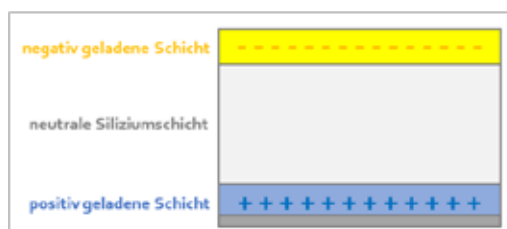
**1 WORAUS BESTEHEN SOLARZELLEN?**

Für die Herstellung von Solarzellen werden Halbleitermaterialien verwendet. Das sind Materialien, deren Leitfähigkeit zwischen Isolatoren und Leitern liegt. Ob solche Halbleitermaterialien leiten oder nicht, hängt von einer Reihe von Faktoren ab, etwa von der Temperatur oder davon, ob es mit Licht bestrahlt wird oder nicht. Auch durch gezielte Verunreinigung mit bestimmten chemischen Elementen („Dotierung“) kann man die Leitfähigkeit von Halbleitern beeinflussen.

Silizium ist das Material, das am häufigsten für Solarzellen verwendet wird. Es ist eines der häufigsten chemischen Elemente in unserer Erdkruste und kommt z.B. in Sand vor. Solarzellen sind aus verschiedenen dotierten Halbleiter-Schichten aus Silizium aufgebaut.

**2 WIE SIND AMORPHE SOLARZELLEN<sup>2</sup> AUFGEBAUT?**

Bei amorphen Solarzellen der zweiten Generation, sogenannten Dünnschicht-Solarzellen, werden drei Schichten direkt auf einem Trägermaterial („Substrat“), z.B. Glas, aufgebracht:



- Die obere Schicht einer Dünnschichtzelle ist ungefähr 20 nm dünn und ist z.B. mit Bor dotiert. Aufgrund der inneren Struktur dieser Schicht werden vom Bor zusätzliche Elektronen gebunden, sodass eine Schicht aus negativ geladenen Borionen entsteht.
- Die Übergangsschicht oder intrinsische Schicht ist dicker als die anderen Schichten und misst mehrere hundert Nanometer. Sie ist nicht dotiert und besteht aus reinem amorphem Silizium.
- Die untere Schicht der Dünnschichtzelle ist ungefähr gleich dünn wie die Oberschicht, allerdings z.B. mit Phosphor dotiert. Aufgrund der inneren Struktur dieser Schicht werden die Phosphoratome zu positiven Ionen (Elektronenmangel), wodurch diese Schicht positiv geladen ist.

**3 WIE FUNKTIONIERT EINE SOLARZELLE?**

Zwischen den beiden geladenen Schichten bildet sich ein elektrisches Feld aus, das sich über die gesamte intrinsische Schicht aus reinem Silizium erstreckt. Trifft nun Sonnenlicht, also ein Photonenstrom, auf die Solarzelle, so durchdringen die Photonen die Oberschicht und gelangen in die intrinsische Schicht, wo sie unter geeigneten Bedingungen mit den an das Silizium gebundenen Elektronen wechselwirken können: Besitzt ein einfallendes Photon eine Energie, die kleiner ist als die Energie, die nötig ist, um ein Elektron aus seiner

<sup>1</sup> Solarzellen dürfen nicht mit Sonnenkollektoren verwechselt werden, welche Sonnenenergie in thermische Energie umwandeln, beispielsweise für die Erhitzung von Wasser.

<sup>2</sup> Hier wird nur der Aufbau amorpher Solarzellen beschrieben, weil deren Funktionsweise am einfachsten zu erklären ist. (Amorphes Silizium ist eine Form von reinem Silizium, das im Gegensatz zu kristallinem Silizium eine ungeordnete Struktur besitzt.)



Bindung zu lösen, dann gibt es keine Wechselwirkung zwischen Photon und Elektron – es passiert also nichts. Nur wenn die Energie des eintreffenden Photons größer als oder gleich groß wie die benötigte Energie zur Loslösung des Elektrons ist, kann das Photon seine Energie vollständig auf das Elektron übertragen und dieses dadurch aus seiner Bindung lösen<sup>3</sup>. Das Elektron, das nun nicht mehr gebunden ist, kann sich aufgrund des elektrischen Feldes in der intrinsischen Schicht zur positiv geladenen Schicht bewegen. Jede Sekunde treffen rund zwei Trilliarden (!) ( $\sim 2 \cdot 10^{21}$ ) Photonen auf jeden Quadratmeter Solarzellenfläche, die genug Energie besitzen, um diesen Effekt hervorzurufen zu können (**innerer Photoeffekt**).

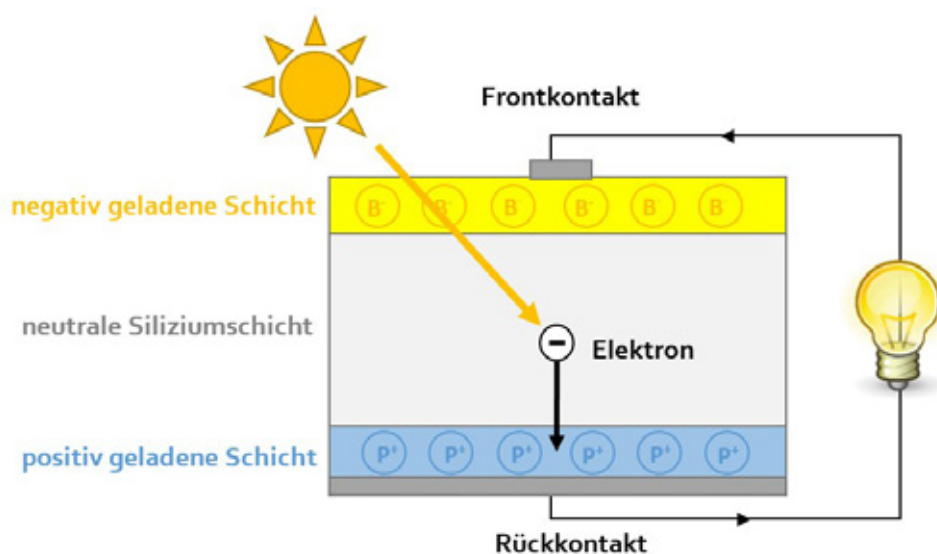
An der Vorder- und Rückseite der Solarzelle befinden sich Metallkontakte, wobei der Frontkontakt aus vielen, sehr dünnen Kontaktstreifen besteht, damit so viel wie möglich der auftreffenden Photonen auch in die Solarzellen eindringen können. (Alternativ kann auch leitendes Glas als Frontkontakt verwendet werden. Der Nachteil ist die geringere Leitfähigkeit.) Der Rückkontakt aus Metall bedeckt die gesamte Rückseite der Solarzelle. An diesen Kontakten werden die eintreffenden (negativen) Ladungsträger nun gesammelt. Dadurch entsteht ein Potentialunterschied, also eine elektrische Spannung zwischen den beiden Kontakten („**photovoltaischer Effekt**“).

4

#### KÖNNEN MIT SOLARZELLEN BELIEBIGE ELEKTROGERÄTE BETRIEBEN WERDEN?

Werden die beiden Kontakte durch Verbindungskabel mit einem Elektrogerät verbunden, dann ist der Stromkreis geschlossen und die Spannung führt zu einem elektrischen Strom. Dieser elektrische Strom transportiert die elektrische Energie zu den Elektrogeräten. Dort wird die elektrische Energie in die benötigten Energiedienstleistungen (Licht, Bewegung, thermische Energie) umgewandelt.

Eine einzelne Solarzelle liefert allerdings nur eine relativ geringe Spannung von 0,5 V. Diese Spannung wäre für die Energieversorgung von vielen Elektrogeräten nicht ausreichend. Um diese Spannung zu erhöhen, werden mehrere Solarzellen zu einem Solarmodul in Serie geschaltet, die dann anschließend wiederum miteinander verschaltet werden können (mehr dazu erfahrt ihr in einer späteren Einheit).



Quelle: Deng & Schiff 2003, S. 509f

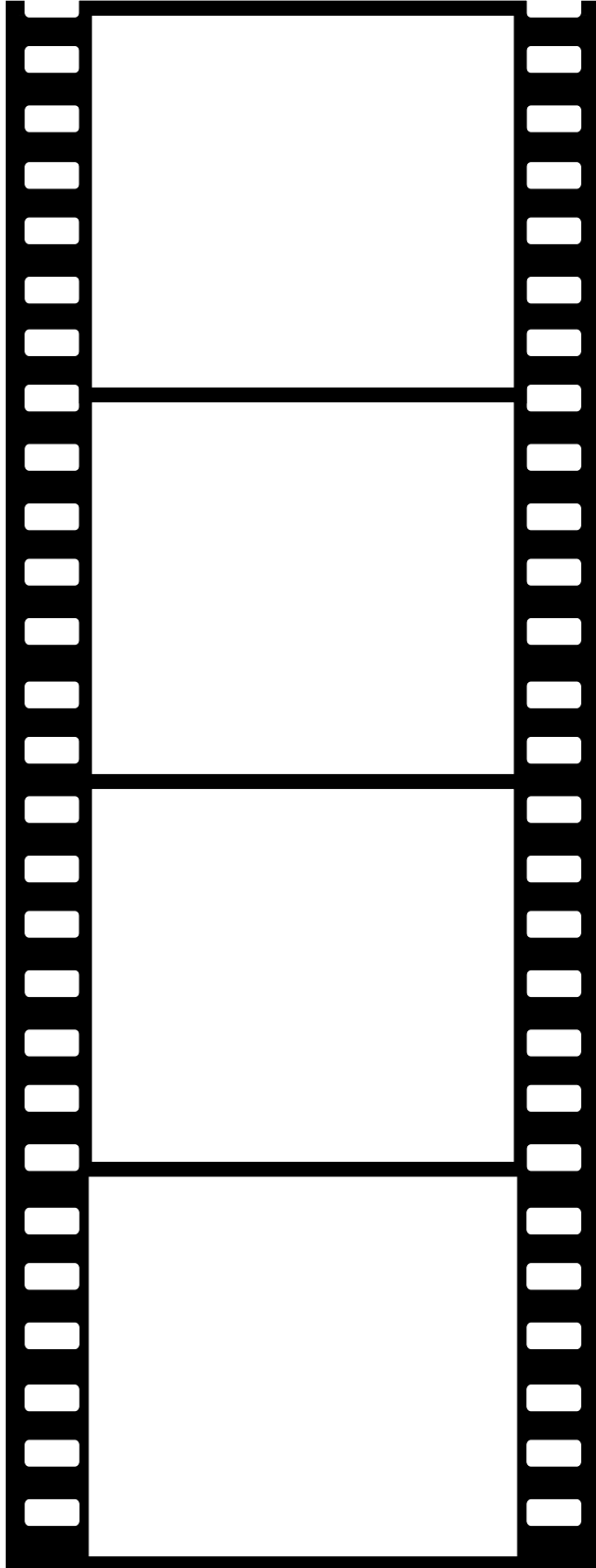
<sup>3</sup> Die Energie des Photons hängt dabei von der Frequenz bzw. Wellenlänge des einfallenden Sonnenlichts ab.

# DIE UMWANDLUNG VON LICHT IN ELEKTRISCHE ENERGIE



Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 2/Oberstufe

*Wiederholt mit Hilfe der folgenden Vorlage den Ablauf der Umwandlung von Licht in elektrische Energie in einer Solarzelle. Skizziert diesen Ablauf im leeren Filmstreifen und beschreibt auf der rechten Seite in euren eigenen Worten, was im Bild passiert.*



# WARUM EIGENTLICH PHOTOVOLTAIK?

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 2/Oberstufe



*Vom Taschenrechner bis hin zum Solarkraftwerk nutzen wir elektrische Energie aus Photovoltaik und damit eine scheinbar in unbegrenzter Menge zur Verfügung stehende Ressource: die Energie des Sonnenlichts. Doch warum wird Photovoltaik (PV) als zukunftsfähige Art der nachhaltigen Energieversorgung bezeichnet, die andere, nicht erneuerbare und umweltbelastende Energieformen ersetzen könnte?*

## 1 URSPRÜNGE DER SOLARTECHNOLOGIE

Die Ursprünge der Photovoltaik liegen in der Raumfahrt und der Satellitentechnik, wo Solarzellen bereits in den 1950er Jahren verwendet wurden, um auch in weiten Entfernungen von der Erde die elektrische Energieversorgung zu garantieren. Aufgrund ihrer Robustheit gegenüber äußeren Einflüssen, wie starken Temperaturschwankungen, Sonnenstürmen oder radioaktiver kosmischer Strahlung, konnte der geschätzte Energieertrag der Anlage über einen Zeitraum von mehreren Wochen, Monaten und sogar Jahren vorausgesagt werden. Diesen sicheren und störungsfreien Betrieb kann keine andere Form der Energieversorgung in diesem Ausmaß bieten: Hochwasser, Stürme, Dürren, Kältewellen und andere extreme Wetter- oder Klimabedingungen können den PV-Anlagen nichts anhaben. Im Gegensatz dazu müssen Wasser- oder Windkraftanlagen bei solchen extremen Bedingungen oftmals abgeschaltet werden, um eine Gefährdung des Kraftwerks oder der Menschen zu verhindern. Auch Bestrahlungsstärken\*, die deutlich über den durchschnittlichen Höchstwerten für die Mittagszeit und bei wolkenlosem Himmel liegen, verursachen keine Schäden an den Modulen.

## 2 ÖKOLOGISCHE VERTRÄGLICHKEIT VON SOLARZELLEN

Die Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie geht lautlos vor sich, es treten keine unangenehmen Nebenerscheinungen wie Vibrationen oder Erschütterungen auf. Eine Gefährdung durch bewegliche Teile, zu hohe oder zu tiefe Temperaturen, giftige Materialien oder schädliche chemische Reaktionen während des Betriebs der Anlage kann ausgeschlossen werden. Während des Produktionsprozesses werden aber teilweise giftige Stoffe eingesetzt, wie Cadmium (Ca), Selen (Se) oder Blei (Pb), die teilweise auch ihren Weg in die fertigen Solarzellen finden. Deshalb ist es sehr wichtig, dass die Solarzellen am Ende ihrer Lebensdauer umweltgerecht entsorgt werden, damit keine dieser Stoffe in die Luft oder in das Grundwasser gelangen. Ein weiterer ökologischer Aspekt, der berücksichtigt werden muss, ist die CO<sub>2</sub>-Bilanz der PV-Anlage. Auch wenn Solarzellen in ihrem Betrieb CO<sub>2</sub>-neutral sind, müssen die CO<sub>2</sub>-Emissionen berücksichtigt werden, die durch Produktion, Transport, Installation, Wartung, Abbau und Entsorgung von Solarzellen entstehen. Ein letzter Punkt ist die Nutzung von Landflächen für großflächige PV-Anlagen oder Solarkraftwerke. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass möglichst nicht nutzbare Flächen verwendet werden, damit dadurch kein Nachteil für die Landwirtschaft entsteht. Auch das Eindringen in den Lebensraum von Pflanzen und Tieren kann vermieden werden, indem die Anlagen auf bereits existierenden Gebäuden oder Industrie- und Gewerbeflächen platziert werden.

