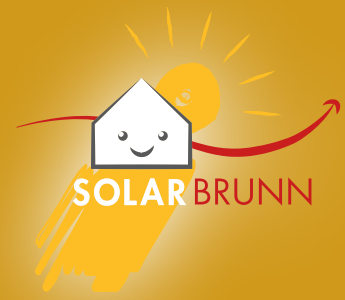


SOLARbrunn: mit der Sonne in die Zukunft!



„Eine sonnige Zukunft?“

*Lernumgebung
Oberstufe*



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



REDAKTION

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

AUTORINNEN UND AUTOREN

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

LEKTORAT

Mag.^a Roswitha Avalos Ortiz (Universität Wien)
Dr.ⁱⁿ Anna Streissler (Umweltdachverband)

LAYOUT

Irmgard Stelzer

COVER FOTOS

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.



Sehr geehrte Kollegin! Sehr geehrter Kollege!

Die Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ wurde für den Physik-Unterricht der *Unterstufe* im Kontext von *Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE)* konzipiert. BNE soll die Lernenden befähigen, zu einer gesellschaftlichen Entwicklung beizutragen, welche die Lebensqualität der gegenwärtigen Generation sichert, ohne künftigen Generationen die Möglichkeiten zur Gestaltung ihrer Zukunft zu nehmen¹. Im Zentrum von BNE steht eine globale Entwicklung, in der Ökologie, Ökonomie sowie soziale und politische Bedingungen gleichermaßen berücksichtigt werden. Für eine angemessene Auseinandersetzung mit *Nachhaltiger Entwicklung* sind integrative, problemzentrierte und forschende Arten des Lernens wichtig.



Abb.1: Nachhaltigkeit 3-Säulenmodell

Forschendes Lernen (Inquiry based learning) ist somit ein weiterer wesentlicher Aspekt der vorliegenden Lernumgebung: „In einem forschend angelegten Physikunterricht planen Lernende eigenständig forschungsähnlich angelegte Untersuchungen, führen sie durch und werten sie aus, um empirisch begründete Aussagen zu physikalischen Sachverhalten zu treffen“ (Abrams et al. 2008 übersetzt von Henke 2016, S.126 ff.). Im Vordergrund steht in dieser Lernumgebung der Aufbau fachmethodischer Fähigkeiten und angemessener Vorstellungen zur „Natur der Naturwissenschaften“ – NdN (= *Nature of Science – NOS*).

Der Aufbau der Lerneinheiten orientiert sich dabei an einer gemäßigt sozialkonstruktivistischen Vorstellung vom Lehren und Lernen. Das heißt, es wird davon ausgegangen, dass Lernen ein individueller, aktiver und selbstgesteuerter Prozess ist: Die Lernenden interpretieren neue Wissensinhalte und Erfahrungen auf Basis ihres Vorwissens und ihrer Vorerfahrungen. In der (angeleiteten) Diskussion mit anderen – den Mitschüler_innen und der Lehrkraft – werden dabei Wissen und Fertigkeiten weiterentwickelt.

Konkret sind die einzelnen Einheiten nach dem 5E-Modell² strukturiert.

ENGAGE (Einstieg): Die Lernenden entwickeln ausgehend von einem konkreten Problem Fragestellungen. (Unter Umständen ist diese Phase mit einer Wiederholung wichtiger Messgrößen oder theoretischer Inhalte verknüpft – ELICIT.)

EXPLORE (Vorbereitung): Die Lernenden stellen (unter moderater Anleitung) Vermutungen an, erarbeiten Beobachtungsgrößen und entwickeln dazu eigenständig geeignete Datenerfassungsprozeduren.

EXPLAIN (Experiment): Die Lernenden führen in Forschungsgruppen weitestgehend eigenverantwortlich ihre geplanten Untersuchungsreihen durch und dokumentieren sie.

ELABORATE (Nachbereitung): Die Lernenden präsentieren das gewählte Vorgehen und die Resultate und bewerten die Güte ihrer Evidenz („wissenschaftliche Evidenz“). Sie erarbeiten die Antwort zur Forschungsfrage im Plenum.

EVALUATE (Reflexion) Die Lernenden hinterfragen in einem offen-kritischen Rückblick die „Wissenschaftlichkeit“ ihres Experiments (explizites Adressieren von NdN (Henke 2016, S.132)). Ergänzend kann die Diskussion der Ergebnisse weitere Gesichtspunkte einbeziehen, z.B. Nachhaltigkeit.

¹ Umfassende Informationen zu BNE finden Sie unter: <https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/ba/bine.html>

² <https://bscs.org/bscs-5e-instructional-model>

EXTEND: Weiterbearbeitung der Ergebnisse aus anderen Gesichtspunkten.

Die Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ umfasst mehrere Einheiten. Die Materialien zu dieser Lernumgebung bestehen aus zwei Teilen. Im ersten Teil wird die didaktische Konzeption ausführlich beschrieben, der zweite Teil beinhaltet die Materialien für die Schüler_innen zum Ausdrucken und zum Austeilen.

Titel der Lerneinheit	Dauer (Schulstunden)	Inhalte
1. Elektrische Energie – unentbehrlich im Alltag	1	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Elektrische Energie und Leistung ✓ Bildung für nachhaltige Entwicklung
2. Warum überhaupt Photovoltaik?	1	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bildung für nachhaltige Entwicklung ✓ Photovoltaik: Funktion und Vorzüge
3. Der optimale Betrieb von Solarzellen	3	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle ✓ Nature of Science: naturwissenschaftliches Experimentieren und Forschen ✓ Datenbasierte Optimierung
4. Solarmodule, PV-Anlagen und Energiespeicherung	2	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Herstellung von Solarzellen ✓ Bestandteile von Photovoltaik-Anlagen ✓ Energiespeicherung ✓ Energieautarkie
5. Planung einer PV-Anlage für die eigene Schule	1	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bildung für nachhaltige Entwicklung ✓ Planung und Umsetzung einer PV-Anlage ✓ Nature of Science
Gesamtpaket „Eine sonnige Zukunft?“	8	

Zu Beginn jeder Lerneinheit finden Sie:

- einen Überblick über
 - das Thema
 - die Lernziele
 - die Inhalte und
 - die benötigte Zeit
- Informationen
 - zu zentralen Ideen und Lernendenvorstellungen
 - zu den verwendeten Materialien inklusive auszudruckender Beilagen aus dieser Datei
 - zur didaktischen Umsetzung,
- eine Liste der Arbeitsmaterialien zum Ausdrucken und Austeilen für die Schülerinnen und Schüler
 - [Infoblätter](#)
 - [Arbeitsblätter](#)

- **Hilfekarten**, um dem unterschiedlich ausgeprägten Wissen und Können in der Klasse gerecht zu werden. *Die Hilfekarten müssen so zusammengeklebt werden (oder auf eine Karteikarte aufgeklebt werden), dass sich die Antwort zu Hinweis 1 auf der Rückseite von Hinweis 2 befindet, etc. Die Hilfekarten sollten z.B. am Tisch der Lehrkraft aufliegen. Die Lernenden dürfen jeweils nur eine Karte nehmen. Erst wenn sie eine Hinweiskarte zurückgegeben haben, können sie die nächste holen.*
- Hinweise zu **Methoden** (Die entsprechenden Anleitungen für die Methoden finden Sie in der Datei **Methodenblätter für Lehrkräfte**.)

Sie finden die Arbeitsmaterialien im Anschluss an die Beschreibungen der einzelnen Lerneinheiten.

- Am Ende der einzelnen Lerneinheit finden Sie Angaben zu weiterführenden Themen und Informationen.

Viel Freude beim Verwenden der Unterrichtsmaterialien wünscht das SOLARbrunn-Team!

Literatur:

Abrams, Eleanor D./Southerland, Sherry A. & Evans, Celia A. (2008). Inquiry in the classroom: identifying necessary components for a definition. In Eleanor D. Abrams, Sherry A. Southerland & Peggy C. Silva (Eds.), *Inquiry in the classroom: realities and opportunities* (pp. xi-xiii). Charlotte: Information Age Publishing.

Henke, Andreas (2016). Lernen über die Natur der Naturwissenschaften – Forschender und historisch orientierter Physikunterricht im Vergleich. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*(22), 123-145. doi: 10.1007/s40573-016-0046-z

Eine sonnige Zukunft?

1. Elektrische Energie – unentbehrlich im Alltag

Welche Bedeutung hat elektrische Energie in unserem Alltag?
 Wie kann elektrische Energie bereitgestellt werden?
 Was versteht man unter nachhaltiger Energieversorgung?

Elektrizität ist in unserem Alltag einfach nicht mehr wegzudenken, erleichtert sie doch unser Leben in einer Vielzahl an Bereichen. Um diesen Lebensstandard noch für eine sehr lange Zeit garantieren zu können, bedarf es jedoch einer nachhaltigen Energieversorgung.

Im Zuge dieser Einheit wird zunächst nach der eigenen Nutzung von elektrischer Energie gefragt und die benötigte Energie für das Aufladen eines Smartphones ermittelt. Unterschiedliche Alternativen zur Energiebereitstellung und deren Eignung für den persönlichen Gebrauch werden thematisiert und die Möglichkeit einer nachhaltigen Energieversorgung diskutiert.



Quelle: www.volker-quaschnig.de

Zeit

1 Stunde

Inhalte

- ✓ Elektrische Energie und Leistung
- ✓ Bildung für nachhaltige Entwicklung

Lernziele

- ✓ Die Schüler_innen können die Allgegenwärtigkeit und Unentbehrlichkeit der Nutzung elektrischer Energie erkennen, um im Hinblick auf den eigenen Umgang mit Ressourcen und Energieverantwortungsbewusst handeln zu können. (S2)
- ✓ Die Schüler_innen können das Konzept der Nachhaltigkeit beschreiben und die Bedeutung der drei Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Soziales für die Nachhaltigkeit unterschiedlicher Alternativen der Energiebereitstellung erfassen und beschreiben. (W1, W4)

Information für Lehrkräfte

1. Zentrale Ideen

- Elektrische Energie ist in unserem Alltag unentbehrlich und stellt in allen Bereichen unseres Lebens eine wichtige Dienstleistung dar.
- Energie kann nicht erzeugt oder verbraucht, sondern lediglich in andere Energieformen umgewandelt werden (Energieerhaltung).
- (Elektrische) Energie kann aus unterschiedlichen Ressourcen gewonnen werden. Dabei unterscheidet man zwischen erneuerbaren Rohstoffen, die in menschlichen Zeiträumen unerschöpflich sind, und nicht erneuerbaren Rohstoffen, die uns nur in begrenzten Mengen zur Verfügung stehen.
- Bei nachhaltiger Bereitstellung und Verwendung von Energiedienstleistungen sind nach dem „Drei-Säulen-Modell“ *ökologische, ökonomische und soziale Aspekte* bei Entscheidungen gleichermaßen zu berücksichtigen.

2. Lernendenvorstellungen

- Der Einsatz von elektrischer Energie wird oftmals nur im Kontext des eigenen Haushalts reflektiert, aber auch hier werden „unscheinbare“ Energiedienstleistungen wie z.B. Steuerungseinheiten für Heizung oder Warmwasserversorgung übersehen.
- Energie ist eine Art "Treibstoff", der aus verschiedenen Quellen gewonnen werden kann, wobei der Verbleib nach dem Gebrauch nicht berücksichtigt wird.
- Nachhaltigkeit wird hauptsächlich mit ökologischen sowie ökonomischen Faktoren identifiziert, das Zusammenwirken dieser Komponenten mit der sozialen Ebene wird oftmals vernachlässigt.
- Eine einzelne Person kann im Hinblick auf nachhaltige Entwicklung nur sehr wenig ausrichten, wenn die „anderen“ in der Gesellschaft keinen Wert auf Nachhaltigkeit legen.
- Die Ziele einer nachhaltigen Energieversorgung werden zwar als theoretisch vollkommen notwendig angesehen, doch in der realen Welt, in der Bequemlichkeit und Lebensqualität an erster Stelle stehen, als unpraktisch eingestuft.
- Konsum, Wirtschaftswachstum und Globalisierung werden als selbstverständliche und notwendige Aspekte des modernen Alltags angesehen.