\* Die Bestrahlungsstärke bezeichnet die Intensität elektromagnetischer Strahlung pro Fläche und wird in W/m<sup>2</sup> angegeben (=Einheit von Leistung pro Fläche). In der Quantenmechanik beschreibt man damit, wieviel Energie durch die einfallenden Photonen auf einer gewissen Fläche und in einer bestimmten Zeit abgegeben wird. Diese setzt sich zusammen aus der Photonenflussdichte, also die Anzahl der Photonen, die in einer bestimmten Zeit auf eine gewisse Fläche treffen, multipliziert mit ihrer Energie. Abhängig von äußeren Einflüssen wie Tageszeit, Jahreszeit, Bewölkungsgrad oder Dunst beträgt die Bestrahlungsstärke auf der Oberfläche unserer Erde zwischen ca. 50 W/m<sup>2</sup> und 1 000 W/m<sup>2</sup>.





# WARUM EIGENTLICH PHOTOVOLTAIK?

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 2/Oberstufe



## 3 WARTUNG VON SOLARZELLEN

Ein weiterer Vorteil liegt in der weitgehenden Wartungsfreiheit von PV-Anlagen. Als Anlagenbesitzer\_in ist es also nicht zwingend notwendig, dass man mit dem technischen Hintergrund des Geräts vertraut ist. Die Anwendungsmöglichkeiten der Photovoltaik sind durch diesen hohen Grad an Benutzerfreundlichkeit und Sicherheit potentiell unbeschränkt, da PV-Anlagen sowohl in dicht besiedelten als auch in abgeschiedenen Gebieten eingesetzt werden können. Insbesondere in entlegenen dünn besiedelten Gebieten, die nicht an das öffentliche Stromnetz angebunden sind, werden PV-Anlagen mit Energiespeichern kombiniert und als Inselanlagen geführt. Aber auch in gut erschlossenen Siedlungsräumen bietet die Kombination mit Energiespeichern Vorteile: das öffentliche Stromnetz wird entlastet, eine Unabhängigkeit von steigenden Strompreisen wird möglich, bei Stromausfällen bieten autonome Systeme Möglichkeiten zur elektrischen Energieversorgung.

## 4 KOSTEN VON SOLARZELLEN

Zwei Nachteile werden oftmals in Verbindung mit Photovoltaik genannt: ihre hohen Kosten und ihr geringer Wirkungsgrad. Eine häufige Annahme ist, dass PV-Anlagen deutlich teurer sind als andere Kraftwerksarten. Vergleicht man jedoch die Kosten für den Bau einer PV-Anlage mit dem der Errichtung eines Laufwasserkraftwerks, so zeigt sich, dass die PV-Anlage ungefähr ein Drittel eines Laufwasserkraftwerks kostet. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass das Laufwasserkraftwerk elektrische Energie auch in der Nacht bereitstellen kann, was bei der PV-Anlage nicht möglich ist.

## 5 WIRKUNGSGRAD VON SOLARZELLEN

Im Hinblick auf den Wirkungsgrad soll Photovoltaik mit einem nachhaltig betriebenen kalorischen Kraftwerk, also einem Kraftwerk, das – CO<sub>2</sub>-neutral – mit Biomasse betrieben wird, verglichen werden. Kalorische Kraftwerke haben einen Wirkungsgrad von 50%, d.h. sie wandeln 50% der Energie, die beim Verbrennungsprozess frei wird, in elektrische Energie um. Sie haben darüber hinaus den großen Vorteil, dass die Energiebereitstellung gut an den schwankenden Energiebedarf angepasst werden kann. Im Vergleich dazu kann eine PV-Anlage nur ca. 10-20 % der Strahlungsleistung, die auf die Fläche der Anlage trifft, als elektrische Leistung abgeben. Für einen seriösen Vergleich müsste man aber den Energieoutput in beiden Fällen auf den gleichen Energieinput beziehen, also auf die Sonnenenergie. Das heißt, man muss bei der Berechnung des Wirkungsgrades des kalorischen Kraftwerks auch den Wirkungsgrad der Photosynthese berücksichtigen, die ja für das Wachstum der benötigten Bäume notwendig ist. Dabei werden nur rund 0,5 % der Solarenergie, die von den Pflanzen in chemische Energie umgewandelt wird, schlussendlich als elektrische Energie nutzbar. Das heißt, dass man für einen gewissen Energieertrag eine 20-mal so große Fläche an Wald roden müsste wie die Fläche, die eine PV-Anlage zur Bereitstellung derselben Energiemenge benötigen würde!

## 6 TECHNISCHE WEITERENTWICKLUNG DER SOLARTECHNOLOGIE

Das momentan größte Entwicklungs- bzw. Ausbaupotential dieser Technologie liegt daher im Ausgleich von Schwankungen in der Energiebereitstellung. Dafür bedarf es entsprechender Energiespeicher, um etwa das Überangebot an Energie bei Tag in der Nacht nützen zu können.



*Die Leistung hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Es gibt also bestimmte Aspekte, die berücksichtigt werden müssen, wenn man den Akku eines Smartphones mit Hilfe einer Solarzelle aufladen möchte.*

In diesem Infoblatt findet ihr Informationen über die elektrische Leistungsabgabe von Solarzellen, die für eure späteren Untersuchungen hilfreich sein könnten.

## DIE NENNLEISTUNG EINER SOLARZELLE

Das Watt Peak (Wp) oder auch Kilowatt Peak (kWp) ist eine Bezeichnung für die höchstmögliche elektrische Leistung, die eine Solarzelle unter sogenannten Standard-Testbedingungen abgeben kann (siehe unten). Diese wird auch „Nennleistung“ genannt. Da reale Umstände aber nicht immer diesen Testbedingungen entsprechen, kann die tatsächlich abgegebene elektrische Leistung einer Solarzelle von diesem Wert abweichen. Um mit einer PV-Anlage in Österreich 1 kWp an elektrischer Leistung zu erreichen, werden durchschnittlich ca. 8 – 10 m<sup>2</sup> an Solarzellenfläche benötigt.

### Standard-Testbedingungen

Standard-Testbedingungen oder auf Englisch „Standard Test Conditions“ (STC) bilden die Voraussetzung für den internationalen Vergleich verschiedener Solarzellen. Die angegebene Nennleistung einer Solarzelle, also ihr Watt Peak oder Kilowatt Peak, gilt bei genau diesen Bedingungen:

- 25°C Solarzellentemperatur
- 1000 W/m<sup>2</sup> Bestrahlungsstärke
- AM = 1,5 (Air Mass, siehe unten)

Der Begriff „Air Mass“ oder „Luftmasse“ gibt das Verhältnis zwischen der Länge des Weges, den das Sonnenlicht durch die Erdatmosphäre bis zum Erdboden hin zurücklegen muss, und dem kürzesten Weg der Sonnenstrahlung bei senkrechtem Lichteinfall an. Dieser Faktor sagt also, wie stark die Bestrahlungsstärke beim Durchgang durch die Atmosphäre abgeschwächt wird:

- AM = 0 → keine Abschwächung durch die Atmosphäre
- AM = 1 → senkrechter Lichteinfall (90°)
- AM = 1,5 → Lichteinfall bei ca. 48°

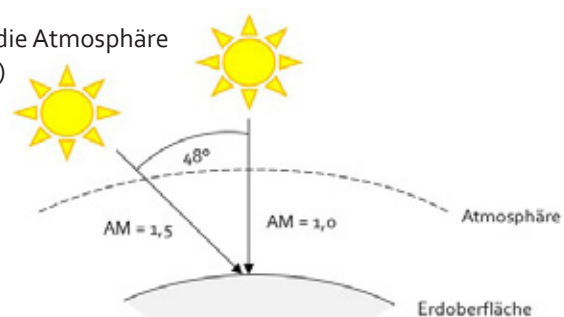


Abb. Susanne König nach Tafelskizze Dr. Schlosser

Die Abschwächung des Lichts hängt dabei nicht nur vom Strahlengang ab, sondern wird auch durch die unterschiedliche Zusammensetzung der Atmosphäre beeinflusst.

Um Standard-Testbedingungen herzustellen, werden künstliche Lichtquellen wie Lichtbogenlampen verwendet. Sie haben allerdings nicht genau dieselbe Farbtemperatur wie natürliches Sonnenlicht (ca. 5700 K). Das Sonnenspektrum kann dabei also nicht genau nachgebildet werden. Aus diesem Grund kann die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle mehr oder weniger stark von den Laborwerten unter Standard-Testbedingungen abweichen.



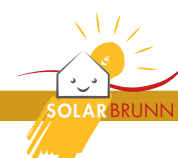
*Die Leistung hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Es gibt also bestimmte Aspekte, die berücksichtigt werden müssen, wenn man den Akku eines Smartphones mit Hilfe einer Solarzelle aufladen möchte.*

In diesem Infoblatt findet ihr Informationen über die elektrische Leistungsabgabe von Solarzellen, die für eure späteren Untersuchungen hilfreich sein könnten.

## WIE KANN DIE FÜR MEINE ZWECKE BENÖTIGTE ELEKTRISCHE LEISTUNG GELIEFERT WERDEN?

Eine einzelne Solarzelle liefert lediglich eine Spannung von ca. 0,5 Volt. Das reicht für die elektrische Energieversorgung eines Haushalts jedoch nicht aus. Deshalb ist es notwendig, die Spannung und damit auch die elektrische Leistung einer PV-Anlage durch die gezielte Schaltung mehrerer Solarzellen an den Haushaltsbedarf anzupassen. Grundsätzlich wird zwischen der Serienschaltung (auch Reihenschaltung genannt) und der Parallelschaltung unterscheiden.

Beschreibung der Schaltungsart	Schaltzskizze
<p>Werden Solarzellen in einem Solarmodul Serie geschaltet, dann wird der Pluspol jeder Zelle mit dem Minuspol der nächsten Zelle (und umgekehrt) miteinander verbunden. Bei einer Serienschaltung addieren sich die Spannungen der einzelnen Zellen. Das Solarmodul liefert dann eine höhere Spannung als eine einzelne Solarzelle.</p>	
<p>Werden die Solarzellen in einem Solarmodul parallel geschaltet, dann werden immer die gleichnamigen Pole, d.h. die jeweiligen Plus- und Minuspole der einzelnen Zellen miteinander verbunden. Die Gesamtspannung des Moduls ist so groß, wie jene einer einzelnen Zelle. In Stromkreisen mit einem Modul aus parallel geschalteten Solarzellen können aber größere Stromstärken fließen.</p>	
<p>Durch gezielte Kombination von Parallel- und Serienschaltung in Solarmodulen ist es möglich, die Spannung sowie die abgegebene Leistung zu erhöhen. Will man die mittels Photovoltaik gesammelte elektrische Energie ins Stromnetz einspeisen oder Elektrogeräte im Haushalt direkt betreiben, so ist es nötig, den Gleichstrom in Wechselstrom umzuwandeln (mehr dazu später).</p>	



*Die Leistung hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Es gibt also bestimmte Aspekte, die berücksichtigt werden müssen, wenn man den Akku eines Smartphones mit Hilfe einer Solarzelle aufladen möchte.*

In diesem Infoblatt findet ihr Informationen über die elektrische Leistungsabgabe von Solarzellen, die für eure späteren Untersuchungen hilfreich sein könnten.

## 1 WIE KÖNNEN SOLARZELLEN CHARAKTERISIERT WERDEN?

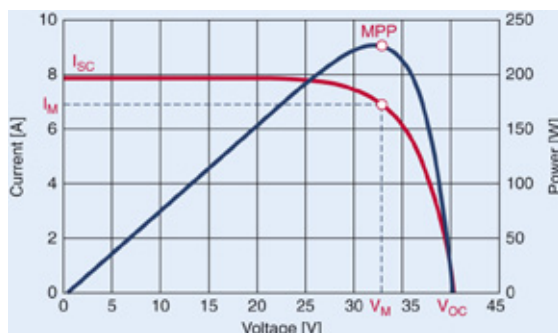
Die Kenngrößen einer Solarzelle sind ihre Leerlaufspannung  $U_L$  und ihr Kurzschlussstrom  $I_K$ .

- Der Kurzschlussstrom  $I_K$  ist die maximale Stromstärke, die eine Solarzelle antreiben kann. Sie fließt bei einem elektrischen Kurzschluss\*. Um ihn zu messen, wird das Amperemeter direkt mit der Solarzelle verbunden. In der U-I-Kennlinie (siehe Abbildung unten) entspricht die rote Kurve dem Wert der Stromstärke bei einer Spannung von 0 Volt.
- Die Leerlaufspannung  $U_L$  ist die maximale Spannung, die bei einem offenen Stromkreis an der Solarzelle anliegt, das heißt, wenn also kein Strom fließt. Zur Bestimmung der Leerlaufspannung wird die Solarzelle direkt mit dem Voltmeter verbunden. Auf der U-I-Kennlinie einer Solarzelle (siehe unten) beschreibt die Leerlaufspannung jenen Punkt, an dem der Wert der Stromstärke 0 Ampere beträgt.

## 2 DIE U-I-KENNLINIE EINER SOLARZELLE

Die Strom-Spannungs-Kennlinie einer Solarzelle dient dazu, den Kurzschlussstrom, die Leerlaufspannung und den Punkt der maximalen Leistungsabgabe (siehe unten) zu bestimmen. Die Kennlinie einer Solarzelle verläuft nicht linear (rote Funktion).

$I_{SC}$  ..... Kurzschlussstrom  $I_K$   
 $V_{OC}$  ..... Leerlaufspannung  $U_L$   
 MPP ..... Maximum Power Point  
 $I_M$  ..... Stromstärke beim MPP  
 $V_M$  ..... Spannung beim MPP



## 3 DER PUNKT MAXIMALER LEISTUNGSABGABE

Für jeden Stromstärke- und zugehörigen Spannungswert auf der U-I-Kennlinie kann man die entsprechende elektrische Leistung mit Hilfe der Formel  $P=U \cdot I$  berechnen. Auf der Kennlinie gibt es genau einen Punkt, an dem diese Leistung maximal ist. Dieser wird auch als „Maximum Power Point“ (MPP) bezeichnet und wird bei einer bestimmten Stromstärke  $I_M$  und einer bestimmten Spannung  $V_M$  erreicht (dunkelblaue/schwarze Kurve). Diese sind immer kleiner als Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung. Um sicherzugehen, dass die PV-Anlage immer möglichst nahe am MPP arbeitet, kann ein sogenannter MPP-Tracker installiert werden. Der MPP-Tracker sorgt dafür, dass der Widerstand an der Anschlussseite des Solarmoduls so geregelt wird, dass die Anlage immer die maximale elektrische Leistung liefert.

\* Dabei werden die beiden Pole der Solarzelle so miteinander verbunden, dass sich kein äußerer Widerstand (z.B. ein Elektrogerät) im Stromkreis befindet.



Einer der Faktoren, der die maximale Leistungsabgabe einer Solarzelle beeinflussen kann, ist der **Einstrahlwinkel** des Sonnenlichts. Es ist deshalb wichtig, dass die Ausrichtung der Solarzelle so eingestellt wird, dass der Winkel zwischen dem einfallendem Licht und der Oberfläche der Solarzelle ideal ist.