3. Verwendete Materialien

- PPT-Datei *Photovoltaik*
- Verschiedenfarbige Kärtchen
- Ausgedruckte Materialien für Schüler_innen:
 - **Arbeitsblatt 1:** *Wie viel Energie braucht ein Smartphone?*
- **Methodenblatt:** „Think! – Pair! – Share!“ (siehe separate Datei)

Didaktische Umsetzung

Als Einstieg wird den Schüler_innen die eigene Nutzung elektrischer Energie sowie deren Unverzichtbarkeit im Alltag bewusstgemacht. Auf Basis dessen soll ein Gefühl für die Energiemenge „1 kWh“ sowie den Energiebedarf einer Smartphone-Akkuladung entwickelt werden. Anschließend werden unterschiedliche Möglichkeiten der Energiebereitstellung sowie die Frage der nachhaltigen Energieversorgung diskutiert.

Zeit	Phase	Aktivität der Lehrperson	Aktivität der Schüler_innen
Elektrizität als unentbehrlicher Bestandteil des Alltags			
10 min	Engage	<p>Frage: In welchen Situationen habt ihr gestern elektrische Energie verwendet?</p> <p>Die Lehrperson fordert die Schüler_innen dazu auf, sich den Verlauf des vorigen Tages vorzustellen und sich zu notieren, wofür sie dabei elektrische Energie benötigt haben.</p> <p>Methodische Gestaltung¹: Die Lehrperson teilt für jede Person jeweils zwei Kärtchen (rot und grün) aus. Nun werden mit Hilfe der PPT verschiedene Aussagen zur Energienutzung im Alltag eingeblendet. Die Lehrperson kann dabei bei einzelnen Schüler_innen nach dem Hintergrund ihrer Antwort fragen und sollte vor allem ein Bewusstsein für die Allgegenwärtigkeit und Notwendigkeit elektrischer Energie schaffen (siehe dazu zusätzliche Informationen für Lehrkräfte).</p> <p>Medien: rote und grüne Kärtchen (A7)</p>	<p>Jede/r Schüler_in macht sich individuell Notizen dazu, in welchen Situationen er/sie am vorigen Tag elektrische Energie benötigt hat.</p> <p>Jede/r Schüler_in erhält zwei Kärtchen. Durch Hochhalten des passenden Kärtchens (rot für nein / grün für ja) reagieren die Schüler_innen auf verschiedene Aussagen zum Thema Elektrizität im Alltag und elektrische Energiedienstleistungen. Gegebenenfalls können sie ihre Antwort begründen oder zusätzlich erläutern.</p>
5 min	Explore	<p>Schlussendlich werden auf der Energierechnung die Dienstleitungen, für die wir elektrische Energie verwendet haben in kWh abgerechnet.</p> <p>Fragen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Welche Dienste kann 1 kWh elektrische Energie leisten? 2. Kann man damit auch ein Smartphone laden? Wenn ja, wie oft? 	

¹ Weitere Beschreibungen zur methodischen Gestaltung sind von nun an immer in grauer Farbe unterlegt.

		<p>Die Schüler_innen verwenden erneut die roten und grünen Kärtchen, um über die Energiedienste, die 1 kWh leisten kann, abzustimmen.</p> <p>3. <i>Von welchen Gerätedaten hängt die Energie ab, die für die Dienstleistung aufgewendet werden muss?</i></p> <p>Anhand der Leistungsschilder wird geklärt, welche Größe maßgeblich für die aufgewandte Energie ist.</p>	<p>Die Schüler_innen bearbeiten die gestellten Fragen zunächst individuell. Dann stimmen sie mit Hilfe der roten und grünen Kärtchen ab.</p> <p>Überarbeitungsphase: Die Schüler_innen überdenken die dritte Fragestellung und können aufgrund ihres Vorwissens die Frage begründet beantworten.</p>
15-20 min	Explore	<p>Frage: <i>Welche Möglichkeiten gibt es, um mein Smartphone zu laden?</i></p> <p>Die Lehrperson teilt das Arbeitsblatt 1 „<i>Wie viel Energie braucht das Aufladen eines Smartphones?</i>“ aus.</p> <p>Besprechung der Ergebnisse im Plenum und Ideensammlung zu den Alternativen der Energiebereitstellung an der Tafel (siehe Lösungsvorschlag).</p> <p>Tipp: <i>Steht ein Handgenerator zur Verfügung, kann dieser verwendet werden, um den Schüler_innen die Gelegenheit zu geben, die für eine Smartphone-Ladung benötigte Energie am eigenen Körper zu erfahren (vgl. zusätzliche Informationen für Lehrkräfte).</i></p>	<p>Die Schüler_innen bearbeiten das Arbeitsblatt 1 individuell und besprechen zu zweit ihre Ergebnisse.</p> <p>Die Schüler_innen präsentieren im Plenum mögliche Alternativen der Energiebereitstellung, die im Zuge des Arbeitsblatts notiert wurden.</p> <p>Wenn möglich: <i>Die Schüler_innen probieren selbst aus, wie anstrengend es wäre, die benötigte elektrische Energie durch Umwandlung aus Bewegungsenergie bereitzustellen.</i></p>
15-20 min	Explain Elaborate	<p>Input: <i>Im Zuge der Energiewende möchte man zunehmend die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern verringern und auf erneuerbare Energieträger umsteigen.</i></p> <p>Frage: <i>Was sind erneuerbare Energien? Was versteht man unter nachhaltiger Energieversorgung? Was versteht man allgemein unter Nachhaltigkeit?</i></p> <p>Methode: <i>Think-Pair-Share</i> (vgl. Methodenblatt dazu)</p> <p>Die Definitionen der Schüler_innen werden im Plenum gesammelt und anschließend mit dem Drei-Säulen-Modell (aus PPT-Präsentation) vergli-</p>	<p>• Die Schüler_innen versuchen ausgehend von der Erklärung nachhaltiger Energieversorgung den Begriff „Nachhaltigkeit“ allgemein zu defi-</p>

„EINE SONNIGE ZUKUNFT?“

	<p>chen. Dabei sollte auf die einzelnen Dimensionen kurz gemeinsam in Bezug auf ihre Relevanz für nachhaltige Energieversorgung eingegangen werden.</p>	<p>nieren. Die Schüler_innen teilen ihre Definitionen im Plenum.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Besprechung: Gemeinsamkeiten und Unterschiede zum 3-Säulen-Modell • Überlegen möglicher Beispiele zu den 3 Säulen • Ausarbeiten: Bezug zwischen den 3 Säulen der Nachhaltigkeit und Energieversorgung
--	---	--

Beilagen

- Zusätzliche Informationen für Lehrkräfte
- Lösungsvorschlag: *Wie viel Energie braucht ein Smartphone?*

Weiterführende Themen

- Elektrische Energie und Leistung
- Energiewende, nachhaltige Energieversorgung

Weiterführende Informationen

- <https://www.bmwf.gv.at/EnergieUndBergbau/Energiebericht/Documents/Energies-tatus%202016.pdf>
- <https://www.volker-quaschnig.de/>
- <http://www.3sat.de/page/?source=/sfdrs/193580/index.html>

Beilage 1**Zusätzliche Informationen für Lehrkräfte****Bedeutung der elektrischen Energie im Alltag:**

Den Schüler_innen soll hier nicht nur die eigene Nutzung von elektrischer Energie bewusstmacht werden, sondern es soll auch die Allgegenwärtigkeit der elektrischen Energie im Alltag betont werden. Oft ist elektrische Energie für die Steuerung von Geräten nötig, auch wenn z.B. die Bereitstellung von Warmwasser auf anderen Energieformen basiert. Außerdem denken die Lernenden meist nur im Rahmen der eigenen vier Wände, die Nutzung elektrischer Energie im Gesundheitswesen, im Transportbereich, usw. wird nicht bedacht. In der 3sat Mediathek finden Sie dazu die Sendung „**Blackout**“, die zeigt, was passieren würde, wenn in Europa die Stromversorgung für mehrere Tage ausfallen würde (<http://www.3sat.de/page/?source=/sfdrs/193580/index.html>).

Smartphone laden durch Umwandlung von Bewegungsenergie in elektrische Energie

Im Alltag kommt elektrische Energie das Aufladen eines Smartphones für Schüler_innen einfach „aus der Steckdose“, auch wenn im Hintergrund die Nutzung unterschiedlicher Primärenergieträger, wie z.B. Solarenergie, fossile Brennstoffe u.v.m. steht.

Für den Fall der einsamen Urlaubshütte kann das Smartphone nicht einfach über die Steckdose geladen werden. Für die mobile Versorgung mit elektrischer Energie stehen neben Energiespeichern (Powerbanks), die aufgeladen mitgenommen werden, werden auch Powerbanks zur Verfügung, die Solar-, Wind- oder Bewegungsenergie in elektrische Energie umwandeln und bereits mit USB-Anschluss und Ladestrombegrenzung für das Laden von Smartphones o.ä. optimiert sind.

Praktisches Arbeiten mit elektrischer Energie:

Mit Hilfe eines Handgenerators können Schüler_innen die für die Ladung eines Smartphones benötigte Energie (0,01 kWh) am eigenen Körper zu erfahren - dafür stellen einerseits Lehrmittelfirmen passende Geräte zur Verfügung, es gibt aber auch im Elektronikversand die bereits oben erwähnten Dynamo-Powerbanks. Die Bereitstellung von 0,01 kWh kann simuliert werden, indem Glühbirnen mit dem Handgenerator zum Leuchten gebracht werden, z.B. 24 Minuten lang eine 25W-Glühbirne leuchten lassen. Es geht bei dieser Aktivität vor allem darum, den Schüler_innen bewusst zu machen, wie schnell man beim Kurbeln ermüdet und wie mühsam es daher wäre, das Smartphone ohne alltägliche Energiedienstleistungen laden zu müssen! Die benötigte Energie entspricht knapp 40 kJ an mechanischer Arbeit. Das entspricht etwa

- 10-mal ein Gewicht von 20 kg zwei Meter hochheben
- 2-3 Minuten Brustschwimmen (Annahme: 50 kg Körpergewicht)
- 10 Minuten Spazieren gehen (Annahme: 50 kg Körpergewicht)

Für das Experimentieren bieten sich z.B. folgende Modelle an:

- Conatex Handgenerator (Best.-Nr. 112035):
https://www.conatex.com/media/manuals/BADE/BADE_1132035.pdf
- Conatex Handgetriebener Generator Dynamot:
https://www.conatex.com/catalog/physik_lehrmittel/elektrik/motoren_generatoren/product-handgetriebener_generator_dynamot/sku-M2776

Alternativ kann auch bereits ein preiswertes Dynamo-Ladegerät verwendet werden:

- revolt Universal-Dynamo-Ladegerät für Handy & USB-Geräte (<https://www.pearl.at/a-NC5026-1420.shtml>)

oder auch die sogenannten Dynamo-Powerbanks im einschlägigen Versandhandel

- z.B.: Eton BoostTurbine 1000mAh tragbare Backup-Akku-Ladegerät für Smart Phones.

Verschiedene Ladereglermodelle für das Fahrrad und ihre Kenndaten:

https://www.cinq5.de/fileadmin/media/pdf/deutsch/presseberichte/the_plug/ThePlugII_Bike_Travel_0216.pdf

Verschiedene Ladereglermodelle für das Fahrrad und ihre Kenndaten:

https://www.cinq5.de/fileadmin/media/pdf/deutsch/presseberichte/the_plug/ThePlugII_Bike_Travel_0216.pdf

Beilage 2

Lösungsvorschlag: Wie viel Energie braucht ein Smartphone?