**PHASE 1****MESSPLANUNG:**

1. **FORSCHUNGSFRAGE:** Was wollt ihr genau herausfinden?
2. **HYPOTHESE:** Stellt eine begründete Vermutung über den Ausgang des Experiments an!
3. **PLANUNGSÜBERLEGUNGEN:** Beantwortet folgende Fragen und macht euch Notizen:
  - **Was** soll gemessen werden?  
Welche Parameter können gemessen werden, welcher Parameter soll variiert werden?  
Welche **Messgeräte** und welcher **experimentelle Aufbau** eignen sich dafür?
  - Was sind die **Rahmenbedingungen** des Experiments?  
Welche Faktoren können die Messungen beeinflussen?  
Wie könnt ihr sie kontrollieren?
  - Wie wird der **Versuchsablauf** und der Vorgang der **Datenerhebung** konkret gestaltet?

**PHASE 2****DATENERHEBUNG**

Führt das Experiment wie geplant durch und beachtet dabei die folgenden Punkte:

- Macht euch mit den **Messgeräten** vertraut! Wie hoch ist die Ablesegenauigkeit und entspricht sie der Genauigkeit des Geräts?
- Protokolliert den **Messvorgang:** Erstellt eine Liste mit verwendeten Materialien und eine Versuchsskizze und notiert, wie ihr bei der Datenerhebung vorgegangen seid.
- Protokolliert eure **Ergebnisse** in einer Tabelle!
- Ermittelt für jeden Versuchsdurchgang den **Punkt maximaler Leistungsabgabe** und stellt seine **Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel** grafisch dar.

**PHASE 3****PRÄSENTATION DER ERGEBNISSE**

Beantwortet die folgenden Fragen und macht euch Notizen dazu:

- Konnte die Hypothese mit den ermittelten Daten bestätigt werden?
- Inwiefern ist es gelungen, die Messplanung umzusetzen?  
Was war der Grund für Abweichungen?  
Was bedeutet das für die Gültigkeit der Ergebnisse?
- Was lässt sich über die Genauigkeit der Messungen aussagen?
- Worauf muss bei der nächsten Messung verstärkt geachtet werden?
- Was sagen die Daten über die **optimalen Bedingungen für das Aufladen eines Smartphones** mit Hilfe einer Solarzelle aus?



# EINSTRahlWINKEL

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

**LÖSUNG**

**1** EINSTRahlWINKEL

Wir sollen ein Experiment durchführen, mit dessen Hilfe wir herausfinden können, wie die **maximale elektrische Leistungsabgabe** einer Solarzelle vom Einstrahlwinkel des Lichts auf die Solarzelle abhängt.

**HINWEIS**

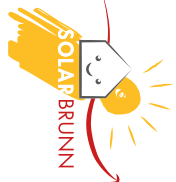
**1** EINSTRahlWINKEL



Erklärt euch in eurer Experimentiergruppe gegenseitig die Aufgabenstellung für eure Untersuchung und versucht herauszufinden, ob euch noch etwas unklar ist.

**HINWEIS**

**2** EINSTRahlWINKEL



Wie sieht der Versuchsaufbau aus?  
Welchen Parameter verändert ihr?  
Welche Werte müsst ihr messen, um den MPP zu ermitteln?  
Welche Messgeräte braucht ihr dafür?



# EINSTRALHWINKEL

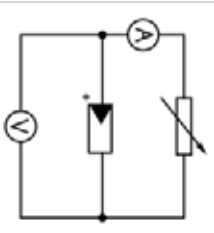
Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

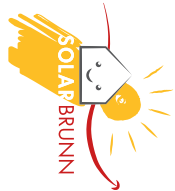
## LÖSUNG 2 EINSTRALHWINKEL

Wir benötigen eine Solarzelle und eine Lichtquelle, die mit Strom versorgt wird. Der Winkel der Solarzelle relativ zur Projektionsebene (rote Linie) soll verändert werden. Dazu brauchen wir eine Aufständerung oder einer Halterung und ein Geodreieck für die Winkelmessung.



Um den MPP zu bestimmen, müssen wir zunächst eine Kennlinie aufnehmen. Dafür brauchen wir ein Amperemeter zur Strommessung, ein Voltmeter zur Spannungsmessung und einen regelbaren Widerstand (Potentiometer). Diese werden folgendermaßen mit der Solarzelle verschaltet: Das Amperemeter und den Widerstand schalten wir in Serie mit der Solarzelle, das Voltmeter parallel zur Solarzelle.

## HINWEIS 3 EINSTRALHWINKEL

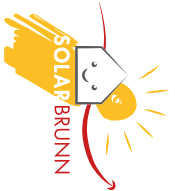


Ihr wählt die erste Einstellung für den Winkel. Wie könnt ihr nun dazu eine Kennlinie erstellen? Wie werdet ihr dabei vorgehen?

## LÖSUNG 3 EINSTRALHWINKEL

Wir wählen eine Winkleinsteilung (z.B. 45°) und fixieren die Solarzelle in diesem Winkel. Nun vergrößern wir den Widerstandswert am Potentiometer in kleinen Schritten. (Die Spannung ändert sich dabei um ca. 25 – 50 mV.) Für jede Widerstandseinstellung notieren wir dann den Stromstärke- und Spannungswert in einer Tabelle. Sind wir mit der Messung fertig, können wir eine U-I-Kennlinie erstellen. Die Werte für die Stromstärke tragen wir dabei auf der vertikalen Achse und die Spannungswerte auf der horizontalen Achse auf.

## HINWEIS 4 EINSTRALHWINKEL



Wie könnt ihr mit Hilfe der Messwerte für Stromstärke und Spannung, die ihr im U-I-Diagramm dargestellt habt, eine Leistungs-Spannungskurve erstellen?



# EINSTRahlWINKEL

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



## LÖSUNG 4

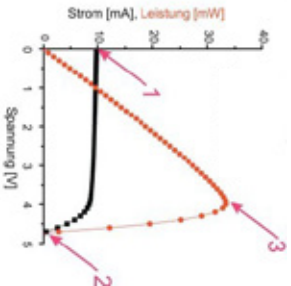
### EINSTRahlWINKEL

Auf Basis der Kennlinie können wir eine Leistungs-Spannungskurve erstellen. Dazu müssen wir die Messwerte für Strom und Spannung miteinander multiplizieren, um den jeweiligen Leistungswert zu erhalten ( $P=U \cdot I$ ). Wir müssen dabei nicht alle Werte verwenden, sondern vor allem die im Bereich des Punkts maximaler Leistungsabgabe (siehe nächster Hinweis/nächste Antwort). Die erhaltenen Werte für die Leistung tragen wir anschließend auf der vertikalen Achse eines Diagramms auf, während die zugehörigen Spannungswerte auf der horizontalen Achse aufgetragen werden.

## LÖSUNG 5

### EINSTRahlWINKEL

Wir wissen bereits, dass der Punkt maximaler Leistungsabgabe im „Knick“ der Kennlinie liegt. Deshalb werden wir besonders im Bereich des „Knicks“ der Kennlinie relativ viele Werte für die Stromstärke und die Spannung wählen, aus denen wir dann die Leistung berechnen.



Die aus den Messwerten berechneten Leistungswerte tragen wir anschließend auf der vertikalen Achse und die zugehörigen Spannungswerte auf der horizontalen Achse eines Koordinatensystems auf. Hier finden wir ein Beispiel für eine U-I-Kennlinie (schwarz) und eine dazugehörige Leistungs-Spannungs-Kurve (rot). Punkt 1 und 2 sind Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung. Punkt 3 ist der Maximalpunkt der Leistungs-Spannungs-Kurve. Dieser entspricht dem Punkt maximaler Leistungsabgabe der Solarzelle. Wir können also den MPP einfach aus dem Leistungs-Spannungs-Diagramm ablesen.

Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

## HINWEIS 5

### EINSTRahlWINKEL

Erinnert euch daran, wo in der U-I-Kennlinie der Punkt maximaler Leistungsabgabe ungefähr liegt. Welche Werte aus der U-I-Kennlinie sind daher für die Leistungs-Spannungs-Kurve besonders interessant?



## HINWEIS 6

### EINSTRahlWINKEL

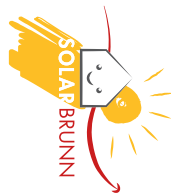
Wiederholt diesen gesamten Vorgang für drei weitere Einstellungen.  
Wie könnt ihr nun die Punkte maximaler Leistung für jede Einstellung miteinander vergleichen?





# EINSTRahlWINKEL

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



LÖSUNG

6

EINSTRahlWINKEL

Wir können die Punkte maximaler Leistung für verschiedene Winkeleinstellungen vergleichen, indem wir alle vier Leistungs-Spannungskurven im selben Diagramm darstellen. Wir können für jede Kurve eine andere Farbe verwenden und die Höhe der Maximalpunkte (also der MPPs) miteinander vergleichen.

↓ Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.





Einer der Faktoren, der die maximale Leistungsabgabe einer Solarzelle beeinflussen kann, ist die **Bestrahlungsstärke** des einfallenden Lichts. Diese ist nichts anderes als die Intensität des Sonnenlichts und gibt an, wie viel Lichtenergie auf eine bestimmte Oberfläche trifft.

**PHASE 1****MESSPLANUNG:**

1. **FORSCHUNGSFRAGE:** Was wollt ihr genau herausfinden?
2. **HYPOTHESE:** Stellt eine begründete Vermutung über den Ausgang des Experiments an!
3. **PLANUNGSÜBERLEGUNGEN:** Beantwortet folgende Fragen und macht euch Notizen:
  - **Was** soll gemessen werden?  
Welche Parameter können gemessen werden, welcher Parameter soll variiert werden?  
Welche **Messgeräte** und welcher **experimentelle Aufbau** eignen sich dafür?
  - Was sind die **Rahmenbedingungen** des Experiments?  
Welche Faktoren können die Messungen beeinflussen?  
Wie könnt ihr sie kontrollieren?
  - Wie wird der **Versuchsablauf** und der Vorgang der **Datenerhebung** konkret gestaltet?

**PHASE 2****DATENERHEBUNG**

Führt das Experiment wie geplant durch und beachtet dabei die folgenden Punkte:

- Macht euch mit den **Messgeräten** vertraut! Wie hoch ist die Ablesegenauigkeit und entspricht sie der Genauigkeit des Geräts?
- Protokolliert den **Messvorgang:** Erstellt eine Liste mit verwendeten Materialien und eine Versuchsskizze und notiert, wie ihr bei der Datenerhebung vorgegangen seid.
- Protokolliert eure **Ergebnisse** in einer Tabelle!
- Ermittelt für jeden Versuchsdurchgang den **Punkt maximaler Leistungsabgabe** und stellt seine **Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel** grafisch dar.

**PHASE 3****PRÄSENTATION DER ERGEBNISSE**

Beantwortet die folgenden Fragen und macht euch Notizen dazu:

- Konnte die Hypothese mit den ermittelten Daten bestätigt werden?
- Inwiefern ist es gelungen, die Messplanung umzusetzen?  
Was war der Grund für Abweichungen?  
Was bedeutet das für die Gültigkeit der Ergebnisse?
- Was lässt sich über die Genauigkeit der Messungen aussagen?
- Worauf muss bei der nächsten Messung verstärkt geachtet werden?
- Was sagen die Daten über die **optimalen Bedingungen für das Aufladen eines Smartphones** mit Hilfe einer Solarzelle aus?



# BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

**LÖSUNG**

**1 BESTRAHLUNGSSTÄRKE**

Wir sollen ein Experiment durchführen, mit dessen Hilfe wir herausfinden können, wie die **maximale elektrische Leistungsabgabe** einer Solarzelle von der Bestrahlungsstärke des einfallenden Lichts abhängt.

**HINWEIS**

**1 BESTRAHLUNGSSTÄRKE**

Erklärt euch in eurer Experimentiergruppe gegenseitig die Aufgabenstellung für eure Untersuchung und versucht herauszufinden, ob euch noch etwas unklar ist.

**HINWEIS**

**2 BESTRAHLUNGSSTÄRKE**

Wie sieht der Versuchsaufbau aus?  
Welchen Parameter verändert ihr?  
Welche Werte müsst ihr messen, um den MPP zu ermitteln?  
Welche Messgeräte braucht ihr dafür?



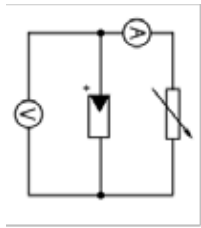
# BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



## LÖSUNG 2 BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Wir benötigen eine Solarzelle und eine Lichtquelle, die mit Strom versorgt wird. Wir können unterschiedliche Arten der Bewölkung simulieren, die sich unter realen Bedingungen auf die Bestrahlungsstärke auswirken, indem wir verschieden dicke Transparentpapiere und Kartons verwenden. Wenn wir einen Beamter als Lichtquelle verwenden, können auch wir einfach unterschiedliche Bilder (weiß – Graustufen – schwarz) einblenden.



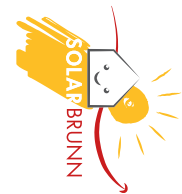
Um den MPP zu bestimmen, müssen wir zunächst eine Kennlinie aufnehmen. Dafür brauchen wir ein Amperemeter zur Strommessung, ein Voltmeter zur Spannungsmessung und einen regelbaren Widerstand (Potentiometer). Diese werden folgendermaßen mit der Solarzelle verschaltet: Das Amperemeter und den Widerstand schalten wir in Serie mit der Solarzelle, das Voltmeter parallel.

## LÖSUNG 3 BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Da sich der MPP mit der Bestrahlungsstärke ändert, müssen wir für jede Einstellung der Bestrahlungsstärke eine eigene Kennlinie aufnehmen. Wir wählen dazu eine Einstellung (z.B. wolkenlos, leicht bewölkt, stark bewölkt oder Nacht) und fixieren das Papier vor der Lichtquelle/lassen das Bild eingeblenet. Nun vergrößern wir den Widerstandswert am Potentiometer in kleinen Schritten. (Die Spannung ändert sich dabei um ca. 25 – 50 mV.) Für jede Widerstandseinstellung notieren wir dann den jeweiligen Stromstärke- und Spannungswert in einer Tabelle. Sind wir mit der Messung fertig, können wir eine U-I-Kennlinie erstellen. Die Stromstärke tragen wir dabei auf der vertikalen Achse und die Spannung auf der horizontalen Achse auf.

Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

## HINWEIS 3 BESTRAHLUNGSSTÄRKE



Da sich der MPP mit der Bestrahlungsstärke ändert, müsst ihr für jede gewählte Einstellung der Bestrahlungsstärke eine Kennlinie aufnehmen. Ihr wählt eine erste Einstellung für die Bestrahlungsstärke.

Wie könnt ihr nun dazu eine Kennlinie erstellen?  
Wie werdet ihr dabei vorgehen?

## HINWEIS 4 BESTRAHLUNGSSTÄRKE



Wie könnt ihr mit Hilfe der Messwerte für Stromstärke und Spannung, die ihr im U-I-Diagramm dargestellt habt, eine Leistungs-Spannungskurve erstellen?



# BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



## LÖSUNG 4

### BESTRAHLUNGSSTÄRKE

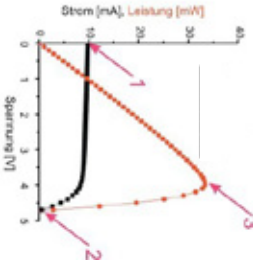
Auf Basis der Kennlinie können wir eine Leistungs-Spannungskurve erstellen. Dazu müssen wir die Messwerte für Strom und Spannung miteinander multiplizieren, um den jeweiligen Leistungswert zu erhalten ( $P=U \cdot I$ ). Wir müssen dabei nicht alle Werte verwenden, sondern vor allem die im Bereich des Punkts maximaler Leistungsabgabe (siehe nächster Hinweis/nächste Antwort). Die erhaltenen Werte für die Leistung tragen wir anschließend auf der vertikalen Achse eines Diagramms auf, während die zugehörigen Spannungswerte auf der horizontalen Achse aufgetragen werden.

## LÖSUNG 5

### BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Wir wissen bereits, dass der Punkt maximaler Leistungsabgabe im „Knick“ der Kennlinie liegt. Deshalb werden wir besonders im Bereich des „Knick“ der Kennlinie relativ viele Werte für die Stromstärke und die Spannung wählen, aus denen wir dann die Leistung berechnen.

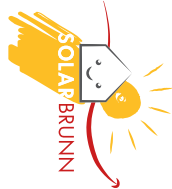
Die aus den Messwerten berechneten Leistungswerte tragen wir anschließend auf der vertikalen Achse und die zugehörigen Spannungswerte auf der horizontalen Achse eines Koordinatensystems auf. Hier finden wir ein Beispiel für eine U-I-Kennlinie (schwarz) und eine dazugehörige Leistungs-Spannungskurve (rot). Punkt 1 und 2 sind Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung. Punkt 3 ist der Maximalpunkt der Leistungs-Spannungskurve. Dieser entspricht dem Punkt maximaler Leistungsabgabe der Solarzelle. Wir können also den MPP einfach aus dem Leistungs-Spannungs-Diagramm ablesen.



Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

## HINWEIS 5

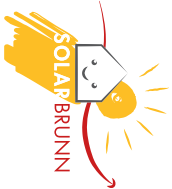
### BESTRAHLUNGSSTÄRKE



Erinnert euch daran, wo in der U-I-Kennlinie der Punkt maximaler Leistungsabgabe ungefähr liegt. Welche Werte aus der U-I-Kennlinie sind daher für die Leistungs-Spannungs-Kurve besonders interessant?

## HINWEIS 6

### BESTRAHLUNGSSTÄRKE

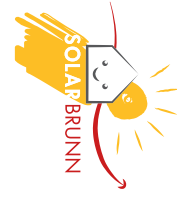


Wiederholt diesen gesamten Vorgang für drei weitere Einstellungen.  
Wie könnt ihr nun die Punkte maximaler Leistung für jede Einstellung miteinander vergleichen?



# BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



LÖSUNG

6

BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Wir können die Punkte maximaler Leistung für verschiedene Bestrahlungsstärken vergleichen, indem wir alle vier Leistungs-Spannungskurven im selben Diagramm darstellen. Wir können für jede Kurve eine andere Farbe verwenden und die Höhe der Maximalpunkte (also der MPPs) miteinander vergleichen.

↓ Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.





Einer der Faktoren, der die maximale Leistungsabgabe einer Solarzelle beeinflussen kann, ist die **Temperatur der Solarzelle**. Diese kann sich durch äußere Bedingungen wie z.B. die Intensität der Sonneneinstrahlung oder Wüstenstürme ändern und muss daher immer berücksichtigt werden.

**PHASE 1****MESSPLANUNG:**

1. **FORSCHUNGSFRAGE:** Was wollt ihr genau herausfinden?
2. **HYPOTHESE:** Stellt eine begründete Vermutung über den Ausgang des Experiments an!
3. **PLANUNGSÜBERLEGUNGEN:** Beantwortet folgende Fragen und macht euch Notizen:
  - **Was** soll gemessen werden?  
Welche Parameter können gemessen werden, welcher Parameter soll variiert werden?  
Welche **Messgeräte** und welcher **experimentelle Aufbau** eignen sich dafür?
  - Was sind die **Rahmenbedingungen** des Experiments?  
Welche Faktoren können die Messungen beeinflussen?  
Wie könnt ihr sie kontrollieren?
  - Wie wird der **Versuchsablauf** und der Vorgang der **Datenerhebung** konkret gestaltet?

**PHASE 2****DATENERHEBUNG**

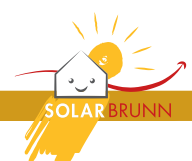
Führt das Experiment wie geplant durch und beachtet dabei die folgenden Punkte:

- Macht euch mit den **Messgeräten** vertraut! Wie hoch ist die Ablesegenauigkeit und entspricht sie der Genauigkeit des Geräts?
- Protokolliert den **Messvorgang:** Erstellt eine Liste mit verwendeten Materialien und eine Versuchsskizze und notiert, wie ihr bei der Datenerhebung vorgegangen seid.
- Protokolliert eure **Ergebnisse** in einer Tabelle!
- Ermittelt für jeden Versuchsdurchgang den **Punkt maximaler Leistungsabgabe** und stellt seine **Abhängigkeit von der Solarzellentemperatur** grafisch dar.

**PHASE 3****PRÄSENTATION DER ERGEBNISSE**

Beantwortet die folgenden Fragen und macht euch Notizen dazu:

- Konnte die Hypothese mit den ermittelten Daten bestätigt werden?
- Inwiefern ist es gelungen, die Messplanung umzusetzen?  
Was war der Grund für Abweichungen?  
Was bedeutet das für die Gültigkeit der Ergebnisse?
- Was lässt sich über die Genauigkeit der Messungen aussagen?
- Worauf muss bei der nächsten Messung verstärkt geachtet werden?
- Was sagen die Daten über die **optimalen Bedingungen für das Aufladen eines Smartphones** mit Hilfe einer Solarzelle aus?



# SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

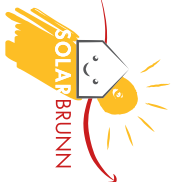
**LÖSUNG**

**1 SOLARZELLENTEMPÉRATUR**

Wir sollen ein Experiment durchführen, mit dessen Hilfe wir herausfinden können, wie die **maximale elektrische Leistungsabgabe** einer Solarzelle von ihrer Temperatur abhängt.

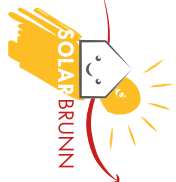
**HINWEIS**

**1 SOLARZELLENTEMPÉRATUR**

 Erklärt euch in eurer Experimentiergruppe gegenseitig die Aufgabenstellung für eure Untersuchung und versucht herauszufinden, ob euch noch etwas unklar ist.

**HINWEIS**

**2 SOLARZELLENTEMPÉRATUR**

 Wie sieht der Versuchsaufbau aus?  
Welchen Parameter verändert ihr?  
Welche Werte müsst ihr messen, um den MPP zu ermitteln?  
Welche Messgeräte braucht ihr dafür?





# BESTRAHLUNGSSTÄRKE

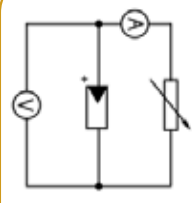
Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

## LÖSUNG 2 SOLARZELLETEMPERATUR

Wir benötigen eine Solarzelle und eine Lichtquelle, die mit Strom versorgt wird. Um die Temperatur der Solarzelle zu ändern, können wir einen Föhn verwenden. Dieser wirkt wie ein Wüstensturm. Für unterschiedliche Einstellungen können wir entweder einen Föhn mit verschiedenen Stufen verwenden oder den Abstand zwischen Föhn und Solarzelle verändern. Haben wir eine Einstellung gewählt, schalten wir den Föhn ein und warten, bis die Solarzelle eine konstante Temperatur erreicht hat. Das können wir mit einem Thermometer überprüfen. Wir lassen den Föhn eingeschaltet und die Einstellung konstant, während wir die Kennlinie aufzeichnen.



Um den MPP zu bestimmen, müssen wir zunächst eine Kennlinie aufnehmen. Dafür brauchen wir ein Amperemeter zur Strommessung, ein Voltmeter zur Spannungsmessung und einen regelbaren Widerstand (Potentiometer). Diese werden folgendermaßen mit der Solarzelle verschaltet: Das Amperemeter und den Widerstand schalten wir in Serie mit der Solarzelle, das Voltmeter parallel.

## LÖSUNG 3 SOLARZELLETEMPERATUR

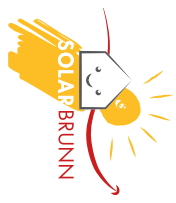
Zuerst wählen wir eine Einstellung (z.B. 30 °C) und stellen sicher, dass diese Temperatur während der Messung konstant bleibt. Nun vergrößern wir den Widerstandswert am Potentiometer in kleinen Schritten (Die Spannung ändert sich dabei um ca. 25 – 50 mV.) Für jede Widerstandseinstellung notieren wir dann den jeweiligen Stromstärke- und Spannungswert in einer Tabelle. Sind wir mit der Messung fertig, können wir eine U-I-Kennlinie erstellen. Die Stromstärke tragen wir dabei auf der vertikalen Achse und die Spannung auf der horizontalen Achse auf.

## HINWEIS 3 SOLARZELLETEMPERATUR



Da sich der MPP mit der Temperatur ändert, müsst ihr für jede Temperatur eine Kennlinie aufnehmen. Ihr wählt eine erste Einstellung für die Temperatur. Wie könnt ihr nun dazu eine Kennlinie erstellen? Wie werdet ihr dabei vorgehen?

## HINWEIS 4 SOLARZELLETEMPERATUR



Wie könnt ihr mit Hilfe der Messwerte für Stromstärke und Spannung, die ihr im U-I-Diagramm dargestellt habt, eine Leistungs-Spannungs-Kurve erstellen?



# BESTRAHLUNGSSTÄRKE

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



## LÖSUNG 4

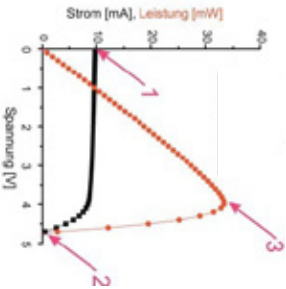
### SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Auf Basis der Kennlinie können wir eine Leistungs-Spannungskurve erstellen. Dazu müssen wir die Messwerte für Strom und Spannung miteinander multiplizieren, um den jeweiligen Leistungswert zu erhalten ( $P=U \cdot I$ ). Wir müssen dabei nicht alle Werte verwenden, sondern vor allem die im Bereich des Punktes maximaler Leistungsabgabe (siehe nächster Hinweis/nächste Antwort). Die erhaltenen Werte für die Leistung tragen wir anschließend auf der vertikalen Achse eines Diagramms auf, während die zugehörigen Spannungswerte auf der horizontalen Achse aufgetragen werden.

## LÖSUNG 5

### SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Wir wissen bereits, dass der Punkt maximaler Leistungsabgabe im „Knick“ der Kennlinie liegt. Deshalb werden wir besonders im Bereich des „Knicks“ der Kennlinie relativ viele Werte für die Stromstärke und die Spannung wählen, aus denen wir dann die Leistung berechnen.

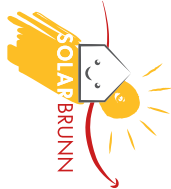


Die aus den Messwerten berechneten Leistungswerte tragen wir anschließend auf der vertikalen Achse und die zugehörigen Spannungswerte auf der horizontalen Achse eines Koordinatensystems auf. Hier finden wir ein Beispiel für eine U-I-Kennlinie (schwarz) und eine dazugehörige Leistungs-Spannungs-Kurve (rot). Punkt 1 und 2 sind Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung. Punkt 3 ist der Maximalpunkt der Leistungs-Spannungs-Kurve. Dieser entspricht dem Punkt maximaler Leistungsabgabe der Solarzelle. Wir können also den MPP einfach aus dem Leistungs-Spannungs-Diagramm ablesen.

Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

## HINWEIS 5

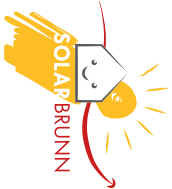
### SOLARZELLENTEMPÉRATUR



Erinnert euch daran, wo in der U-I-Kennlinie der Punkt maximaler Leistungsabgabe ungefähr liegt. Welche Werte aus der U-I-Kennlinie sind daher für die Leistungs-Spannungs-Kurve besonders interessant?

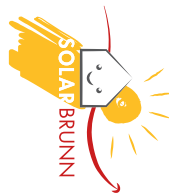
## HINWEIS 6

### SOLARZELLENTEMPÉRATUR



Wiederholt diesen gesamten Vorgang für drei weitere Einstellungen. Wie könnt ihr nun die Punkte maximaler Leistung jeder Einstellung miteinander vergleichen?





## LÖSUNG

6

### SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Wir können die Punkte maximaler Leistung für verschiedene Solarzellentemperaturen vergleichen, indem wir alle vier Leistungs-Spannungskurven im selben Diagramm darstellen. Wir können für jede Kurve eine andere Farbe verwenden und die Höhe der Maximalpunkte (also der MPPs) miteinander vergleichen.

↓ Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.





Einer der Faktoren, der die maximale Leistungsabgabe einer Solarzelle beeinflussen kann, ist die **Beschattung** einzelner Solarzellen, die miteinander verschaltet sind. Bei der Installation von PV-Anlagen muss dieser Umstand besonders berücksichtigt werden, damit die Anlage eine möglichst hohe elektrische Leistung liefert und keine Schäden an den Modulen verursacht werden.

**PHASE 1****MESSPLANUNG:**

1. **FORSCHUNGSFRAGE:** Was wollt ihr genau herausfinden?
2. **HYPOTHESE:** Stellt eine begründete Vermutung über den Ausgang des Experiments an!
3. **PLANUNGSÜBERLEGUNGEN:** Beantwortet folgende Fragen und macht euch Notizen:
  - **Was** soll gemessen werden?  
Welche Parameter können gemessen werden, welcher Parameter soll variiert werden?  
Welche **Messgeräte** und welcher **experimentelle Aufbau** eignen sich dafür?
  - Was sind die **Rahmenbedingungen** des Experiments?  
Welche Faktoren können die Messungen beeinflussen?  
Wie könnt ihr sie kontrollieren?
  - Wie wird der **Versuchsablauf** und der Vorgang der **Datenerhebung** konkret gestaltet?

**PHASE 2****DATENERHEBUNG**

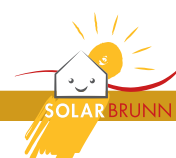
Führt das Experiment wie geplant durch und beachtet dabei die folgenden Punkte:

- Macht euch mit den **Messgeräten** vertraut! Wie hoch ist die Ablesegenauigkeit und entspricht sie der Genauigkeit des Geräts?
- Protokolliert den **Messvorgang:** Erstellt eine Liste mit verwendeten Materialien und eine Versuchsskizze und notiert, wie ihr bei der Datenerhebung vorgegangen seid.
- Protokolliert eure **Ergebnisse** in einer Tabelle!
- Ermittelt für jeden Versuchsdurchgang den **Punkt maximaler Leistungsabgabe** und stellt seine **Abhängigkeit von der Beschattung** grafisch dar.