➤ *Frage 1:*

Lösung: Es werden 36 kJ benötigt, um dieses Smartphone zu laden.

Rechenweg: Ein Joule entspricht einer Wattsekunde (Ws). 10 Wh ergeben 36000 Ws, also 36000 J. Das entspricht einem Arbeitsaufwand von rund 36 kJ.

➤ *Frage 2:*

Lösungsvorschlag: Beispiele für Aktivitäten, bei denen rund 40 kJ an mechanischer Arbeit verrichtet werden (angenommenes Körpergewicht: 50 kg):

- 10 Minuten Spazieren
- 2 - 3 Minuten Brustschwimmen
- 10-mal ein Gewicht von 20 kg zwei Meter hochheben

➤ *Frage 3:*

Lösungsvorschlag: elektrische Energie kann z.B. mit Hilfe der folgenden Energieträger bereitgestellt werden:

Solarenergie (Photovoltaik, Wasserkraft, Windenergie), Biomasse, fossile Brennstoffe (Erdöl, Kohle, Erdgas), brennbare Abfälle, Kernenergie, Geothermie (Erdwärme), Gezeiten, Wasserstoff

➤ *Frage 4:*

Lösungsvorschlag:

Ganz einfach selbst zur mobilen elektrischen Energieversorgung verwendet werden können z.B. Solarenergie und Windkraft, da es bereits spezielle Ladegeräte gibt, die mit Solarzellen oder kleinen Windrädern funktionieren. Beides hat Vor- und Nachteile: Windräder funktionieren nur bei Wind, dafür aber auch bei Nacht; Solarzellen laufen den ganzen Tag, auch bei bewölktem Himmel und wenn kein Wind geht, dafür aber nicht bei Nacht..

Wird das Smartphone an der Steckdose geladen, kann die elektrische Energie aus den folgenden Energieträgern stammen, die in Österreich verwendet werden: Solarenergie, fossile Brennstoffe (Erdöl, Kohle, Erdgas), Kernenergie, Biomasse, Wasserkraft, Geothermie (Erdwärme), brennbare Abfälle, Windenergie, Wasserstoff

Eine sonnige Zukunft?

2. Welche Bedeutung hat die Photovoltaik für die Bereitstellung von Energiedienstleistungen?

Wie funktioniert eine Solarzelle?

Worin liegt das Potential der Photovoltaik im Zusammenhang mit der Energiewende und nachhaltiger Energieversorgung?

Gemeinsam mit anderen erneuerbaren Energieträgern bildet die Photovoltaik den Grundstein für erneuerbare Energieversorgung. Durch die Umwandlung von Solarenergie in elektrische Energie liefern PV-Anlagen umweltschonend Strom und helfen dabei, unsere Abhängigkeit von fossilen Brennstoffe zu reduzieren.

Im Zuge dieser Einheit wird zunächst die Funktionsweise einer Solarzelle behandelt, um nachzuvollziehen, wie damit ein Smartphone aufgeladen werden kann. Anschließend wird nach den Vorzügen der Photovoltaik gefragt, und wie Photovoltaik einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung liefern kann.



Quelle: www.volker-quaschnig.de

Zeit

1 Stunde

Inhalte

- ✓ Bildung für nachhaltige Entwicklung
- ✓ Photovoltaik: Funktion und Vorzüge

Lernziele

- ✓ Die Schüler_innen können die Funktionsweise einer Solarzelle und den Ablauf der Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie in verschiedenen Formen darstellen, erläutern und adressatengerecht kommunizieren. (W₃)
- ✓ Die Schüler_innen können die Bedeutung sowie die Chancen der Photovoltaik für sich persönlich, für die Gesellschaft und global erkennen. (S₂)
- ✓ Die Schüler_innen können die Stärken von Photovoltaik beschreiben und dabei fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren und naturwissenschaftliche von nichtnaturwissenschaftlichen Argumentationen und Fragestellungen unterscheiden. (S₄)

Information für Lehrkräfte

1. Zentrale Ideen

- Die Strahlungsenergie der Sonne kann mit Hilfe von Photovoltaik-Anlagen in elektrische Energie umgewandelt werden.
- Das Funktionsprinzip der Solarzelle beruht zum einen auf dem Photoeffekt, bei dem Elektronen durch eintreffende Photonen aus ihren Bindungen gelöst werden und Isolatoren dadurch zu Leitern werden, und zum anderen auf dem photovoltaischen Effekt, bei dem ein elektrisches Feld diese freien Elektronen beschleunigt, um sie für die elektrische Energieversorgung nutzbar zu machen.
- Photovoltaik-Anlagen besitzen gegenüber anderer Kraftwerkstypen einige Vorteile in ökologischer, ökonomischer und sozialer Hinsicht. Beispiele dafür sind die Zuverlässigkeit des Energieertrags, ihre Robustheit, Schadstofffreiheit im Betrieb, ihre Sicherheit, Flexibilität und einfache Wartung, keine Belästigung durch Lärm, Geruch etc., sowie die Möglichkeit der Energieautarkie.
- Technische Möglichkeiten alleine reichen für eine nachhaltige Entwicklung nicht aus. Vielmehr geht es darum, dass auch individuelle Nutzungsgewohnheiten und Handlungsmuster angepasst/verändert werden.

2. Lernendenvorstellungen

- Energie ist eine Art "Treibstoff", der aus verschiedenen Quellen gewonnen werden kann, wobei der Verbleib nach dem Gebrauch nicht berücksichtigt wird.
- Die Teilchenvorstellung des Lichts bereitet oftmals Verständnisschwierigkeiten.
- Die Schüler_innen glauben, dass in Solaranlagen Wärme produziert wird, wodurch anschließend wiederum Strom gewonnen wird.¹
- Sonnenenergie wird in der Solarzelle gespeichert.
- In der Solarzelle befinden sich Kabel oder Computer-Chips, die aus Licht Strom machen.
- Eine einzelne Person kann im Hinblick auf nachhaltige Entwicklung nur sehr wenig ausrichten, wenn die „anderen“ in der Gesellschaft keinen Wert auf Nachhaltigkeit legen.
- Die Ziele einer nachhaltigen Energieversorgung werden zwar als theoretisch vollkommen notwendig angesehen, doch in der realen Welt, in der Bequemlichkeit und Lebensqualität an erster Stelle stehen, als unpraktisch eingestuft.
- Eine Veränderung der Haltung bezüglich nachhaltiger Entwicklung wird als wirkungslos im Gegensatz zu technischen Lösungen angesehen. Letztere stellen in den Augen der Schüler_innen die *einzigsten* tatsächlichen Maßnahmen zur nachhaltigen Entwicklung dar, wobei die Reflexion und Veränderung persönliche Handlungsmuster oftmals vernachlässigt wird.
- Photovoltaik-Anlagen lohnen sich nicht, da ihre Amortisationszeit im Hinblick auf das investierte Kapital viel zu hoch ist.
- Photovoltaik ist ineffizient im Gegensatz zu anderen Kraftwerkstypen.
- Die Sonne in Österreich reicht nicht, um damit eine PV-Anlage zu betreiben.
- Solarstrom ist zu teuer.

¹ Das ist jedoch nicht unbedingt falsch, siehe dazu z.B. das Sonnenwärmekraftwerk Ouarzazate in Marokko.

3. Verwendete Materialien

- PPT-Datei *Photovoltaik*
- Kärtchen und Magnete
- Ausgedruckte Materialien für Schüler_innen:
 - **Infoblatt 1:** *Elektrische Energie aus Licht – Wie funktioniert eine Solarzelle?*
 - **Arbeitsblatt 2:** *Die Umwandlung von Licht in elektrische Energie*
 - **Infoblatt 2:** *Warum eigentlich Photovoltaik?!*

Didaktische Umsetzung

In dieser Einheit erfolgt zunächst eine Einleitung in die Funktionsweise einer Solarzelle gegeben und die Frage, wie man damit das Smartphone laden kann, geklärt. Anschließend werden die Vorteile der Photovoltaik, auch im Vergleich zu anderen Kraftwerkstypen, gesammelt und nach den drei Säulen der Nachhaltigkeit geordnet.

Zeit	Phase	Aktivität der Lehrperson	Aktivität der Schüler_innen
Warum überhaupt Photovoltaik?!			
5 min	Engage	<p>Frage: <i>Wie kann ich mein Smartphone mit Hilfe von Photovoltaik aufladen?</i></p> <p>Methode: Think-Pair-Share (vgl. Methodenblatt dazu)</p> <p>Ideensammlung im Plenum (Überblick über Vorwissen sowie mögliche Alltagsvorstellungen)</p>	<p>Schüler_innen: Aktivierung von Vorwissen zur Bereitstellung von elektrischer Energie mit Hilfe von Photovoltaik</p> <p>Präsentation im Plenum.</p>
10 min	Explore	<p>Frage: <i>Was passiert in einer Solarzelle eigentlich? Wie wird Sonnenlicht in elektrische Energie umgewandelt?</i></p> <p>Die Lehrperson teilt das Infoblatt 1 „Elektrische Energie aus Licht“ aus und erteilt den Arbeitsauftrag, das Infoblatt zu lesen.</p> <p>Austeilen des Arbeitsblatts 2 „Die Umwandlung von Licht in elektrische Energie“</p> <p>Methode: Filmleiste¹</p>	<p>Individuelles Lesen des Infoblatts 1</p> <p>Die Schüler_innen bearbeiten das Arbeitsblatt 2 zu zweit und rekonstruieren dabei den Vorgang der Energieumwandlung grafisch und schriftlich mit Hilfe der Filmleiste und den ergänzenden Texten.</p>

¹ Die Idee der „Filmleiste“ ist an das gleichnamige Methodenwerkzeug von Josef Leisen angelehnt. Weitere Informationen dazu finden Sie unter <http://www.studienseminar-koblenz.de/medien/methodenwerkzeuge/8%20Filmleiste.pdf>

<p>5-10 min</p>	<p>Explain</p>	<p>Frage: Wie funktioniert eine Solarzelle?</p> <p>Die Lehrperson erstellt einen eigenen Filmstreifen an der Tafel analog zum Arbeitsblatt 2. Dieser wird mit Hilfe der Schüler_inneninputs vervollständigt (vgl. Lösungsvorschlag).</p>	<p>Die Schüler_innen teilen ihre einzelnen Abbildungen sowie die Beschreibungen im Plenum, damit gemeinsam ein Filmstreifen auf Basis ihrer Ausarbeitungen erstellt werden kann. Dieser wird ins Heft / in ihre Notizen übernommen.</p>
<p>15-20 min</p>	<p>Elaborate</p>	<p>Frage: Was sind Stärken der Photovoltaik?</p> <p>Input durch Lehrkraft: Jede/r kann mit Hilfe von PV das eigene Smartphone aufladen, wenn man sich das Strampeln in den Pedalen ersparen möchte - das funktioniert auch in anderen Ländern, wenn man keinen Adapter für die Steckdose hat.</p> <p>Phase 1+2:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fragestellung (s.o.) und Anweisungen zu den Arbeitsphasen (Einzel-, Partner und Gruppenarbeit) im Plenum - Ideensammlung an der Tafel in drei Spalten (=Säulen der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökologie und Soziales)) <p>Phase 3: Die Argumente werden am Ende gemeinsam besprochen.</p> <p>Medien: Kärtchen (A6) und Magnete oder Klebeband</p>	<p>Phase 1: Individuelle Ideensammlung mit Notizen. Vergleich zu zweit.</p> <p>Phase 2: Jeweils zwei Paare vergleichen ihre Ideen. Sie notieren die Stärken der Photovoltaik auf Kärtchen, die sie an der Tafel in den jeweiligen Spalten befestigen.</p> <p>Phase 3: Die einzelnen Argumente werden im Plenum erklärt.</p>
<p>10 min</p>	<p>Elaborate</p>	<p>Frage: Worin liegt das Potential der Photovoltaik im Zusammenhang mit der Energiewende und nachhaltiger Energieversorgung?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Austeilen Infoblatt 2: „Warum eigentlich Photovoltaik?!“ - Erweitern der Ideensammlung an der Tafel <p>Tipp: Es ist sinnvoll, hier besonders darauf einzugehen, dass Technologie alleine nicht die Lösung zur nach-</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Lesen des Infoblatts 2, - Markieren von Argumenten für die Nutzung von Photovoltaik - paarweiser Vergleich und Diskussion. - Teilen neuer Erkenntnisse im Plenum und Ergänzung in der Ideensammlung