**PHASE 3****PRÄSENTATION DER ERGEBNISSE**

Beantwortet die folgenden Fragen und macht euch Notizen dazu:

- Konnte die Hypothese mit den ermittelten Daten bestätigt werden?
- Inwiefern ist es gelungen, die Messplanung umzusetzen?  
Was war der Grund für Abweichungen?  
Was bedeutet das für die Gültigkeit der Ergebnisse?
- Was lässt sich über die Genauigkeit der Messungen aussagen?
- Worauf muss bei der nächsten Messung verstärkt geachtet werden?
- Was sagen die Daten über die **optimalen Bedingungen für das Aufladen eines Smartphones** mit Hilfe einer Solarzelle aus?



# VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



**LÖSUNG**

**1** **VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG**

Wir sollen ein Experiment durchführen, mit dessen Hilfe wir herausfinden können, wie die **maximale elektrische Leistungsabgabe** mehrerer in Serie geschalteter Solarzellen vom Grad ihrer Beschattung abhängt.

**HINWEIS**

**2** **VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG**



Wie sieht der Versuchsaufbau aus?  
Welchen Parameter verändert ihr?  
Welche Werte müsst ihr messen, um den MPP zu ermitteln?  
Welche Messgeräte braucht ihr dafür?

**HINWEIS**

**1** **VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG**



Erklärt euch in eurer Experimentiergruppe gegenseitig die Aufgabenstellung für eure Untersuchung und versucht herauszufinden, ob euch noch etwas unklar ist.

Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.



# VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe

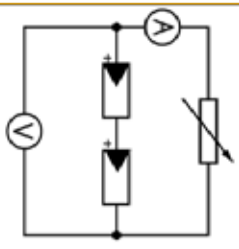


## LÖSUNG 2A VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

Wir benötigen ein Solarmodul (bestehend aus mehreren verschalteten Solarzellen) oder mindestens zwei in Serie geschaltete Solarzellen, sowie eine Lichtquelle. Unterschiedliche Arten der Beschattung können wir z.B. mit einem Karton simulieren, indem wir die verschalteten Solarzellen unterschiedlich bedecken:

- Keine Verschattung oder komplette Verschattung
- Senkrechte Verschattung: Eine Zelle ganz bedeckt / ein Teil des Moduls von links nach rechts teilweise bedeckt.
- Waagrechte Verschattung: Alle Zellen zur Hälfte von oben nach unten bedeckt/ Modul zur Hälfte von oben nach unten bedeckt

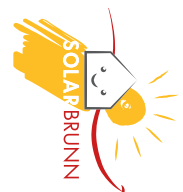
## LÖSUNG 2B VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG



Um den MPP zu bestimmen, müssen wir zunächst eine Kennlinie aufnehmen. Dazu brauchen wir ein Amperemeter zur Strommessung, ein Voltmeter zur Spannungsmessung und einen regelbaren Widerstand (Potentiometer). Das Amperemeter und den Widerstand schalten wir in Serie mit den verschalteten Solarzellen / dem Solarmodul. Das Voltmeter schalten wir parallel zu den Solarzellen / zum Solarmodul.

Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

## HINWEIS 3 VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG



Da der MPP von der Bestrahlungsstärke abhängt, müsst ihr für jede „Beschattung“ des Moduls/der Solarzellen eine Kennlinie aufnehmen und den MPP bestimmen. Ihr wählt eine erste Einstellung für den Grad der Verschattung eures Moduls / eurer Solarzellen.

Wie könnt ihr nun dazu eine Kennlinie erstellen? Wie werdet ihr dabei vorgehen?



# VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

### LÖSUNG 3

#### VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

Wir haben eine Einstellung gewählt und fixieren den Karton in dieser Position. Nun vergrößern wir den Widerstandswert am Potentiometer in kleinen Schritten. (Die Spannung ändert sich dabei um ca. 50 – 100 mV.) Für jede Widerstandseinstellung notieren wir dann den jeweiligen Stromstärke- und Spannungswert in einer Tabelle. Sind wir mit der Messung fertig, können wir eine U-I-Kennlinie erstellen. Die Stromstärke tragen wir dabei auf der vertikalen Achse und die Spannung auf der horizontalen Achse auf.

### LÖSUNG 4

#### VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

Auf Basis der Kennlinie können wir eine Leistungs-Spannungskurve erstellen. Dazu müssen wir die Messwerte für Strom und Spannung miteinander multiplizieren, um den jeweiligen Leistungswert zu erhalten ( $P=U \cdot I$ ). Wir müssen dabei nicht alle Werte verwenden, sondern vor allem die im Bereich des Punkts maximaler Leistungsabgabe (siehe nächster Hinweis/nächste Antwort). Die erhaltenen Werte für die Leistung tragen wir anschließend auf der vertikalen Achse eines Diagramms auf, während die zugehörigen Spannungswerte auf der horizontalen Achse aufgetragen werden.

### HINWEIS 4

#### VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

Wie könnt ihr mit Hilfe der Messwerte für Stromstärke und Spannung, die ihr im U-I-Diagramm dargestellt habt, eine Leistungs-Spannungs-Kurve erstellen?



### HINWEIS 5

#### VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

Erinnert euch daran, wo in der U-I-Kennlinie der Punkt maximaler Leistungsabgabe ungefähr liegt. Welche Werte aus der U-I-Kennlinie sind daher für die Leistungs-Spannungs-Kurve besonders interessant?



# VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

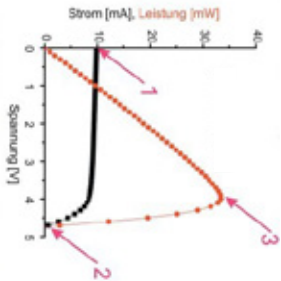
Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



## LÖSUNG 5

### VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

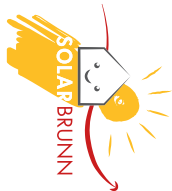
Da der Punkt maximaler Leistungsabgabe im „Knick“ der Kennlinie liegt, ist es günstig im Bereich des „Knicks“ der Kennlinie relativ viele Werte für Stromstärke und die Spannung zu wählen. Daraus können wir dann die Leistung berechnen. Die aus den Messwerten berechneten Leistungswerte tragen wir anschließend auf der vertikalen Achse und die zugehörigen Spannungswerte auf der horizontalen Achse eines Koordinatensystems auf. In der Abbildung ist die U-I-Kennlinie schwarz und die dazugehörige Leistungs-Spannungskurve (rot). Punkt 1 ist bezeichnet den Kurzschlussstrom, Punkt 2 die Leerlaufspannung, Punkt 3 ist der Punkt maximaler Leistungsabgabe (MPP) der Solarzelle. Er lässt sich einfach aus dem Leistungs-Spannungs-Diagramm ablesen.



## HINWEIS 6

### VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

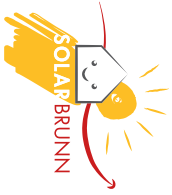
Wiederholt diesen gesamten Vorgang für drei weitere Einstellungen. Wie könnt ihr nun die Punkte maximaler Leistung jeder Einstellung miteinander vergleichen?



## LÖSUNG 6

### VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

Wir können die Punkte maximaler Leistung für verschiedene Beschattungseinstellungen vergleichen, indem wir alle vier Leistungs-Spannungskurven im selben Diagramm darstellen. Wir können für jede Kurve eine andere Farbe verwenden und die Höhe der Maximalpunkte (also der MPPs) miteinander vergleichen.



Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.







Einer der Faktoren, der die maximale Leistungsabgabe einer Solarzelle beeinflussen kann, ist die **spektrale Verteilung des Lichts**, das auf die Solarzelle trifft. Durch unterschiedliche Bedingungen in unserer Atmosphäre (wie z.B. hohe Luftfeuchtigkeit) kann das Licht in unterschiedlichen Gebieten auf der Erde verschiedene Anteile des Farbspektrums besitzen.

## PHASE 1

## MESSPLANUNG:

1. **FORSCHUNGSFRAGE**: Was wollt ihr genau herausfinden?
2. **HYPOTHESE**: Stellt eine begründete Vermutung über den Ausgang des Experiments an!
3. **PLANUNGSÜBERLEGUNGEN**: Beantwortet folgende Fragen und macht euch Notizen:
  - **Was** soll gemessen werden?  
Welche Parameter können gemessen werden, welcher Parameter soll variiert werden?  
Welche **Messgeräte** und welcher **experimentelle Aufbau** eignen sich dafür?
  - Was sind die **Rahmenbedingungen** des Experiments?  
Welche Faktoren können die Messungen beeinflussen?  
Wie könnt ihr sie kontrollieren?
  - Wie wird der **Versuchsablauf** und der Vorgang der **Datenerhebung** konkret gestaltet?

## PHASE 2

## DATENERHEBUNG

Führt das Experiment wie geplant durch und beachtet dabei die folgenden Punkte:

- Macht euch mit den **Messgeräten** vertraut! Wie hoch ist die Ablesegenauigkeit und entspricht sie der Genauigkeit des Geräts?
- Protokolliert den **Messvorgang**: Erstellt eine Liste mit verwendeten Materialien und eine Versuchsskizze und notiert, wie ihr bei der Datenerhebung vorgegangen seid.
- Protokolliert eure **Ergebnisse** in einer Tabelle!
- Ermittelt für jeden Versuchsdurchgang den **Punkt maximaler Leistungsabgabe** und stellt seine **Abhängigkeit von der spektralen Verteilung des Lichts** grafisch dar.

## PHASE 3

## PRÄSENTATION DER ERGEBNISSE

Beantwortet die folgenden Fragen und macht euch Notizen dazu:

- Konnte die Hypothese mit den ermittelten Daten bestätigt werden?
- Inwiefern ist es gelungen, die Messplanung umzusetzen?  
Was war der Grund für Abweichungen?  
Was bedeutet das für die Gültigkeit der Ergebnisse?
- Was lässt sich über die Genauigkeit der Messungen aussagen?
- Worauf muss bei der nächsten Messung verstärkt geachtet werden?
- Was sagen die Daten über die **optimalen Bedingungen für das Aufladen eines Smartphones** mit Hilfe einer Solarzelle aus?



# SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

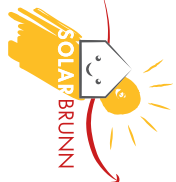
**LÖSUNG**

**1** **SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS**

Wir sollen ein Experiment durchführen, mit dessen Hilfe wir herausfinden können, wie die **maximale elektrische Leistungsabgabe** einer Solarzelle von der spektralen Verteilung des Lichts abhängt.

**HINWEIS**

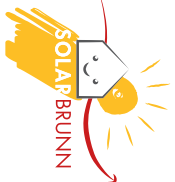
**2** **SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS**



Wie sieht der Versuchsaufbau aus?  
Welchen Parameter verändert ihr?  
Welche Werte müsst ihr messen, um den MPP zu ermitteln?  
Welche Messgeräte braucht ihr dafür?

**HINWEIS**

**1** **SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS**



Erklärt euch in eurer Experimentiergruppe gegenseitig die Aufgabenstellung für eure Untersuchung und versucht herauszufinden, ob euch noch etwas unklar ist.



# SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS

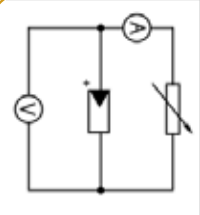
Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

## LÖSUNG 2 SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS

Wir benötigen eine Solarzelle und eine Lichtquelle, die mit Strom versorgt wird. Unter realen Bedingungen kann sich aufgrund unterschiedlicher Absorption des Lichts durch die Atmosphäre die spektrale Verteilung des Sonnenlichts in verschiedenen Gebieten verändern. Um diesen Umstand zu simulieren, können wir entweder unterschiedliche Farbfolien verwenden oder mit einem Beamer einfach Bilder in verschiedenen Farben einblenden. Wir sollten dabei mindestens vier verschiedene Farbfolien verwenden.

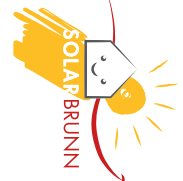


Um den MPP zu bestimmen müssen wir eine Kennlinie aufnehmen. Dazu brauchen wir ein Amperemeter zur Strommessung, ein Voltmeter zur Spannungsmessung und einen regelbaren Widerstand (Potentiometer). Diese werden folgendermaßen mit der Solarzelle verschaltet: Das Amperemeter und den Widerstand schalten wir in Serie mit der Solarzelle. Das Voltmeter schalten wir parallel zur Solarzelle.

## LÖSUNG 3 SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS

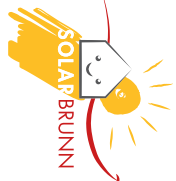
Wir haben jetzt eine Farbfolie gewählt (z.B. blau) und fixieren sie vor der Lichtquelle. Nun vergrößern wir den Widerstandswert am Potentiometer in kleinen Schritten. (Die Spannung ändert sich dabei um ca. 25 – 50 mV.) Für jede Widerstandseinstellung notieren wir dann den jeweiligen Stromstärke- und Spannungswert in einer Tabelle. Sind wir mit der Messung fertig, können wir eine U-I-Kennlinie erstellen. Die Stromstärke tragen wir dabei auf der vertikalen Achse und die Spannung auf der horizontalen Achse auf.

## HINWEIS 3 SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS



Da der MPP von der spektralen Verteilung des Lichts abhängt, müsst ihr für jeden Filter den MPP getrennt bestimmen. Ihr wählt eine erste Einstellung für die Lichtfarbe.  
Wie könnt ihr nun dazu eine Kennlinie erstellen?  
Wie werdet ihr dabei vorgehen?

## HINWEIS 4 SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS



Wie könnt ihr mit Hilfe der Messwerte für Stromstärke und Spannung, die ihr im U-I-Diagramm dargestellt habt, eine Leistungs-Spannungs-Kurve erstellen?



# SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



## LÖSUNG 4

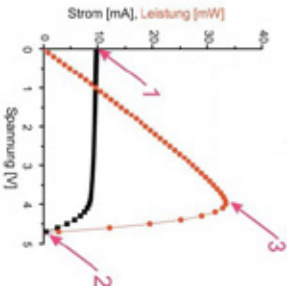
### SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS

Auf Basis der Kennlinie können wir eine Leistungs-Spannungskurve erstellen. Dazu müssen wir die Messwerte für Strom und Spannung miteinander multiplizieren, um den jeweiligen Leistungswert zu erhalten ( $P=U \cdot I$ ). Wir müssen dabei nicht alle Werte verwenden, sondern vor allem die im Bereich des Punkts maximaler Leistungsabgabe (siehe nächster Hinweis/nächste Antwort). Die erhaltenen Werte für die Leistung tragen wir anschließend auf der vertikalen Achse eines Diagramms auf, während die zugehörigen Spannungswerte auf der horizontalen Achse aufgetragen werden.