		<i>haltigen Energieversorgung darstellt, sondern dass auch Gewohnheiten und der Umgang mit Energie eine zentrale Rolle spielen und jede/r Einzelne etwas bewirken kann.</i>	
--	--	---	--

Beilagen

- Lösungsvorschlag: *Die Umwandlung von Licht in elektrische Energie*

Weiterführende Themen

- Energiewende, nachhaltige Energieversorgung
- Bildung für nachhaltige Entwicklung
- Photovoltaik im Vergleich zu anderen Kraftwerkstypen

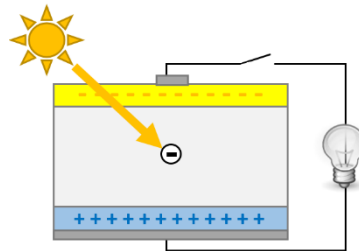
Weiterführende Informationen

- <https://www.bmwfw.gv.at/EnergieUndBergbau/Energiebericht/Documents/Energies-tatus%202016.pdf>
- <https://www.volker-quaschnig.de/>

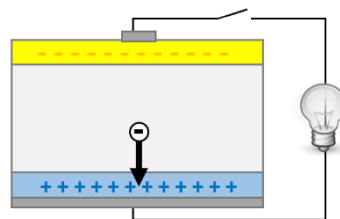
Beilage

Lösungsvorschlag: *Die Umwandlung von Licht in elektr. Energie*

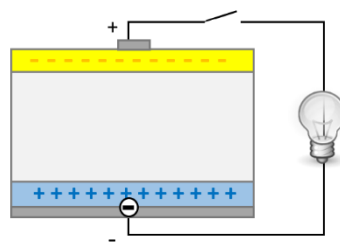
1. Photonen gelangen in die intrinsische Halbleiterschicht der Solarzelle. Besitzen sie genügend Energie, wechselwirken sie mit den Elektronen in der Schicht, die sich deshalb aus ihren Bindungen lösen (**innerer Photoeffekt**).



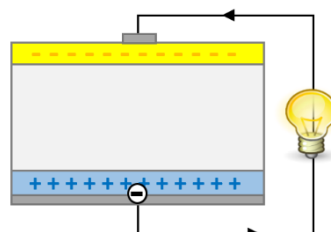
2. Durch das elektrische Feld in der intrinsischen Schicht wirkt auf die nun freien Ladungsträger eine elektrische Kraft, die sie in Richtung der gegensätzlich geladenen Halbleiterschichten bewegt, d.h. die Elektronen bewegen sich in Richtung der positiv geladenen Schicht.



3. Die Ladungsträger werden an beiden Kontakten gesammelt. An einem der Kontakte entsteht dadurch ein Elektronenüberschuss - eine elektrische Spannung ist zwischen den Kontakten vorhanden (**photovoltaischer Effekt**).



4. Schließt man den Stromkreis, so kann durch die angelegte Spannung elektrischer Strom fließen und die Elektrogeräte im Stromkreis können mit elektrischer Energie versorgt werden.



Eine sonnige Zukunft?

3. Der optimale Betrieb von Solarzellen

Was muss ich beachten, wenn ich mein Smartphone mit Hilfe einer Solarzelle so schnell wie möglich aufladen möchte?

Welche Faktoren beeinflussen die maximale elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle?

Die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle hängt von vielen äußeren Faktoren ab. Es ist daher wichtig, diese Einflüsse sowohl beim Aufladen eines Smartphones als auch bei der Installation einer PV-Anlage zu berücksichtigen, um den Ertrag zu optimieren.

Gemeinsam werden Faktoren gesammelt, welche die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle beeinflussen können und wichtige Begriffe in Bezug auf diese Größen besprochen. Die Schüler_innen planen in Gruppen verschiedene Experimente zur Untersuchung ausgewählter Faktoren, führen diese durch und protokollieren, analysieren und interpretieren die Ergebnisse. Zum Abschluss wird der Prozess reflektiert und dabei Bezüge zu naturwissenschaftlicher Forschung diskutiert.



Quelle: www.volker-quaschnig.de

Zeit	Inhalte
3 Schulstunden	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle ✓ Nature of Science: naturwissenschaftliches Experimentieren und Forschen ✓ Datenbasierte Optimierung

Lernziele

- ✓ Die Schüler_innen können Vermutungen darüber aufstellen, welche Faktoren einen Einfluss auf die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle haben und unter welchen Umständen sich die maximale Leistungsabgabe vergrößert / verringert. (E2)
- ✓ Die Schüler_innen können ein Experiment planen, in dem die Faktoren, welche die maximale elektrische Leistungsabgabe von Solarzellen beeinflussen, untersucht werden. Sie wissen, dass sie immer nur einen Parameter bei einer Untersuchung variieren dürfen. (E3)
- ✓ Die Schüler_innen können im Zuge der Messplanung Überlegungen zu geeigneten Messgeräten sowie Vermutungen über wichtige Aspekte, die beim Messvorgang beachtet werden müssen, anstellen. (E2)
- ✓ Die Schüler_innen können Messungen durchführen und dabei typische naturwissenschaftliche Arbeitsmethoden (insbesondere die Verknüpfung von experimenteller Handlung, theoretischem Hintergrund und der Auswahl des Messgeräts) anwenden. (E1)
- ✓ Die Schüler_innen können entsprechende Ergebnisse erhalten und diese dokumentieren, analysieren, interpretieren und reflektieren. (E4)
- ✓ Die Schüler_innen können ihre erhaltenen Daten aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten und daraus Schlüsse für mögliche Lösungsansätze zur Erhöhung der elektrischen Leistung von Solarzellen in unterschiedlichen Situationen ziehen. (S1)

Information für Lehrkräfte**1. Zentrale Ideen**

- Die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle ist vom Neigungswinkel des Solarmoduls bzw. dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlung abhängig. Deshalb bieten Nachführsysteme bei einer PV-Anlage einen Vorteil, da so die Solarmodule laufend dem Sonnenstand entsprechend ausgerichtet werden können.
- Die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle steigt mit der Bestrahlungsstärke des einfallenden Lichts, also mit der Intensität der elektromagnetischen Strahlung bzw. der Energie, die aufgrund von einfallenden Photonen auf einer gewissen Fläche in einer bestimmten Zeit abgegeben wird.
- Die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle sinkt mit steigender Zellentemperatur. Es ist daher wichtig, bei PV-Anlagen auf eine gute Wärmeabfuhr zu achten.
- Die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle hängt von der spektralen Verteilung des einfallenden Lichts ab. Diese kann durch Absorption in der Atmosphäre beeinflusst werden.
- Die Leistung einer Solarzelle hängt vom Lastwiderstand ab. Um den optimalen Betriebspunkt zu erreichen (= Maximum Power Point, MPP) wird durch elektronische Steuerung der Lastwiderstand so angepasst, dass der Solarzelle die ma-

ximale Leistung entnommen werden kann (MPP-Tracking). Der MPP verschiebt sich dabei je nach Bestrahlungsstärke und Zelltemperatur.

- Eine Untersuchung beginnt mit einer konkreten untersuchbaren Fragestellung.
- Die Rahmenbedingungen einer Untersuchung müssen kontrolliert werden.
- Ein Forschungsprozess muss genau geplant und dokumentiert werden, damit die Messung nachvollziehbar ist.
- Im Zuge der Vorbereitung auf ein Experiment sind nicht nur Vorwissen und Vertrautheit mit den Messgeräten notwendig, sondern auch die eigene Kreativität ist oftmals gefragt, da unter Umständen nach individuellen Lösungen gesucht werden muss, um das gewünschte Experimentiersetting zu generieren.

2. Lernendenvorstellungen

- Die Schüler_innen differenzieren häufig nicht zwischen Spannung und Strom, sondern sehen die Spannung als eine Eigenschaft des Stroms. Daher kommt es zu Verständnisproblemen beim Experimentieren.
- Die Schüler_innen beachten unter Umständen nicht, dass die Südausrichtung der Solarmodule zwar in den meisten, nicht aber in allen Gebieten der Erde optimal ist.
- Schüler_innen vermuten, dass bei Bewölkung die Solarzelle keinen Ertrag liefert, da nur direktes Sonnenlicht in Strom umgewandelt wird.
- Die Schüler_innen gehen davon aus, dass die Solarzelle bei steigender Temperatur mehr Strom liefert.
- Es herrscht unter Umständen in vereinzelt Fällen noch eine sequentielle Vorstellung vom Stromkreis, d.h. bei Serienschaltungen ist die Stromstärke vor jedem Gerät größer als danach.
- Die Schüler_innen verstehen Parallelschaltungen innerhalb von Serienschaltungen als separat vom restlichen Stromkreis und betrachten diesen daher lokal.
- Es besteht die Vorstellung, dass bei der Vergrößerung eines Widerstands dadurch auch ein größerer Strom fließt.
- Der Innenwiderstand eines Generators / einer Spannungsquelle wird oftmals nicht berücksichtigt.
- Die Schüler_innen akzeptieren oftmals Argumente, die auf unzureichend umfangreichen Messreihen beruhen und machen Aussagen aufgrund von statistisch bedeutungslosen Messunterschieden.
- Die Schüler_innen verstehen Experimentieren nicht als eine Methode, um Hypothesen zu überprüfen oder um Informationen über bestimmte Einflussgrößen zu gewinnen, sondern als einen Weg, um Dinge auszuprobieren oder um ein gewünschtes Resultat zu erzielen.
- Schüler_innen können beim Experimentieren oftmals nicht alle ausschlaggebenden Variablen identifizieren, die möglicherweise das Resultat des Experiments beeinflussen können.
- Es besteht eine gewisse Schwierigkeit darin, kausale Zusammenhänge zwischen einzelnen Variablen im Experiment zu erkennen.
- Schüler_innen variieren mehrere Parameter gleichzeitig.

- Die Vertrautheit mit dem Hintergrund eines Experiments kann dazu führen, dass Schüler_innen im Verlauf des Experiments bewusst Variablen beeinflussen, die das Resultat verändern.

3. Verwendete Materialien

- PPT-Datei *Photovoltaik*
- Geräte und Materialien für die Experimente (genauere Infos siehe Leitfaden)
- Ausgedruckte Materialien für Schüler_innen:
 - **Infoblatt 3a:** *Nennleistung und Standard-Testbedingungen*
 - **Infoblatt 3b:** *Die richtige Spannung liefern – Verschalten von Solarzellen*
 - **Infoblatt 3c:** *Charakterisieren von Solarzellen: U-I-Kennlinie und MPP*
 - **Protokollvorlagen** für die Experimentiergruppen
 - **Hinweis- und Antwortkarten** für die Experimentiergruppen
 - **Arbeitsblatt 3:** *Haben wir heute geforscht?*
 - **Infoblatt 4:** *Experimentelle naturwissenschaftliche Forschung*
- **Methodenblatt „Gruppenpuzzle“** (siehe separate Datei)

Didaktische Umsetzung

Die Schüler_innen sollen experimentell jene Faktoren ermitteln, die beachtet werden müssen, um das Smartphone mit Hilfe einer Solarzelle schnellstmöglich zu laden. Die Schüler_innen planen hypothesengeleitet entsprechende Versuche, führen sie durch und stellen ihre Ergebnisse anschließend im Klassenverband vor. Diese werden dann gemeinsam interpretiert und die Konsequenzen für den Alltagsbetrieb einer Solarzelle besprochen.

Zeit	Phase	Aktivität der Lehrperson	Aktivität der Schüler_innen
Welche Faktoren beeinflussen die maximale elektrische Leistung einer PV-Anlage?			
5 min	Engage	<p>Frage: Worauf muss geachtet werden, um das Smartphone mit meiner Solarzelle so schnell wie möglich zu laden?</p> <p>Ideensammlung im Plenum, Ergebnisse werden an der Tafel notiert.</p>	Die Schüler_innen stellen individuell Vermutungen auf und teilen sie im Plenum.
15 min	Explore	<p>Frage: Welche messbaren Parameter beeinflussen die maximale elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle?</p> <p>Methode: Think-Pair-Share (vgl. Methodenblatt dazu)</p> <p>Ideensammlung an der Tafel. Nicht genannte Parameter werden ggf. ergänzt oder es werden</p>	Die Schüler_innen sammeln Ideen. Dabei sollten sie die jeweiligen Faktoren auch erklären und begründen, weshalb diese einen Einfluss haben.

		zusätzliche Anregungen ¹ gegeben (vgl. Informationsblatt für Lehrkräfte).	
20 min	Explain	<p>Frage: Was ist vor dem Experimentieren wissenswert über die elektrische Leistung von Solarzellen?</p> <p>Methode Gruppenpuzzle (vgl. Methodenblatt dazu)</p> <p>Die Infoblätter 3a-3c „Die elektrische Leistung von Solarzellen“ werden ausgeteilt und der Arbeitsauftrag erteilt sowie das Gruppenpuzzle angeleitet.</p> <p>Tipp: In der PPT-Präsentation finden sich die vergrößerten Bilder, die für das gemeinsame Aufarbeiten der Inhalte im Plenum hilfreich sein könnten.</p>	Die Schüler_innen arbeiten zuerst alleine und dann in zwei unterschiedlichen Gruppen an den Infoblättern 3a-3c .
Messplanung			
10 min	Elaborate	<p>Messplanung in Gruppen:</p> <p>Frage: Was muss bei den Messungen beachtet werden? Was wird benötigt? Wie kann der Aufbau realisiert werden?</p> <p>Die Lehrperson leitet zur Messplanung über: der Einfluss ausgewählter Faktoren soll nun experimentell bestimmt werden, und zwar:</p> <ul style="list-style-type: none"> Einfallswinkel des Lichts Bestrahlungsstärke des Lichts Temperatur der Solarzelle Teilweise Verschattung von verschalteten Zellen Spektrale Verteilung des Lichts <p>Zuteilung zu Stationen in Kleingruppen. Austeilen der Protokollvorlage und erteilen des Arbeitsauftrags:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Leitfragen zur Messpla- 	<p>Die Schüler_innen erhalten eine kurze Einleitung durch die Lehrperson in die durchzuführenden Untersuchungen.</p> <p>Die Schüler_innen besprechen in den Kleingruppen die Leitfragen auf der Protokollvorlage. Sie machen sich Notizen und bereiten sich auf die Präsentation ihrer Planung im Plenum vor.</p>

¹ Wird die Ausrichtung der Module besprochen, kann vor allem die Günstigkeit der Südausrichtung in Ländern auf der Süd- und Nordhalbkugel der Erde thematisiert werden.

		<p>nung beantworten - Eine kurze Präsentation der Planung vorbereiten</p>	
15-20 min	Elaborate	<p>Präsentation der Messplanung: <i>Frage: Was wurde von den einzelnen Gruppen geplant und kann diese Planung noch optimiert werden?</i></p> <p>Präsentation der Gruppenplanungen im Plenum. Die Lehrperson blendet vor jeder Präsentation Feedback-Fragen auf der PPT ein.</p> <p>Überarbeitung und Besprechung der Planungen im Plenum. Die gemeinsamen Planungsüberlegungen werden an der Tafel notiert. Besonders die Aufnahme einer Kennlinie sollte von der Lehrperson besprochen werden (Infos dazu im Leitfaden für die Lehrkraft).</p> <p><i>Frage: Worin liegen Unterschiede zwischen der Gruppenplanung und der optimierten Planung im Plenum?</i></p> <p>Anleitung einer Reflexion der obigen Frage in den einzelnen Gruppen und anschließend im Plenum an. Reflexionsfragen dazu in der PPT.</p>	<p>Die einzelnen Gruppen präsentieren ihre Planungen. Der Rest der Klasse kann anhand der Feedback-Fragen auf der PPT darauf reagieren.</p> <p>Die Planung wird von den Schüler_innen im Plenum bearbeitet und erweitert. Die gemeinsam erarbeitete, optimierte Messplanung wird von den Gruppen notiert und später verwendet.</p> <p>Besprechung der Unterschiede zwischen der ursprünglichen Planung und der optimierten Planung entlang der Fragen in der PPT und Diskussion im Plenum.</p>
Durchführung der Messungen und Diskussion der Ergebnisse			
30-40 min	Elaborate	<p>Durchführung der Messungen <i>Frage: Wie können die Messungen umgesetzt werden? Worauf muss geachtet werden? Wo gibt es Schwierigkeiten?</i></p> <p>Die Lehrkraft betreut die Messungen der Schüler_innen. Hilfekarten werden zur Verfügung</p>	<p>Die Schüler_innen führen die Experimente selbstständig durch und protokollieren ihre Durchführung sowie die Ergebnisse. Sie</p>

		gestellt.	können Hilfekarten in Anspruch nehmen. Die Lernenden sollten immer nur eine Hilfefkarte mitnehmen. Die nächste erhalten sie erst, wenn sie sie zurückgebracht haben.
20-25 min	Elaborate	<p>Präsentation der Ergebnisse: Frage: Was sagen die Daten über die optimalen Bedingungen für die maximale elektrische Leistung einer Solarzelle aus?</p> <p>- Vorbereitung: Die Lehrkraft zeigt die Leitfragen zur Diskussion (siehe PPT und Protokollvorlage).</p> <p>- Präsentation: Die Ergebnispräsentation und -diskussion der Gruppen im Plenum wird angeleitet.</p> <p>- Ergebnissammlung: An der Tafel wird eine Liste mit Maßnahmen zur Optimierung des Ladevorgangs erstellt.¹</p>	<p>Die Experimentiergruppen besprechen die Leitfragen zur Diskussion in der Protokollvorlage.</p> <p>Die Schüler_innengruppen stellen nacheinander ihre Ergebnisse entlang der Leitfragen im Plenum vor.</p> <p>Die Schüler_innen besprechen Maßnahmen zur Optimierung des Ladevorgangs im Plenum.</p>
Reflexion			
5-10 min	Evaluate	<p>Reflexion des Experimentierprozesses: Frage: Haben wir heute geforscht?</p> <p>Die Lehrperson teilt das Arbeitsblatt 3 „Haben wir heute geforscht?“ und das Infoblatt 4 „Experimentelle naturwissenschaftliche Forschung“ aus.</p> <p>Gemeinsame Besprechung im Plenum. Unstimmigkeiten werden diskutiert und Gründe für das Nichterfüllen von Aspekten von Forschung thematisiert.</p>	<p>Die Schüler_innen bearbeiten in ihren Experimentiergruppen das Arbeitsblatt 3. Als zusätzlicher und/oder vertiefender Input kann das Infoblatt 4 durchgelesen werden.</p> <p>Die Gruppen stellen ihre Überlegungen im Plenum vor und diskutieren mögliche Unstimmigkeiten und Abweichungen vom Forschungsprozess.</p>

¹ Der Einsatz von Bypass-Dioden zur Verhinderung der Überlastung kann hier angesprochen werden, ebenso die Abhängigkeit der Leistung vom Außenwiderstand.

Beilagen

- Informationen für Lehrkräfte: *Die elektrische Leistung von Solarzellen*
- Experimentierleitfaden für Lehrkräfte

Weiterführende Themen

- Wattpeak / Kilowattpeak
- Maximum Power Point Tracking / Maximal-Leistungspunkt-Suche
- Zelltemperatur und Leitfähigkeit im Bändermodell

Weiterführende Informationen

- <https://www.volker-quaschning.de/artikel/pvalterung/index.php>
- <https://www.volker-quaschning.de/downloads/abschattungsverluste.pdf>
- http://www.sfv.de/lokal/mails/wvf/wenn_es_.htm
- Mythen zur Photovoltaik: <https://www.youtube.com/watch?v=5oqeAFoi3A>

Beilage 1

Informationen für Lehrkräfte: *Die elektrische Leistung von Solarzellen*

Die folgenden Faktoren können die Leistung von Solarzellen beeinflussen:

- Die Bestrahlungsstärke des einfallenden Lichts, die sich z.B. durch Bewölkung ändern kann.
- Die spektrale Verteilung des Lichts kann je nach Absorption unterschiedlicher Strahlungsanteile in der Atmosphäre variieren. Luftfeuchtigkeit o.Ä. spielen hier unter Umständen eine Rolle.
- Zeitweise oder permanente Abschattungen durch die Umgebung, beispielsweise durch Vordächer, Bäume, andere Häuser usw.¹
- Albedo, also das Rückstrahlvermögen von diffus reflektierenden Oberflächen, wie z.B. von Schneefeldern oder Gletschern.
- Mögliche bauliche Einschränkungen bei Befestigung an Gebäuden, Innenhöfen etc.
- Verschmutzung oder Verdeckung der Solarzelle / des Moduls (z.B. durch Schnee- oder Blätterablagung).
- Die Temperatur der Solarzelle bzw. des Moduls, da der Leistungsertrag mit steigender Temperatur sinkt. Deshalb ist eine (natürliche) Belüftung notwendig.
- Die Fläche der Solarzelle bzw. des Solarmoduls. bestimmt ebenfalls die Leistung, da der abgegebene Strom proportional zu ihrer Fläche ist.
- Der Neigungswinkel der Zelle / Module bzw. die Möglichkeit der flexiblen Ausrichtung.
- Der Sonnenstand, der tageszeiten- und jahreszeitenabhängig ist.
- Der Außenwiderstand, der anliegt → Punkt maximaler Leistungsabgabe (MPP)

Gibt es keine Hindernisse, reflektierende Oberflächen oder andere permanente äußere Störfaktoren, wird für unbeweglich montierte PV-Anlagen im Mitteleuropa generell eine **Ausrichtung nach Süden** und eine **Neigung von 30° zur horizontalen Ebene** gewählt.

¹ Einzelne verschattete Solarzellen liefern wenig bis gar keine elektrische Energie, auch wenn sie gemeinsam mit anderen Zellen zu einer PV-Anlage verschaltet sind. Dies hat zwei mögliche Auswirkungen: der ganze Strang von in Reihe geschalteten Solarzellen liefert keinen oder weniger Strom, wodurch sich die Gesamtleistung der PV-Anlage deutlich verringert. Außerdem kann sich ein sogenannter Hot Spot ausbilden, und die betroffene Zelle kann sehr stark erwärmt und sogar zerstört werden. Dies passiert, wenn die übrigen Zellen große Stromstärken liefern, die dann auch durch die betroffene Zelle fließen. Durch Bypass-Dioden können solche Hot-Spot-Effekte vermieden werden.