## LÖSUNG 5

### SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS

Wir wissen bereits, dass der Punkt maximaler Leistungsabgabe im „Knick“ der Kennlinie liegt. Deshalb werden wir besonders im Bereich des „Knicks“ der Kennlinie relativ viele Werte für die Stromstärke und die Spannung wählen, aus denen wir dann die Leistung berechnen.



Die aus den Messwerten berechneten Leistungswerte tragen wir anschließend auf der vertikalen Achse und die zugehörigen Spannungswerte auf der horizontalen Achse eines Koordinatensystems auf. Hier finden wir ein Beispiel für eine U-I-Kennlinie (schwarz) und eine dazugehörige Leistungs-Spannungskurve (rot). Punkt 1 und 2 sind Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung. Punkt 3 ist der Maximalpunkt der Leistungs-Spannungskurve. Dieser entspricht dem Punkt maximaler Leistungsabgabe der Solarzelle. Wir können also den MPP einfach aus dem Leistungs-Spannungs-Diagramm ablesen.

## HINWEIS 5

### SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS

Erinnert euch daran, wo in der U-I-Kennlinie der Punkt maximaler Leistungsabgabe ungefähr liegt. Welche Werte aus der U-I-Kennlinie sind daher für die Leistungs-Spannungskurve besonders interessant?



## HINWEIS 6

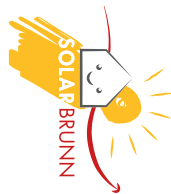
### SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS

Wiederholt diesen gesamten Vorgang für drei weitere Einstellungen. Wie könnt ihr nun die Punkte maximaler Leistung jeder Einstellung miteinander vergleichen?



↓ Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.





LÖSUNG

6

## SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS

Wir können die Punkte maximaler Leistung für verschiedene Farbeinstellungen vergleichen, indem wir alle vier Leistungs-Spannungskurven im selben Diagramm darstellen. Wir können für jede Kurve eine andere Farbe verwenden und die Höhe der Maximalpunkte (also der MPPs) miteinander vergleichen.

↓ Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.



# HABEN WIR HEUTE GEFORSCHT?



Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe

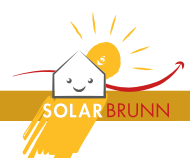
## FRAGE IN WIE WEIT HAT DIE EBEN DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNG ETWAS MIT FORSCHUNG ZU TUN?

Lest dazu die Information zu „Experimentelle naturwissenschaftliche Forschung“ und bearbeitet zu zweit die folgenden Aufgaben:

- 1 Welche der Aspekte habt ihr bei euren Untersuchungen berücksichtigt?  
In welcher Form?

- 2 Überlegt, welchen Aspekten ihr mehr Beachtung schenken würdet, wenn ihr die Untersuchungen noch(mal) durchführen müsst(et)?  
Wie würde das eure Ergebnisse beeinflussen?

- 3 Welche Aspekte treffen sowohl für die Wissenschaft als auch für forschendes Lernen zu?  
Welche nur für die Wissenschaft?



## HINTERGRUNDINFORMATION

In der **physikalischen Forschung** spielen Experimente eine große Rolle, um begründet eine Aussage zu einem Phänomen treffen zu können und somit neues Wissen zu entwickeln.

- 1 Eine **FORSCHUNGSFRAGE** stellen: Zunächst ist es wichtig, zu überlegen, was mit dem Experiment überhaupt herausgefunden werden soll. Dazu müssen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sich zunächst oft intensiv mit der Theorie auseinandersetzen, die das zu untersuchende Phänomen beschreiben und erklären könnte.
- 2 **HYPOTHESEN** mit Experimenten **TESTEN**: Aufgrund der theoretischen Auseinandersetzung ist es meist möglich, begründete Vermutungen über den Ausgang eines Experiments anzustellen und diese zielgerichtet zu untersuchen.
- 3 **HYPOTHESEN** auf Basis von Experimenten **ENTWICKELN**: Selbst gute theoretische Kenntnisse führen nicht immer zu Hypothesen über den Ausgang eines Experiments. Hypothesen können aber oft experimentell entwickelt werden, indem ein Phänomen fragegeleitet untersucht wird und dann die Ergebnisse so strukturiert werden, dass neue Vermutungen entwickelt werden können.
- 4 In beiden Fällen kann eine Hypothese durch ein Experiment bestätigt oder widerlegt werden. Sowohl **VERIFIKATION** als auch **FALSIFIKATION** haben einen Erkenntniswert für eine Fragestellung.
- 5 **DOKUMENTATION**: Der gesamte Forschungsprozess muss genau dokumentiert werden, damit für andere Forscherinnen und Forscher klar ersichtlich und nachvollziehbar ist, welche Überlegungen den Prozess geleitet haben.
- 6 **INTERPRETATION** von **DATEN**: Nachdem Daten experimentell erhoben wurden, wird in einem nächsten Schritt überlegt, was die Daten im Hinblick auf die Forschungsfrage aussagen: Die Daten müssen strukturiert und unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen interpretiert werden.
- 7 **DISKUSSION** und **RECHTFERTIGUNG**: Da in der Forschung im Unterschied zur Schule nicht feststeht, welches Ergebnis bei einem Experiment rauskommen soll, ist es wichtig, dass sich Forscherinnen und Forscher, die an ähnlichen Themen arbeiten, regelmäßig austauschen und einander Feedback geben. Ergebnisse, aber auch der Weg zu den Ergebnissen werden im Rahmen von Fachtagungen vor Fachkolleginnen und Fachkollegen präsentiert und gerechtfertigt.
- 8 **WIEDERHOLBARKEIT**: Werden die Untersuchungen von anderen Forscherinnen und Forschern wiederholt, müssen die gleichen Ergebnisse herauskommen (empirische Stabilität). Oft werden dabei unterschiedliche experimentelle Verfahren verwendet, um die gleiche Frage zu untersuchen.
- 9 **PUBLIKATION**: Schließlich werden Forschungsprozess und Ergebnisse in einem Artikel niedergeschrieben und veröffentlicht, damit auch andere von den Ergebnissen erfahren und daran weiterarbeiten können. Bevor ein Artikel veröffentlicht werden kann, lesen ihn Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die sich mit ähnlichen Themen befassen, geben Rückmeldung und entscheiden, ob die Arbeit nachvollziehbar und so bedeutsam ist, dass sie veröffentlicht werden soll.
- 10 **KREATIVITÄT**: Obwohl es eine Reihe von Regeln gibt, welche Forschung leiten, müssen Forscherinnen und Forscher sowohl bei der Planung und Durchführung von Experimenten als auch bei der Auswertung der Ergebnisse kreativ sein.
- 11 **ANLÄSSE** für und **EINFLÜSSE** auf Forschung: Forschung hat viele Anlässe und wird von einer Reihe von forschungsinternen und forschungsexternen Faktoren beeinflusst. Das können Faktoren sein, die in den spezifischen Methoden und Fragestellungen eines bestimmten Teilgebiets der Physik liegen oder aber individuell bedeutsame Faktoren. Oft sind aber auch gesellschaftliche, wirtschaftliche oder militärische Interessen Anlass für bestimmte Fragestellungen. Entsprechende Forschungsprojekte werden dann finanziell bevorzugt gefördert. Damit erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass diese Fragestellungen untersucht werden.



Für die Herstellung von Solarzellen können eine Reihe unterschiedlicher Materialien und Produktionsverfahren angewendet werden. Da einzelne Zellen zu wenig elektrische Energie für die Versorgung eines ganzen Haushalts liefern, werden diese meist bereits in der Produktion zu Solarmodulen zusammengesetzt.

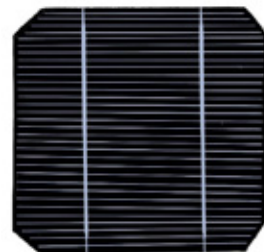
1

## DER KLASSIKER – DIE KRISTALLINE SILIZIUMZELLE

Für die Herstellung der ersten Solarzellen wurde kristallines Silizium verwendet. Silizium ist das zweithäufigste (!) Element in der Erdkruste und kommt z.B. als Quarzsand in natürlicher Form auf unserer Erde vor. Auch heute wird es wegen seiner fast unbegrenzten Verfügbarkeit noch für den Großteil der Solarzellenproduktion eingesetzt. Man unterscheidet dabei zwischen monokristallinen und multikristallinen Siliziumzellen.

### A) Monokristalline Siliziumzellen

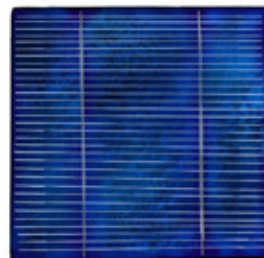
Quarzsand ist Siliziumoxid ( $\text{SiO}_2$ ). Für die Produktion von Solarzellen benötigt man jedoch reines Silizium (Si). Silizium muss daher zunächst mit Hilfe eines chemischen Verfahrens bei hohen Temperaturen hergestellt werden. Das erhaltene Rohsilizium wird nun gereinigt und anschließend eingeschmolzen. Aus der Schmelze werden unter Drehbewegung runde Siliziumstäbe mit einer einheitlichen Kristallstruktur („Monokristalle“) gezogen. Diese werden anschließend in dünne (ca. 0,3 mm dicke) Scheiben (auch „Wafer“ genannt) zerschnitten. Die runden Wafer werden an den Seiten abgesägt, wodurch sie ihre typische Form erhalten. Monokristalline Siliziumzellen besitzen zur Zeit den höchsten Wirkungsgrad in der Solarzellentechnik. Dieser liegt bei ungefähr 20 %. Daher kann man mit dieser Art von Solarzelle auch auf kleinen Flächen einen möglichst hohen Ertrag an elektrischer Energie erhalten. Obwohl die monokristallinen Solarzellen im Jahr 2010 noch 53 % der österreichischen PV-Anlagen abdeckten, sank der Anteil auf lediglich 14 % im Jahr 2013. Momentan bewegt sich der Trend jedoch wieder in Richtung monokristalline Siliziumzellen.



Quelle: www.e-genius.at

### B) Multikristalline Siliziumzellen

Auch hier wird zunächst aus Quarzsand Rohsilizium hergestellt, das anschließend durch Reinigung und Einschmelzen für die weiteren Produktionsschritte vorbereitet wird. Bei der Herstellung von multikristallinen Siliziumzellen wird das geschmolzene Silizium jedoch direkt in quadratische Blöcke gegossen und anschließend langsam abgekühlt. Beim Erstarren des flüssigen Siliziums zu sogenannten „Ingots“ entstehen unterschiedlich große Kristallstrukturen, wodurch die Solarzelle ihre charakteristische, uneinheitliche Oberflächenstruktur erhält. Die Ingots werden dann ebenfalls in Wafer zersägt. Durch ihre quadratische Form entsteht dabei nur wenig Verschnitt. Der Wirkungsgrad von multikristallinen Siliziumzellen liegt bei ungefähr 16 % und ist geringer als bei der monokristallinen Variante.



Quelle: www.e-genius.at



Daher werden multikristalline Solarzellen generell für großflächige PV-Anlagen verwendet, da mehr Module notwendig sind, um denselben Energieertrag zu erhalten.

Die Dotierung des Siliziums erfolgt anschließend durch gezieltes Einbringen von Fremdatomen in das reine Silizium. Die n-Dotierung wird auf die Oberfläche der fertigen Wafer aufgetragen, wo ein spezielles Gasmisch mit dem Silizium reagiert. Die p-Dotierung kann entweder genau gleich oder schon in der Schmelze durchgeführt werden. Als nächstes werden die Wafer mit einer Antireflexschicht versehen, die für ihre bekannte Färbung verantwortlich ist. Ohne diese Schicht hätten die Solarzellen eine graue Farbe. Typisch für monokristalline Solarzellen ist ihre dunkle und einheitliche Optik, während multikristalline Solarzellen für ihre blaue Färbung bekannt sind. An der Ober- und Unterseite der Solarzelle werden anschließend Metallkontakte angebracht. Der Frontkontakt besteht dabei aus dünnen Streifen, während der Rückkontakt die gesamte Rückseite der Solarzelle bedeckt.

## 2

**DIE FLEXIBLE LÖSUNG – DIE DÜNNSCHICHTZELLE**

Anstelle von Siliziumzellen können auch Dünnschichtzellen verwendet werden. Als Material kommen z.B. amorphes Silizium (aSi)\*, Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) oder Kupfer-Indium-Gallium-Selenid (CIGS) zum Einsatz. Der momentan beliebteste Halbleiterstoff für die Herstellung von Dünnschichtzellen ist aber Cadmiumtellurid (CdTe), da hier der bisher höchste Wirkungsgrad in der Dünnschichtzellentechnik erreicht werden kann. Die derzeit erreichten Wirkungsgrade liegen je nach verwendeter Halbleiterbeschichtung im Bereich von 6 – 12 %.



Quelle: [www.tuwien.ac.at/fileadmin/t/tuwien/fotos/pa/download/2013/solardesign\\_solarfolie.jpg](http://www.tuwien.ac.at/fileadmin/t/tuwien/fotos/pa/download/2013/solardesign_solarfolie.jpg)

Bei der Herstellung wird das Halbleitermaterial direkt in dünnen Schichten z.B. durch Aufdampfen oder Aufsprühen auf einem Träger angebracht. Aufgrund dieses Herstellungsverfahrens wird für Dünnschichtzellen deutlich weniger Material benötigt, da die Halbleiterschicht lediglich wenige Mikrometer dick ist. Als Trägermaterial oder „Substrat“ kann z.B. Metall oder Glas verwendet werden, weshalb Dünnschichtzellen auch direkt in Bauelemente integriert werden können! Ebenso eignen sich auch flexible Materialien wie Kunststoff oder Textilien als Trägermaterial, wodurch die Zellen eine flexible Form erhalten. Ihr geringes Gewicht eröffnet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, etwa für Kleingeräte wie Taschenrechner oder sogar zur Integration in Jacken und andere Textilien. Dünnschichtmodule sind meistens kleiner als kristalline Module und ihre Färbung ist dunkelgrün, bräunlich oder schwarz.

\* Amorphes Silizium hat im Gegensatz zum kristallinen Silizium eine ungeordnete Struktur.

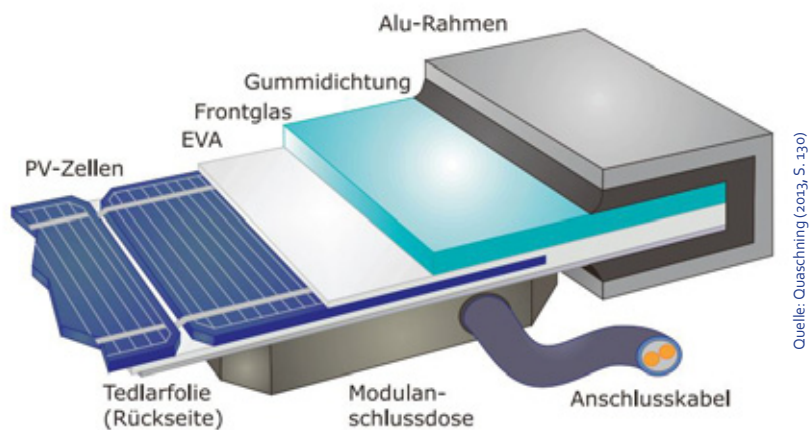


### 3 DEN PFLANZEN NACHGEMACHT – DIE GRÄTZEL-ZELLE

Die Entwicklung von Farbstoffzellen, auch „Grätzel-Zellen“ genannt, brachte Solarzellen, die das Prinzip der Photosynthese nutzen, in denen mit Hilfe von Farbstoffen Strahlungsenergie in elektrische Energie umgewandelt wird. Diese Solarzellen verwenden zur Absorption von Licht organische Farbstoffe wie Chlorophyll. Im Labor wurden dafür bereits Wirkungsgrade von bis zu 10 % erreicht. Eine weitere innovative Solarzellenentwicklung sind organische Halbleiter, die aus Kunststoffen auf Kohlenwasserstoff-Basis erzeugt werden. Realistische Wirkungsgrade liegen hier bei 5 – 10 %. Beide Alternativen sind aber noch nicht marktreif.

### 4 VON DER SOLARZELLE ZUM SOLARMODUL

Eine einzelne Solarzelle liefert lediglich eine Spannung von ca. 0,5 Volt. Das reicht für die elektrische Energieversorgung der meisten Elektrogeräte jedoch nicht aus. Deshalb ist es notwendig, die Spannung (und auch die Leistung) durch die gezielte Verschaltung mehrerer Solarzellen zu einem Solarmodul zu erhöhen. Um die Module wetterfest zu machen, werden sie zwischen einer Glasscheibe auf der Vorderseite und einer Folie auf der Rückseite eingeschlossen. Durch das Glas werden die Solarzellen vor Feuchtigkeit und mechanischen Schäden geschützt, während gleichzeitig genügend Licht auf ihre Oberflächen treffen kann. Für zusätzlichen Feuchtigkeitsschutz wird unter der Glasschicht eine Kunststoffschicht (EVA) eingebracht, die mit dem Glas und der Zelle verschmolzen wird. Mit Hilfe des Alu-Rahmens können die Module ganz einfach befestigt werden.



# AUFBAU EINER PHOTOVOLTAIKANLAGE

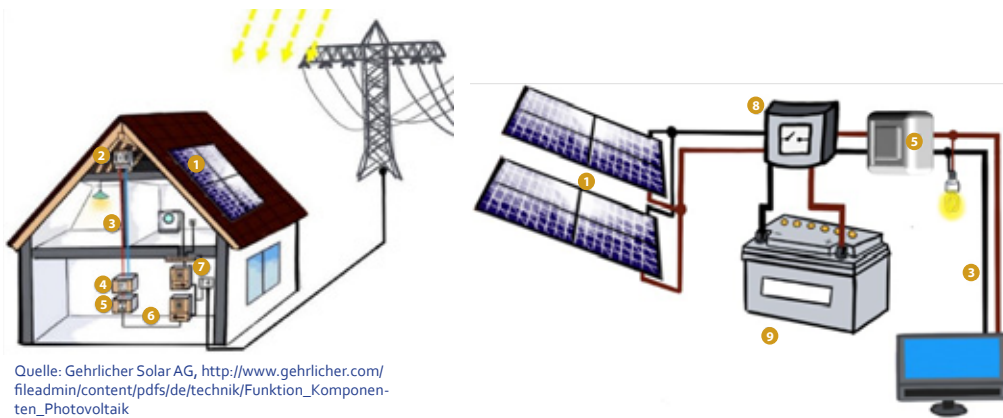
Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 4/Oberstufe



Photovoltaik-Anlagen können mit dem öffentlichen Stromnetz gekoppelt werden oder als unabhängige (auch „autark“ genannte) Inselanlagen geführt werden. Letztere haben vor allem großes Potential in Gebieten, die keinen Zugang zum öffentlichen Stromnetz besitzen. Beide Varianten können auch kombiniert werden, in Form einer netzgekoppelten Anlage mit Batteriespeicher. Herkömmliche PV-Anlagen können darüber hinaus gemeinsam mit anderen Kraftwerken als Hybridanlage betrieben werden.

1

## NETZGEKOPPELTE PV-ANLAGEN UND INSELANLAGEN



Quelle: Gehrlicher Solar AG, [http://www.gehrlicher.com/fileadmin/content/pdfs/de/technik/Funktion\\_Komponenten\\_Photovoltaik](http://www.gehrlicher.com/fileadmin/content/pdfs/de/technik/Funktion_Komponenten_Photovoltaik)

Quelle: Quaschnig 2013, S. 134

**(1) Solargenerator:** Eine einzelne Solarzelle liefert lediglich eine Spannung von ca. 0,5 Volt. Das reicht für die elektrische Energieversorgung eines Haushalts jedoch nicht aus. Deshalb werden zunächst mehrere Solarzellen zu einem Solarmodul zusammengeschaltet. Die einzelnen Module werden anschließend wiederum zu einem sogenannten „Solargenerator“ zusammengeschlossen. Dabei kann je nach Bedarf eine Kombination aus Serien- und Parallelschaltung gewählt werden.

**(2) / (4) Generatoranschlusskasten:** Der Generatoranschlusskasten dient zur Verschaltung der einzelnen Module. Darüber hinaus finden sich hier Sicherungen für die einzelnen Modulreihen.

**(3) / (6) DC- und AC-Verkabelung:** Leitungen werden benötigt, um die Module mit den anderen Komponenten zu einem Stromkreis zu verbinden. Dabei wird von den Modulen bis zum Wechselrichter eine Verkabelung für Gleichstrom und vom Wechselrichter bis zum Einspeisepunkt eine Verkabelung für Wechselstrom verwendet.

**(5) Wechselrichter:** Durch den Wechselrichter wird sichergestellt, dass der Solarstrom ohne Probleme ins private und öffentliche Stromnetz eingespeist werden kann. Solarzellen liefern Gleichstrom, im öffentlichen Stromnetz wird jedoch Wechselstrom mit einer Spannung von 230 V und einer Frequenz von 50 Hz verwendet. Ein Wechselrichter wandelt den Gleichstrom zunächst in Wechselstrom um. Anschließend passt ein in den Wechselrichter integrierter Transformator diesen Wechselstrom an die vom Netz benötigten Werte (230 V Wechselspannung, 50 Hz Frequenz) an. Bei einem Inselssystem an sich wäre keine Umwandlung in Wechselstrom nötig. Will man aber alle üblichen Haushaltsgeräte betreiben, die z.T. nur mit Wechselstrom verwendet werden können, so muss auch hier ein Wechselrichter installiert werden!



# AUFBAU EINER PHOTOVOLTAIKANLAGE

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 4/Oberstufe



**(7) Einspeisezähler:** Die elektrische Energie kann nun entweder für den eigenen Haushalt verwendet oder gegen Vergütung ins öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Ist die PV-Anlage mit dem öffentlichen Stromnetz gekoppelt, dann kann man mit einem Einspeisezähler messen, wie viel Strom ins Netz eingespeist wurde. Dabei erhält man pro kWh an Leistung, die man dem öffentlichen Netz zur Verfügung stellt, eine bestimmte Einspeisevergütung. Der Betrag liegt in Österreich derzeit durchschnittlich bei 4 Cent pro kWh, wobei er je nach Anbieter und eingespeister Energiemenge variieren kann. Einzelne Energieversorger bieten sogar eine Anpassung der Vergütung an den Tarif für den Bezug aus dem Netz an. (Wird die PV-Anlage als Inselanlage geführt, so wird kein Einspeisezähler benötigt.)

**(8) Laderegler:** Laderegler werden verwendet, um sicherzustellen, dass Akkumulatoren sicher und effizient geladen und auch wieder entladen werden. Das geschieht durch die Steuerung der Auf- und Entladung und durch die Registrierung von kritischen Temperaturänderungen. Darüber hinaus schützt der Laderegler auch vor Überladung und hilft somit dabei, die Lebensdauer und die Sicherheit der Akkus zu verlängern.

**(9) Akkumulator:** Inselanlagen werden nicht mit dem öffentlichen Stromnetz gekoppelt und nutzen daher nur die durch das Sonnenlicht gewonnene (und lokal gespeicherte) elektrische Energie. Da PV-Anlagen nicht unter allen Bedingungen genau so viel elektrische Energie liefern können, wie gerade benötigt wird, benötigt man Akkumulatoren (oder „Akkus“), mit denen die von der PV-Anlage gelieferte elektrische Energie bis zu 24 Stunden lang gespeichert werden kann.

2

## NETZGEKOPPELTE ANLAGEN MIT BATTERIESPEICHER

Bei der Planung einer PV-Anlage müssen sowohl der Grad an Unabhängigkeit vom Netz (auch Autarkie genannt) als auch der Anteil des Eigenverbrauchs, der mit dem Solarstrom gedeckt werden kann, berücksichtigt werden. Wird eine netzgekoppelte Anlage um einen Energiespeicher erweitert, so wird bei hohem Eigenbedarf der Unabhängigkeitsgrad erhöht. Ist überschüssige elektrische Energie vorhanden, so wird diese zuerst in den Energiespeicher eingespeist, bis er voll ist. Erst dann erfolgt die Einspeisung ins öffentliche Stromnetz. Die gespeicherte elektrische Energie kann dann verwendet werden, wenn die Anlage gerade keine elektrische Energie liefert (z.B. in der Nacht). Somit muss dann weniger elektrische Energie aus dem Netz bezogen werden.

3

## SOLARE HYBRIDANLAGEN: JE MEHR, DESTO BESSER!

Eine solare Hybridanlage ist eine Kombination aus einer oder mehreren PV-Anlagen und weiteren Formen der Energiebereitstellung. Dabei werden vor allem erneuerbare Energieträger wie Wind- oder Wasserkraft eingesetzt. Durch diese Kombination kann die Versorgungssicherheit erhöht werden, da die anderen Kraftwerke dazu genutzt werden können, um Leistungsschwankungen von PV-Anlagen auszugleichen. Das heißt, wenn z.B. die PV-Anlagen in der Hybridanlage wenig Ertrag liefern, dann können die anderen Komponenten der Hybridanlage, wie Wind- oder Wasserkraftwerke, die benötigte elektrische Energie bereitstellen. Das funktioniert natürlich auch umgekehrt, z.B. wenn kein Wind geht oder bei Hochwasser.



## WOHIN MIT ELEKTR. ENERGIE, DIE NICHT GEBRAUCHT WIRD?

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 4/Oberstufe



Energiespeicher können mit Hilfe von bestimmten physikalischen Kenngrößen charakterisiert und miteinander verglichen werden. Die wichtigsten dieser Größen sind die folgenden:

- 1 **Ein- und Ausspeicherleistung:** Die Ein- und Ausspeicherleistung beschreibt die zugeführte oder entnommene Energie pro Zeiteinheit für einen Energiespeicher.
- 2 **Speicherkapazität:** Die Speicherkapazität gibt an, wie viel Energie ein Speicher maximal aufnehmen, speichern und wieder abgeben kann. Sie wird in kWh angegeben.
- 3 **Energiedichte:** Die Energiedichte wird in Wh/kg angegeben und gibt an, wie viele Kilogramm eines Stoffes notwendig sind, um eine gewisse Energiemenge zu speichern.
- 4 **Wirkungsgrad:** Der Wirkungsgrad gibt das Verhältnis zwischen eingespeicherter und entnommener Energie an, d.h. wieviel der eingehenden Energie am Ende genutzt werden kann.
- 5 **Ausspeicherdauer:** Die Ausspeicherdauer beschreibt, wie lange die Energie gespeichert werden kann. Kurzzeitspeicher können Energie für einen Zeitraum von wenigen Nanosekunden bis zu einem gesamten Tag speichern, während Langzeitspeicher die Energie mehrere Tage lang bis hin zu einigen Monaten oder sogar Jahren speichern können.

Elektrische Energie von Photovoltaik-Anlagen, kann zu Überproduktionszeiten gespeichert werden, um auch dann den Energiebedarf zu decken, wenn die PV-Anlage gerade keine elektrische Energie liefert (z.B. in der Nacht). In Österreich wurden neben privaten PV-Anlagen bereits zahlreiche Solarkraftwerke errichtet, die ebenfalls mit Solarzellen arbeiten und mehrere hundert Kilowattpeak (kWp) an elektrischer Leistung liefern können. Ein Beispiel dafür ist das Solarkraftwerk Werfenweng, das eine Gesamtleistung von 235 kWp liefert. Bereits 24 Solarkraftwerke wurden außerdem durch die freiwillige finanzielle Beteiligung von österreichischen Bürger\_innen errichtet, wie z.B. der Photovoltaik-Park in Niederösterreich. Auf einer Fläche von 13 000 m<sup>2</sup> Ackerland liefert er eine elektrische Leistung von 500 kWp.

Nun stellt sich aber die Frage, mit welchen Möglichkeiten diese Menge an elektrischer Energie gespeichert werden kann. Drei Möglichkeiten der Energiespeicherung, die hier in Frage kommen, werden im Folgenden präsentiert: Pumpspeicherkraftwerke, Akkumulatoren und Power-to-Gas Anlagen\*.

\* Weitere Möglichkeiten der Speicherung: elektrische Energiespeicher wie Kondensatoren und Spulen, mechanische Speicher wie Druckluftspeicher, Lageenergiespeicher, Schwungmassenspeicher, Federenergiespeicher, thermische Speicher wie Warmwasserspeicher, Latentwärmespeicher, Thermochemische Speicher, Power-to-Heat oder Sorptionswärmespeicher, chemische Speicher wie weitere Akkumulator-Typen, Power-to-Liquid als weiterer elektrochemischer Speicher.

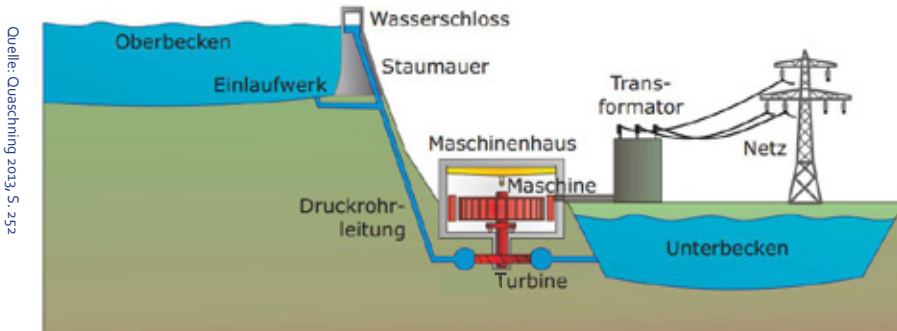




**1**

**PUMPSPEICHERKRAFTWERKE**

Pumpspeicherkraftwerke sind mechanische Speicher. Hier kann elektrische Energie dazu verwendet werden, um Wasser mit einer Turbine von einem Unterbecken in ein Oberbecken zu pumpen. Die elektrische Energie wird dabei in potentielle Energie, also in Lageenergie des hinaufgepumpten Wassers, umgewandelt und so bis zu einigen Monaten gespeichert.