Beilage 2**Experimentierleitfaden für Lehrkräfte**

In den Unterrichtsmaterialien finden sich keine genauen Vorgaben zur Messplanung sowie zur Durchführung der Experimente, sondern es werden lediglich **Leitfragen** gestellt, anhand derer die Schüler_innen arbeiten sollen. Das liegt daran, dass das zugrundeliegende didaktische Konzept die Bildung eines **Bewusstseins zur „Nature of Science“**, also der Natur der Naturwissenschaften vorsieht. Dabei sollen die Schüler_innen selbstständig Experimente planen und dabei Vorwissen, persönliche Erfahrungen und Kreativität einfließen lassen, um somit den **Prozess wissenschaftlichen Arbeitens nachvollziehen** zu können. Dazu ist es notwendig, dass die Rahmenbedingungen der Experimente (verwendete Materialien, Messgeräte, Messdauer, Messfrequenz, experimenteller Aufbau usw.) von den Schüler_innen selbst festgelegt werden. Das häufig praktizierte „Experimentieren nach Kochrezept“ schult einzelne, oft motorische Fähigkeiten, führt aber selten zur kognitiven Aktivierung und erzeugt ein wenig angemessenes Bild von der Rolle des Experiments in der Forschung.

Messplanung und Experimentiervorgang

Damit die oben beschriebene Form des forschend-entdeckenden Lernens erfolgreich ablaufen kann, bedarf es einer **klaren Anleitung der Messplanung sowie der Diskussion der Messergebnisse durch die Lehrperson**. Die **Leitfragen** sollen den forschend-experimentellen Prozess der Schüler_innen unterstützen ohne ihn schrittweise anzuleiten. Die Schüler_innen haben die Gelegenheit, Ideen im Rahmen der individuellen Messplanung in Kleingruppen zu entwickeln. Anschließend müssen diese Kleingruppen-Planungen diskutiert, optimiert und reflektiert werden, um zu einer sinnvollen Messplanung zu kommen. Wichtig ist, dass die Schüler_innen diese elaborierte, verbesserte Planung anschließend während des Experimentierens konsequent umsetzen. Darüber hinaus sollten mögliche Störfaktoren bereits im Rahmen der Besprechung adressiert und der Umgang damit festgelegt werden. Insbesondere ist es wichtig, dass die Schüler_innen die Unterschiede zwischen ihrer Planung und der optimierten Planung reflektieren.

Im Zuge der anschließenden Diskussion der Messergebnisse sollte sowohl die Relevanz der erhobenen Daten für den Alltag als auch deren Genauigkeit bzw. Validität besprochen werden. Für die Messdiskussion können die Diskussionsfragen auf der Protokollvorlage verwendet werden. Die Reflexion dient dem Vergleich des Experimentierprozesses der Schüler_innen mit dem Experiment als naturwissenschaftliche Forschungsmethode. Sie soll die Schüler_innen dazu anregen, über ihr selbstständiges Experimentieren nachzudenken und sich naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen bewusst zu werden.

Auswahl der Experimente

Die im Anhang verfügbaren Protokollvorlagen beziehen sich auf folgende Faktoren, die die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle beeinflussen können:

- ✓ Einstrahlwinkel
- ✓ Bestrahlungsstärke des einfallenden Lichts
- ✓ Temperatur der Solarzelle
- ✓ Teilweise Verschattung von verschalteten Solarzellen
- ✓ Spektrale Verteilung des einfallenden Lichts

Die Auswahl und Anzahl der einzelnen Experimentierstationen erfolgt dabei nach eigenem Ermessen der Lehrperson in Abhängigkeit von der Klassengröße, den Interessen oder den individuellen Fähigkeiten der Schüler_innen bzw. dem Vorhandensein von Experimentiermaterialien. Es sollten sich jedoch an jeder Experimentierstation gleich viele Schüler_innen befinden, und diese Kleingruppen sollten nicht zu groß sein, damit sich alle Schüler_innen aktiv am Experimentieren beteiligen. Jede/r Schüler_in sollte mindestens eines der Experimente durchführen – dafür können ggf. Experimentierstationen auch dupliziert werden.

Vorschläge für die verwendeten Materialien

- Lichtquelle: Experimente mit Solarzellen könnten bei natürlichem Sonnenlicht durchgeführt werden, allerdings machen zeitweise Bewölkung, Beschattung oder andere Änderungen der Wetterbedingungen es schwierig, die Rahmenbedingungen konstant zu halten. Da sich während des Messvorgangs mehrere Parameter geändert haben können, fällt es schwer, die erhaltenen Ergebnisse sinnvoll zu interpretieren. Deshalb empfiehlt sich die Verwendung einer künstlichen Lichtquelle, die das Sonnenlicht simuliert, wie z.B. ein **Beamer**, der an einen Computer angeschlossen ist. Durch das „kalte“ Licht des Beamers wird die Solarzelle nicht ungewollt erwärmt und eine (unkontrollierte) Beeinflussung der Messergebnisse ist dadurch eingeschränkt. Das Spektrum der Lichtbogenlampe in einem Beamer entspricht näherungsweise dem der Sonnenstrahlung, wodurch der Beamer als Lichtquelle besonders auch für die Untersuchung der **spektralen Verteilung des Lichts** (Experiment 4) geeignet ist. Anhand eines Beamers lassen sich auch Beschattungen oder verschiedener Bewölkungsgrade leicht simulieren. Alternativ können auch Halogenlampen verwendet werden, die für paralleles Arbeiten an mehreren Stationen möglicherweise praktikabler sind.

Ermittlung einer U-I-Kennlinie: Für die Aufnahme einer Kennlinie braucht man ein Amperemeter zur Strommessung, ein Voltmeter zur Spannungsmessung und einen regelbaren Widerstand (Potentiometer). Für die Auswahl des geeigneten Potentiometers müssen Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung der Solarzelle gemessen werden. Der zugehörige Widerstand ($R=U/I$) wird berechnet. Das Potentiometer wird dann so gewählt, dass der höchste einstellbare Widerstandswert mindestens das Fünffache und nicht mehr als das 100-Fache dieses Werts ergibt. (Bei einer einzelnen Solarzelle ist mit einer Spannung von 0,5 – 0,6 V und einer Stromdichte von 10 – 25 mA pro cm² be-

leuchteter Fläche zu rechnen. Werden deutlich größere Spannungen - ein Vielfaches von 0,5 V; 1,0 V; etc. - beobachtet, handelt es sich um ein Minimodul, in dem mehrere Zellen verschaltet sind.) Für die Aufnahme der Kennlinie wird der Widerstandswert am Potentiometer in kleinen Schritten verändert, sodass sich die Spannung von einem Messpunkt zum anderen Messpunkt um nur ca. 5 – 10 % der Leerlaufspannung ändert. Für jede Widerstandseinstellung wird dann der jeweilige Strom- und Spannungswert gemessen und notiert und anschließend in einem Diagramm grafisch dargestellt. Die Stromstärke wird dabei meistens auf der y-Achse und die Spannung auf der x-Achse aufgetragen.

- Ermittlung des MPP: Auf Basis der Kennlinie kann eine Leistungs-Spannungskurve erstellt werden. Dazu müssen die Messwerte für Strom und Spannung miteinander multipliziert werden, um den jeweiligen Leistungswert zu erhalten. Dabei muss nicht jedes Wertepaar verwendet werden, doch es empfiehlt sich besonders im Bereich des „Knicks“ der Kennlinie den Abstand zwischen den Werten relativ gering zu wählen, da der MPP in diesem Wertebereich liegt. Die Leistungswerte werden anschließend auf der y-Achse und die zugehörigen Spannungswerte auf der x-Achse eines Koordinatensystems aufgetragen. Der Maximalpunkt der Funktion kann nun dem Diagramm entnommen werden und entspricht dem Punkt maximaler Leistungsabgabe der Solarzelle. Außerdem können auch die Leerlaufspannung sowie der Kurzschlussstrom aus dem Diagramm entnommen werden.

Der MPP kann in weiterer Folge in Abhängigkeit des untersuchten Faktors dargestellt werden, um zu zeigen, wie sich die maximale Leistungsabgabe aufgrund dieses Faktors ändern kann.

Ein Beispiel für die U-I-Kennlinie und die Leistungs-Spannungskurve einer Solarzelle finden Sie weiter unten in den Informationen zum Experiment 2 „Bestrahlungsstärke des einfallenden Lichts“.

Informationen zu den einzelnen Messungen

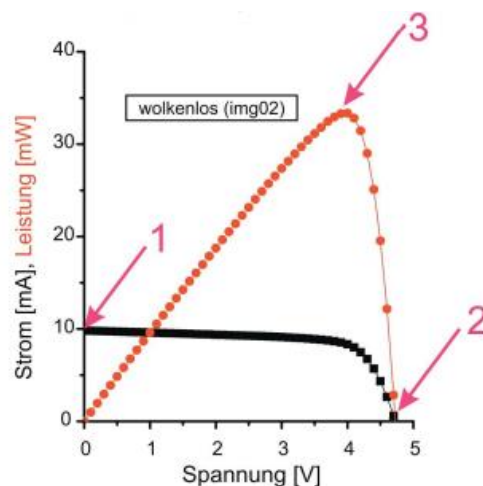
Nachfolgend finden sich einige Vorschläge für die Durchführung der einzelnen Experimente. Bei allen Experimenten werden Messgeräte, Solarzelle(n) und Widerstand wie in den Schaltskizzen eingezeichnet verschaltet und von der Lichtquelle in einem fixen Abstand beleuchtet. Für die Experimente sollte eine Lichtquelle mit paralleler Strahlung gewählt werden. Falls nicht vorhanden, kann mit Hilfe einer Sammellinse oder einem optischen Schlitz das divergente Licht so präpariert werden, dass man ein annähernd paralleles Strahlenbündel erhält.

Die Anzahl an Messdurchgängen in den einzelnen Gruppen sollte aus Zeitmanagementgründen ausgeglichen sein, d.h. jede Gruppe sollte in etwa dieselbe Anzahl, z.B. vier U-I-Kennlinien erstellen. Jede Gruppe erhält Anleitungen zur Variation eines vorgegebenen Pa-

rameters, der wie angegeben verändert werden soll. Dabei wird die jeweilige Einstellung zunächst beibehalten, während der Widerstand des Potentiometers schrittweise erhöht wird und die Messwerte für Stromstärke und Spannung aufgenommen werden. Erst dann wird der zu untersuchende Faktor verändert und es werden wieder U- und I-Werte gemessen usw. Anschließend wird für jede der Einstellungen eine separate U-I-Kennlinie erstellt, aus der der MPP abgelesen werden soll.

Leistungs-Spannungskurven bei unterschiedlichen Parametereinstellungen werden erstellt und sollen anschließend miteinander verglichen werden, um herauszufinden, wie sich der MPP in Abhängigkeit des vorgegebenen Parameters verschiebt.

Hier ein Beispiel einer U-I-Kennlinie und einer Leistungs-Spannungskurve für die Simulation eines wolkenlosen Himmels:



Beispiel zur Auswertung einer Strom-Spannungskurve (schwarze Symbole) und einer Leistungs-Spannungskurve (rote Symbole)

Punkt 1 zeigt den Kurzschlussstrom, da hier die Spannung den Wert Null besitzt. Punkt 2 zeigt die Leerlaufspannung, bei der der Kurzschlussstrom gleich Null ist. Punkt 3 zeigt den MPP.