Quelle: Quaschnig 2013, S. 292

Überschüssige elektrische Energie, die gespeichert werden soll, treibt den Motor der Pumpturbine an, um dadurch Wasser vom Unterbecken in das Oberbecken zu pumpen. Wird die elektrische Energie wieder benötigt, kann das Wasser wieder zum Unterbecken geleitet werden. Dabei fließt es wieder durch die Turbine, die dabei als Generator arbeitet und die Bewegungsenergie des Wassers in elektrische Energie umwandelt.

Der Wirkungsgrad von Pumpspeicherkraftwerken liegt zwischen 70 und 80 %. Außerdem besitzen sie eine hohe Speicherkapazität. Die dreistufigen Malta-Kraftwerke in Kärnten haben den größten Speicher Österreichs mit einem Stauvolumen von 200 Mio. m<sup>3</sup> und einer Speicherkapazität von rund 588 GWh. In diesem Jahresspeicher kann die Energie langfristig gespeichert und für den saisonalen Ausgleich bereitgestellt werden. Die Energiedichte von Pumpspeicherkraftwerken ist relativ gering und liegt bei ungefähr 1,5 kWh/m<sup>3</sup> für eine Höhe von 540 m. Ein weiterer Nachteil ist die unter Umständen negative Auswirkung der Kraftwerke auf das lokale Ökosystem (Fische, Pflanzen...). Aus diesem Grund stößt der Neubau von solchen Anlagen verstärkt auf Widerstand, weshalb die Potentiale zum Ausbau solcher Anlagen relativ begrenzt sind.

**2**

**AKKUMULATOREN**

Akkumulatoren oder „Akkus“ gehören zu den elektrochemischen Speichern und können direkt beim Energienutzer installiert und somit flexibel eingesetzt werden. Es gibt eine Vielzahl an verschiedenen Akkumulator-Typen. Zur Energiespeicherung in PV-Anlagen werden meistens Blei-Akkus verwendet (diese werden auch als Autobatterien verwendet). Eine weitere Alternative, die zwar teurer, wegen ihrer Eigenschaften aber besonders interessant für die Energiespeicherung ist, sind Lithium-Ionen-Akkus. Diese finden sich bereits in zahlreichen mobilen Anwendungen, wie Laptops, Smartphones oder Tablets. Auch für Elektrofahrräder oder Elektroautos werden Lithium-Ionen-Akkus verwendet, ebenso wie für „Power Tanks“, die z.B. beim Campieren für die Energieversorgung verschiedener Elektrogeräte verwendet werden.



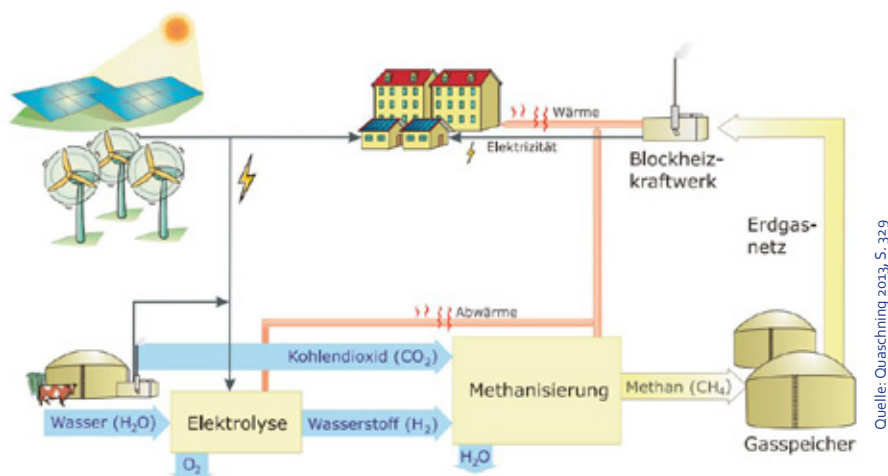


Lithium-Ionen-Akkus haben eine deutlich höhere Lebensdauer als Blei-Akkus: während Blei-Akkus zwischen 5 und 10 Jahre halten, können Lithium-Ionen-Akkus bis zu 20 Jahre lang verwendet werden. Darüber hinaus haben Lithium-Ionen-Akkus eine höhere Energiedichte (Li-Akkus: 300 kWh/m<sup>3</sup>, Blei-Akkus: 70 kWh/m<sup>3</sup>) und einen hohen Wirkungsgrad im Bereich von 90 %. Die Speicherkapazität liegt je nach Größe der Akkus zwischen 2 und 10 kWh. Bei Akkumulatoren handelt es sich um Kurzzeitspeicher, da die elektrische Energie über mehrere Stunden gespeichert werden kann, wodurch ein Haushalt im besten Fall sogar über Nacht versorgt werden kann. Eine weitere Möglichkeit besteht auch darin, bei Überproduktionszeiten das Elektroauto mit Hilfe von überschüssiger elektrischer Energie vor Ort zu laden, da dieses ebenfalls Lithium-Ionen-Akkus besitzt.

**3**

**POWER-TO-GAS TECHNOLOGIE**

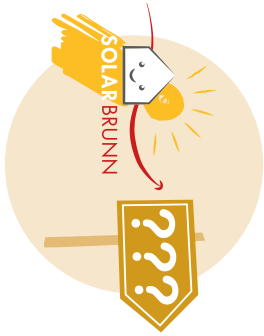
Power-to-Gas-Anlagen sind chemische Energiespeicher. Hier wird durch die Elektrolyse von Wasser Wasserstoff mit Hilfe von elektrischer Energie hergestellt. Dieser Wasserstoff wird anschließend als Brennstoff für die Elektrizitäts- und Wärmeversorgung sowie für die Mobilität verwendet. In einer Elektrolyseeinheit wird Wasser in Sauerstoff (O<sub>2</sub>) und Wasserstoff (H<sub>2</sub>) mit Hilfe von elektrischer Energie zerlegt. In geringen Mengen kann der Wasserstoff anschließend direkt ins Erdgasnetz eingespeist und in den bereits bestehenden Lagern gespeichert werden. Diese sind meistens unterirdisch, weshalb dadurch kein zusätzlicher Flächenverbrauch entsteht.



Um den hergestellten Wasserstoff besser nutzen zu können, kann aus diesem unter Verwendung von Kohlenstoff auch Methan (CH<sub>4</sub>) produziert werden. Methan ist der Hauptbestandteil von Erdgas, das wir z.B. für die Beheizung verwenden, und es besitzt eine dreimal höhere Energiedichte als Wasserstoff (H<sub>2</sub>: 400 kWh/m<sup>3</sup>, CH<sub>4</sub>: 1200 kWh/m<sup>3</sup>), weshalb es sich besser für die Energiespeicherung eignet. Als Kohlenstofflieferant kann z.B. Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) verwendet werden. Das gewonnene Methan kann ebenfalls in die Erdgasspeicher eingespeist und aufgrund der hohen Energiedichte über mehrere Monate hinweg gespeichert werden. Wird die gespeicherte Energie wieder benötigt, dann kann die innere Energie des Gases über Blockheizkraftwerke wieder in elektrische Energie umgewandelt werden. Ein Nachteil ist, dass bei der Energieumwandlung knapp 60 % der aufgewendeten Energie später nicht für die Energieversorgung verwendet werden kann.



## LEITFRAGEN GRUPPE 1



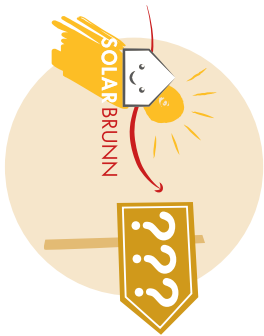
Gruppe 1 liest das Infoblatt 5A zur **Herstellung von Solarzellen**. Klärt gemeinsam die wichtigsten Aspekte des Themas, streicht wichtige Informationen an und macht euch Notizen, damit ihr euren Kolleg\_innen später erklären könnt, worum es bei eurem Thema geht.

Informiert euch bei den anderen Gruppen über die folgenden Aspekte:

- 1. BESTANDTEILE EINER PV-ANLAGE**
  - Welche Komponenten werden für verschiedene PV-Anlage benötigt?
  - Welche Funktion haben die einzelnen Komponenten?
  - Was sind Vor- und Nachteile der drei Anlagentypen?
- 2. ENERGIESPEICHERUNG**
  - Welche Möglichkeiten der Energiespeicherung stehen zur Verfügung?
  - Welche Größen werden bei der Bewertung von Energiespeichern berücksichtigt?
  - Was sind Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Alternativen?

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Oberstufe

## LEITFRAGEN GRUPPE 2



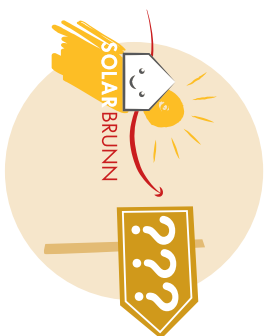
Gruppe 2 liest das Infoblatt 5B zu den **Bestandteilen einer PV-Anlage**. Klärt gemeinsam die wichtigsten Aspekte des Themas, streicht wichtige Informationen an und macht euch Notizen, damit ihr euren Kolleg\_innen später erklären könnt, worum es bei eurem Thema geht.

Informiert euch bei den anderen Gruppen über die folgenden Aspekte:

- 1. HERSTELLUNG VON SOLARZELLEN**
  - Wie werden die unterschiedlichen Solarzellentypen hergestellt?
  - Was sind Vor- und Nachteile der einzelnen Solarzellentypen?
  - Was sind Solarmodule? Wie werden diese hergestellt?
- 2. ENERGIESPEICHERUNG**
  - Welche Möglichkeiten der Energiespeicherung stehen zur Verfügung?
  - Welche Größen werden bei der Bewertung von Energiespeichern berücksichtigt?
  - Was sind Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Alternativen?

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Oberstufe

## LEITFRAGEN GRUPPE 3



Gruppe 3 liest das Infoblatt 5C zur **Energiespeicherung**. Klärt gemeinsam die wichtigsten Aspekte des Themas, streicht wichtige Informationen an und macht euch Notizen, damit ihr euren Kolleg\_innen später erklären könnt, worum es bei eurem Thema geht.

Informiert euch bei den anderen Gruppen über die folgenden Aspekte:

- 1. HERSTELLUNG VON SOLARZELLEN**
  - Wie werden die unterschiedlichen Solarzellentypen hergestellt?
  - Was sind Vor- und Nachteile der einzelnen Solarzellentypen?
  - Was sind Solarmodule? Wie werden diese hergestellt?
- 2. ENERGIESPEICHERUNG**
  - Welche Rolle spielen Energiespeicher in der Photovoltaik?
  - Welche Möglichkeiten der Energiespeicherung gibt es und mit welchen Kenngrößen werden sie bewertet?
  - Was sind Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Alternativen?

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Oberstufe





**Eure Gemeinde will eine Schule mit einer PV-Anlage ausstatten. Dafür schreibt sie einen Jugend-Wettbewerb aus: Kluge Köpfe sind gefragt!**

Pro Schule darf eine Schüler\_innengruppe einen Plan für eine PV-Anlage einreichen. In der Beschreibung der geplanten Anlage müssen alle grundlegenden Aspekte, die bei einem solchen Projekt berücksichtigt werden müssen, dargestellt werden. Unter den Bewerbungen wird jene Planung ausgewählt, die den Aspekt von Nachhaltigkeit\* am besten erfüllt. Die Schule, die gewinnt wird mit einer PV-Anlage ausgestattet. Eine Schüler\_innengruppe der Schule darf im Planungsprozess mitwirken. Der Gewinner erhält die eigene, selbstgeplante Photovoltaik-Anlage auf das Schuldach und die Schüler\_innen der Siegergruppe dürfen im Planungsprozess mitwirken!

Ihr möchtet an diesem Wettbewerb teilnehmen und müsst euch dafür schriftlich mit einer Beschreibung der geplanten Anlage bewerben: Diese Beschreibung muss erklären, warum gerade an eurer Schule eine PV-Anlage installiert werden soll. Folgende Leitfragen helfen euch bei der Planung. Ihr könnt zur Ausarbeitung der Leitfragen auch im Internet recherchieren.

**1**

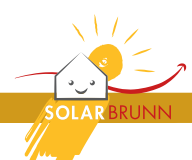
### **WER MUSS VON DER TEILNAHME WISSEN? WER SOLLTE ZUM PLANUNGSTEAM DES PROJEKTS GEHÖREN?**

Ihr müsst euch zuerst überlegen, wen ihr im Team für die Planung der PV-Anlage dabeihaben wollt. Überlegt euch dabei folgendes:

- 1 Welche Personen(gruppen) müssen vom Projekt wissen/ihre Zustimmung erklären?
- 2 Wer hat Interesse am Umgestaltungsprozess?
- 3 Wen betrifft die Umgestaltung direkt / wen indirekt?
- 4 Mit wem müsst ihr zusammenarbeiten, damit das Vorhaben gelingen kann?
- 5 Wer kann noch zum Gelingen beitragen?

Idealerweise macht ihr dazu eine sogenannte Projekt-Umweltanalyse: Ihr schreibt dazu die Namen aller wichtigen Personen auf Post-its und ordnet sie auf einem großen Bogen Papier rund um das Projekt als Zentrum an. Je nach Bedeutung können sie näher oder weiter weg sein, je nach Wichtigkeit größer oder kleiner. Verbindungslinien und kurze Anmerkungen können die Bedeutung der einzelnen Personen klären.

\* Könnt ihr euch noch an die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit erinnern? Ihr habt den Begriff schon in einer der ersten Stunden kennengelernt, als ihr über nachhaltige Bereitstellung von Energie und die Vorteile von Photovoltaik gesprochen habt.





## 2 FÜR DIE BEWERBUNG

Überlegt euch vor der konkreten Planung, welche Informationen für das Projekt notwendig sind, wie ihr dessen Nachhaltigkeit begründen könnt.

- 1 Welche Informationen benötigt ihr, um die ungefähre Größe der Anlage abschätzen zu können?
- 2 Unter welchen Bedingungen liefert die Anlage die größtmögliche elektrische Leistung? Wie können diese Bedingungen erfüllt werden?
- 3 Welche Bedingungen müssen für das Schulgebäude gegeben sein?
- 4 Was muss in Bezug auf die PV-Anlage geklärt werden?
- 5 Gibt es rechtliche Rahmenbedingungen (z.B. Gesetze), die beachtet werden müssen?
- 6 Welche Informationen bekommt ihr von der Schule / vom Netzbetreiber / etc.?
- 7 Gibt es gesetzliche Förderungen, die ihr in Anspruch nehmen könnt?

## 3 OPTIONAL: GROBPLANUNG DES PROJEKTS

Stellt eine Grobplanung der einzelnen Schritte für das ca. 6 Monate dauernde Projekt zusammen: Überlegt euch, welche Schritte notwendig sind, wie viel Zeit ihr für welchen der Schritte benötigt und wer in die einzelnen Schritte miteinbezogen werden muss.

- 1 Welche Aufgaben ergeben sich?
- 2 Welche Personen werden welche Aufgaben übernehmen?
- 3 Welche Probleme könnten auftauchen? Wie kann damit umgegangen werden?