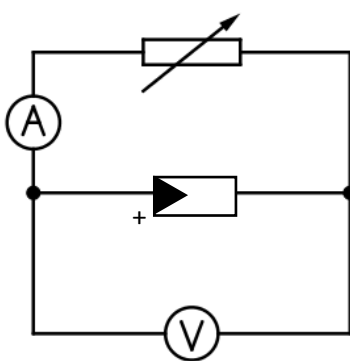
1. Einstrahlwinkel

Verwendete Materialien:	Schaltskizze:
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Solarzelle ✓ 2 Digitalmultimeter ✓ Lichtquelle ✓ Potentiometer ✓ Kabel ✓ Stativmaterial (falls notwendig) ✓ Geodreieck oder Winkelskala ✓ Linse oder optischer Spalt 	

Der Winkel der Solarzelle zur Projektionsebene wird von 0° bis 90° in beliebigen Schritten variiert. (Alternativ dazu kann auch die Ausrichtung der Lichtquelle entsprechend geändert werden, bei unveränderter Position der Solarzelle.)

Der Winkel der Solarzelle zur Projektionsebene kann nun von 0° bis 90° in beliebigen Schritten variiert werden, es sollten jedoch mindestens vier unterschiedliche Winkel gewählt werden. Für jeden dieser Winkel werden Messwerte für Stromstärke und Spannung aufgenommen, während der Widerstand des Potentiometers schrittweise erhöht wird.

2. Bestrahlungsstärke des einfallenden Lichts

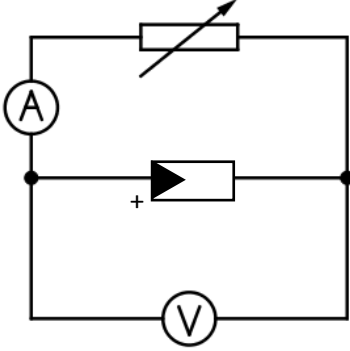
<p><u>Verwendete Materialien:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Solarzelle oder Solarmodul ✓ 2 Digitalmultimeter & Kabel ✓ Lichtquelle ✓ Potentiometer ✓ Stativmaterial (falls notwendig) ✓ Unterschiedliche Papiere und Folien oder Bilder am PC ✓ Optische Bank und Reiter (falls vorhanden) 	<p><u>Schaltskizze:</u></p> 
--	---

Unterschiedliche Beleuchtungsstärken können durch eine Änderung des Abstandes zwischen Lampe und Solarzelle verändert werden oder verschiedene Grade der Bewölkung werden simuliert, z.B. mit Hilfe von verschiedenen durchlässigen Papieren oder weißen, grauen und schwarzen Folien. Wird ein Beamer verwendet, können folgende Bilder eingeblendet werden:

- ✓ weißes Bild → wolkenloser Himmel
- ✓ hellgraues Bild → leicht bewölkter Himmel
- ✓ dunkelgraues Bild → stark bewölkter Himmel
- ✓ komplett schwarzes Bild → Nacht

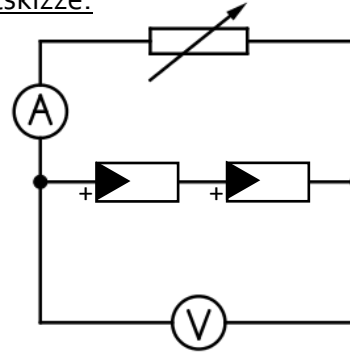
Ist die Gruppe früher fertig oder besteht ein Interesse am Verhältnis zwischen Bestrahlungsstärke und Kurzschlussstrom bzw. Leerlaufspannung, so können die entsprechenden Werte aus den einzelnen Kennlinien abgelesen und ebenfalls gegen die Bestrahlungsstärke aufgetragen werden. (Der Kurzschlussstrom verändert dabei sich direkt proportional zur Bestrahlungsstärke; die Leerlaufspannung steigt nicht linear zur Bestrahlungsstärke an. Schon bei geringer Bestrahlungsstärke kann bereits ein Anstieg der Leerlaufspannung beobachtet werden, der mit steigender Bestrahlungsstärke abflacht.)

3. Temperatur der Solarzelle

<u>Verwendete Materialien:</u> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Solarzelle ✓ 2 Digitalmultimeter ✓ Temperaturmessgerät ✓ Potentiometer ✓ Lichtquelle ✓ Fön ✓ Kabel ✓ Stativmaterial (falls notwendig) 	<u>Schaltskizze:</u> 
---	---

Die Temperatur der Zelle kann mit Hilfe eines Föns erhöht werden, der beispielsweise einen Wüstensturm simuliert. Über die Entfernung zwischen Fön und Solarzelle kann die Temperatur variiert werden. Die Messung wird durchgeführt, sobald die Temperatur jeweils einen konstanten Wert erreicht hat. (Die Temperatur wird am besten mit einem IR-Thermometer bestimmt.) Konstante Temperaturwerte können beispielsweise mit Hilfe eines mehrstufigen Föns oder durch eine Vergrößerung oder Verringerung des Abstands zwischen Fön und Solarzelle erreicht werden. Die unterschiedlichen Temperaturwerte sollten sich im Idealfall um mindestens 5 – 10 Grad unterscheiden.

4. Teilweise Beschattung verschalteter Solarzellen

<u>Verwendete Materialien:</u> <ul style="list-style-type: none"> ✓ mind. 2 Solarzellen oder 1 Solarmodul ✓ Digitalmultimeter ✓ Lichtquelle ✓ Kabel ✓ Stativmaterial (falls notwendig) ✓ Karton und/oder dickes Papier oder Bilder am PC ✓ Potentiometer 	<u>Schaltskizze:</u> 
---	---

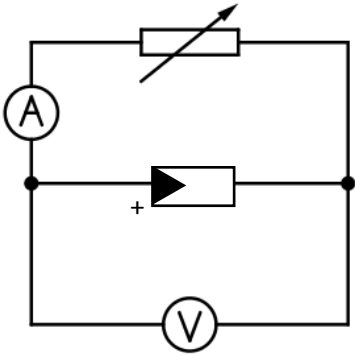
Für den Versuch wird entweder ein Solarmodul (das bereits aus mehreren verschalteten Solarzellen besteht) oder mindestens zwei Einzelzellen benötigt. Die Einzelzellen werden miteinander in Serie geschaltet und der Versuchsskizze entsprechend mit den Multimetern und dem Potentiometer verbunden. Ist ein Solarmodul vorhanden, wird dieses direkt im Versuchsaufbau laut Versuchsskizze befestigt.

Nun werden unterschiedliche Arten der teilweisen Beschattung des Moduls simuliert, wobei das mit einem dicken Papier oder Karton durchgeführt werden kann. Wird ein Beamer verwendet, können folgende Bilder eingeblendet werden, um die verschiedenen Arten der Verschattung zu simulieren:

- ✓ Weißes Bild → keine Verschattung
- ✓ Bild horizontal schwarz-weiß geteilt → teilweise horizontale Verschattung
- ✓ Bild vertikal schwarz-weiß geteilt → teilweise vertikale Verschattung
- ✓ Schwarzes Bild → komplette Verschattung

Dabei kann die Verschattung beliebig gewählt werden ($\frac{1}{3}$ des Bilds schwarz, die Hälfte des Bilds schwarz usw.) Derselbe Effekt kann auch händisch durch Vorhalten von Kartons erreicht werden. Ist eine Einstellung ausgewählt, wird diese beibehalten und die Messwerte für Stromstärke und Spannung aufgenommen, während der Widerstand des Potentiometers schrittweise erhöht wird.

5. Spektrale Verteilung des einfallenden Lichts

<u>Verwendete Materialien:</u> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Solarzelle ✓ 2x Digitalmultimeter ✓ Lichtquelle ✓ Kabel ✓ Stativmaterial (falls notwendig) ✓ Potentiometer ✓ Verschiedenfarbige Folien oder Bilder am PC 	<u>Schaltskizze:</u> 
---	--

Unter realen Bedingungen kann sich aufgrund unterschiedlicher Absorption des Lichts durch die Atmosphäre die spektrale Verteilung des Sonnenlichts verändern. Um diesen Umstand und dessen Auswirkungen auf die Zelleistung zu simulieren, können entweder unterschiedliche Farbfolien verwendet oder im Falle der Verwendung eines Beamers einfach Bilder in verschiedenen Farben eingeblendet werden.

Eine sonnige Zukunft?

4. Solarmodule, PV-Anlagen und Energiespeicherung

Wie werden Solarzellen hergestellt und weiterverarbeitet?

Welche Bauteile werden benötigt, um eine PV-Anlage am eigenen Haus betreiben zu können?

Wie kann die gewonnene elektrische Energie gespeichert werden, damit sie auch dann verfügbar ist, wenn die Anlage nicht läuft?

Mit Hilfe von Solarzellen kann die Strahlungsenergie der Sonne in elektrische Energie umgewandelt werden, wodurch der Strombedarf eines Haushalts teilweise oder vollständig mit Hilfe einer Photovoltaik-Anlage gedeckt werden kann.

Die Schüler_innen informieren sich in Gruppen über unterschiedliche Themenbereiche im Zusammenhang mit PV-Anlagen und teilen ihre Expertise untereinander. Die Funktionsweise und die Bauarten von Solarzellen, die Bestandteile unterschiedlicher Typen von Photovoltaik-Anlagen und Möglichkeiten der Speicherung von überschüssiger elektrischer Energie werden anschließend gemeinsam besprochen.



Quelle: www.volker-quaschnig.de

Zeit

2 Schulstunden

Inhalte

- ✓ Herstellung von Solarzellen
- ✓ Bestandteile von Photovoltaik-Anlagen
- ✓ Energiespeicherung
- ✓ Energieautarkie

Lernziele

- ✓ Die Schüler_innen können wichtige Schritte im Herstellungsprozess vom Rohmaterial über die Solarzelle bis hin zum Solarmodul benennen und beschreiben. (W1)
- ✓ Die Schüler_innen können die wichtigsten Komponenten einer PV-Anlage benennen und deren Funktionsweise erläutern sowie unterschiedliche Anlagentypen (netzgekoppelte Anlage, Inselanlage, Hybridanlage) beschreiben. (W1)
- ✓ Die Schüler_innen können unterschiedliche Möglichkeiten der Energiespeicherung aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten und Schlüsse über deren Potential aufgrund ihrer Speicherkapazität und Speicherdauer ziehen. (S1)

Information für Lehrkräfte

1. Zentrale Ideen

- Solarzellen können aus unterschiedlichen Materialien hergestellt werden und dadurch unterschiedliche Eigenschaften besitzen.
- Da eine Solarzelle alleine eine zu geringe Spannung für den Haushalt liefert, müssen mehrere Zellen zu einem Modul und diese Module wiederum miteinander verschaltet werden.
- PV-Anlagen können mit dem öffentlichen Stromnetz gekoppelt oder als Inselanlagen mit einem lokalen Energiespeicher betrieben werden. Auch eine Kombination der beiden Optionen ist möglich.
- Bei Inselanlagen kann die Energieversorgung nur unter Verwendung von Energiespeichern unabhängig vom Netz sichergestellt werden.
- Ein großes Entwicklungsfeld in der Nutzung von Solarenergie liegt in der Nutzbarmachung bzw. der Speicherung von überschüssig vorhandener Energie.
- Energiespeicher können mit Hilfe von bestimmten physikalischen Kenngrößen charakterisiert und miteinander verglichen werden.
- Die wichtigsten Leistungs-, Energie- und Zeitgrößen in Bezug auf Energiespeicher sind die Ein- und Ausspeicherleistung, die Speicherkapazität, die Energiedichte, der Wirkungsgrad und die Ausspeicherdauer eines Energiespeichers.

2. Lernendenvorstellungen

- Silizium ist das einzige Material, das für die Herstellung von Solarzellen verwendet wird.
- Solaranlagen werden als durchwegs umweltfreundlich angesehen, da keine Betrachtung des Produktionsprozesses erfolgt.
- Die PV-Anlage wird oftmals nur auf die Module auf dem Dach reduziert, die restlichen Komponenten sind weitgehend unbekannt.
- Bei der Betrachtung von Energiespeichern wird der Wirkungsgrad als Hauptargument für hohes/geringes Speicherpotential betrachtet, wobei Speicherkapazität und Speicherdauer vernachlässigt werden.
- Methan wird lediglich als Treibhausgas, nicht aber als von uns im Haushalt verwendete Ressource und als Energiespeicher wahrgenommen.

3. Verwendete Materialien

- PPT-Datei *Photovoltaik*
- Ausgedruckte Materialien für Schüler_innen:
 - **Infoblatt 5a:** *Vom Sandkorn zum Solarmodul - Materialien und Herstellungsvarianten*
 - **Infoblatt 5b:** *Einmal aufbauen, bitte! - Bestandteile einer PV-Anlage*
 - **Infoblatt 5c:** *Wohin mit elektrischer Energie, die nicht gebraucht wird? - Möglichkeiten der Energiespeicherung*
 - **Leitfragen** für die Stationen

Didaktische Umsetzung

Als Einstieg wird das Vorwissen der Schüler_innen zu den vielfältigen Anwendungsgebieten der Photovoltaik im Alltag aktiviert. Anschließend erfolgt ein Expert_innenkongress, mit dessen Hilfe die Funktionsweise und die Bauarten von Solarzellen sowie die einzelnen Bestandteile einer PV-Anlage und die Möglichkeiten der Energiespeicherung aufgearbeitet werden. Die Stationen können dabei nach Zeitbudget, Interesse der Schüler_innen und gewünschtem Schwerpunkt ausgewählt und erweitert werden.

Zeit	Phase	Aktivität der Lehrperson	Aktivität der Schüler_innen
Wiederholung: Bedeutung der Solarenergie			
10 min	Engage	<p>Frage: Welche anderen Geräte kann ich noch mit Hilfe von Solarzellen betreiben?</p> <p>Ideensammlung im Plenum. In der PPT-Folie „Photovoltaik – alltagstauglich“ finden sich Beispiele, die von der Lehrperson gezeigt werden können.</p>	Die Schüler_innen überlegen individuell und teilen ihre Ideen im Plenum.
	Explore	<p>Frage: Könnte das auch für die Herstellung von Mikrowellenpopcorn interessant sein? Wie muss ich den bereits besprochenen Fall „Solarzelle – Handy“ erweitern?</p> <p>Methode: Think-Pair-Share</p> <p>Die Einfälle der Schüler_innen werden an der Tafel notiert.</p>	<p>Bainstorming alleine und Vergleich zu zweit.</p> <p>Die Ideen werden im Plenum geteilt.</p>
Expert_innenkongress			
40-60 min	Explain	<p>Fragen: Wie werden Solarzellen hergestellt? Woraus besteht eine PV-Anlage? Wie kann die elektrische Energie gespeichert werden?</p> <p>Methode: Expert_innenkongress</p> <p>An vier Stationen werden die Infoblätter 5a-5c sowie die Leitfragen verteilt und die Gruppenphasen angeleitet.</p>	Die Schüler_innen arbeiten in Kleingruppen an vier Stationen und erhalten das jeweilige Infoblatt (5a, 5b oder 5c) und die Leitfragen für den Arbeitsauftrag in neuen Gruppen.
30-50 min	Elaborate	<p>Fragen: Wie werden Solarzellen hergestellt? Woraus besteht eine PV-Anlage? Wie kann die elektrische Energie gespeichert werden?</p>	

	<p>Die Lehrkraft leitet die Ergebnispräsentation des Expert_innenkongresses an. Im Anschluss können Videos zu den einzelnen Themen gezeigt werden (siehe PPT-Präsentation).</p> <p><i>Tipp: Falls noch Zeit bleibt, kann noch mit dem Unabhängigkeitsrechner von Volker Quaschnig gearbeitet werden (Link unter „weiterführende Themen“. Mögliche Arbeitsaufträge finden sich in den zusätzlichen Informationen für Lehrkräfte.</i></p>	<p>Jede Gruppe stellt das Thema einer anderen Gruppe sowie die Antworten zu den Leitfragen zu diesem Thema vor. Die anderen Schüler_innen hören zu, stellen Fragen, und die Expert_innengruppe ergänzt nach Möglichkeit Informationen.</p> <p><i>Tipp: Um die Präsentation zu erleichtern, finden sich in der PPT-Präsentation die Bilder der Infoblätter, die die Schüler_innen verwenden können.</i></p>
--	---	---

Beilagen

- Zusätzliche Informationen für Lehrkräfte

Weiterführende Themen

- Innovative Solarzellentypen
- Dezentrale Energiespeicher für die Energiewende
- „Power-To-Gas“ Anlagen
- Online-Tool „Solarstromspeicher-Unabhängigkeitsrechner“ für die Bestimmung des Autarkiegrads unterschiedlich dimensionierter PV-Anlagen.
Link: <http://www.volker-quaschnig.de/software/unabhaengig/index.php>

Weiterführende Informationen

- <http://www.volker-quaschnig.de/datserv/kev/index.php>
- <http://www.volker-quaschnig.de/publis/studien/solarstromspeicher/HTW-Berlin-Solarspeicherstudie.pdf>
- ZDF-Beitrag: Energie speichern mit „Power-To-Gas“ Anlage:
<https://www.youtube.com/watch?v=Q8rpuZuFLro>
- Ein einfaches Experiment zur Veranschaulichung des „Power-To-Gas“ Prinzips:
https://www.youtube.com/watch?v=gINTtJyR_el

Beilage

Zusätzliche Informationen für Lehrkräfte

Hier finden Sie vertiefende Informationen zu den Inhalten, Denkanstöße und weitere Anregungen für den Unterricht.

Hilfestellungen: Unterschiede zwischen Smartphone und Mikrowelle

Smartphone	Mikrowelle
Verwendung von Gleichstrom	Verwendung von Wechselstrom → Wechselrichter zusätzlich notwendig
Den Akku einmal vollständig aufzuladen benötigt ungefähr 0,01 kWh elektrische Energie.	Einmal Popcorn machen bei 1000 W (ca. 3 Minuten lang) benötigt 0,05 kWh elektrische Energie → mehr Solarzellen / Solarmodule notwendig
Flexibler Transport, mobile Ladung möglich	Feste Position am Stromnetz → Fixierung der Solarzelle(n) am Haus
Energiespeicherung direkt im Akku	Evtl. Energiespeicher am Haus, um die erhaltene elektrische Energie auch nachts nutzen zu können

Denkanstoß: Arbeiten mit dem Simulator

Wird mit einem Online-Tool gearbeitet, wie beispielsweise dem Unabhängigkeitsrechner von Volker Quaschnig (Link siehe oben), so sollten konkrete Arbeitsanweisungen an die Schüler_innen ausgegeben werden, um die Sinnhaftigkeit der Arbeit zu erhöhen und zielführende Ergebnisse zu erhalten.

Mögliche Arbeitsaufträge:

- Informiert euch im Internet über die Eckdaten einer PV-Anlage auf einem typischen Einfamilienhaus und setzt die Daten in den Rechner ein. Mit welchem Autarkiegrad ist zu rechnen?
- Seht euch nochmal das [Infoblatt](#) zu den Energiespeichern an. Welche Auswirkung hat die unterschiedliche Speicherkapazität auf den Autarkiegrad der Anlage?
- Vergleicht die erzielte Leistung einer PV-Anlage in eurem Wohnort mittels Internetrecherche mit einer gleich großen PV-Anlage in Australien. Gibt es Unterschiede bezüglich des Autarkiegrads bei gleichem Jahresstromverbrauch und gleicher Batteriekapazität? Wenn ja, wodurch entstehen diese?

Definition: Autarkie

Definition laut Volker Quaschnig (2013, S. 139):

„Der Autarkiegrad gibt an, welchen Anteil des eigenen Strombedarfs eine Photovoltaikanlage deckt. Bei einem Autarkiegrad von 100 Prozent wird kein Strom mehr aus dem Netz bezogen und man ist komplett unabhängig von Energieversorgern und der Entwicklung der Strompreise. Eine vollständige Autarkie ist in Deutschland [und auch in Österreich] aber mit einem vertretbaren Aufwand praktisch nicht erreichbar. [...] Bei der Planung einer Solaranlage muss also immer ein Kompromiss aus dem Wunsch nach einer möglichst hohen Unabhängigkeit mit einem großen Autarkiegrad und einer guten Wirtschaftlichkeit mit einem großen Eigenverbrauchsanteil gesucht werden.“

Definition: Energetische Amortisationszeit

Die energetische Amortisationszeit gibt an, in welchem Zeitraum die Anlage die Energie geliefert hat, die für ihre Herstellung benötigt wurde. Dabei wird der Energieaufwand der Herstellung durch die monatlich oder jährlich abgegebene Energie dividiert (www.volker-quaschnig.de). Hier ein paar Beispiele aus der Homepage von Volker Quaschnig:

Energetische Amortisationszeit von Photovoltaikanlagen in Monaten		
Technologie	Photovoltaik Deutschland	Photovoltaik Südeuropa
Spanne in Monaten	15 - >100	7-76
typischer Wert in Monaten für...		
...mono-Si	40	24
...poly-Si	30	18
...amorphes Si	28	16
...CIS	17	10

Quelle: <http://www.volker-quaschnig.de/datserv/kev/index.php> (19.06.2017)

Eine sonnige Zukunft?

5. Planung einer PV-Anlage für die eigene Schule

Welche Aspekte müssen bei der Planung einer PV-Anlage für die eigene Schule berücksichtigt werden?

Bei der Planung sowie dem Bau einer PV-Anlage müssen eine Reihe unterschiedlicher Rahmenbedingungen, Anforderungen und Bedürfnisse berücksichtigt werden, um sicherzugehen, dass die Anlage sowohl unter ökonomisch, ökologisch und sozial sinnvollen Bedingungen arbeiten kann.

Die Schüler_innen erhalten die Gelegenheit, selbst Überlegungen zur Planung einer PV-Anlage an der eigenen Schule anzustellen. Dabei werden unterschiedliche ökonomische, ökologische und soziale Aspekte berücksichtigt sowie gesetzliche Rahmenbedingungen miteinbezogen und Überlegungen zu notwendigen Mitgliedern eines Planungsteams angestellt.



Quelle: www.volker-quaschnig.de

Zeit

Inhalte

1 Schulstunde

- ✓ Bildung für nachhaltige Entwicklung
- ✓ Planung und Umsetzung einer PV-Anlage
- ✓ Nature of Science

Lernziele

- ✓ Die Schüler_innen können Vermutungen darüber aufstellen, welche Aspekte bei der Umsetzung einer PV-Anlage an der eigenen Schule beachtet werden müssen. (E₂)
- ✓ Die Schüler_innen können essentielle Beteiligte eines Planungsteams zum Bau einer PV-Anlage benennen und deren Aufgabe(n) und Zuständigkeitsbereich(e) beschreiben. (W₁)
- ✓ Die Schüler_innen können die Bedeutung von Naturwissenschaft und Technik für verschiedene Berufsfelder erfassen und die Rolle dieser Berufsfelder in Bezug auf die Planung und Umsetzung von Projekten nachvollziehen. (S₃)
- ✓ Die Schüler_innen können im Rahmen einer Reflexion erläutern, inwiefern es ihnen gelungen ist, in einer Gruppe konkrete Planungsmaßnahmen zu treffen. (W₄)

Information für Lehrkräfte

1. Zentrale Ideen

- Bei der Planung und dem Bau einer PV-Anlage müssen ökonomische, ökologische und soziale Aspekte berücksichtigt werden, um sicherzugehen, dass die Anlage nachhaltig und zielgerichtet arbeitet.
- Ein Planungsteam enthält Personen unterschiedlichster Berufsgruppen, die verschiedene Beiträge zum Projekt leisten.
- Naturwissenschaftler_innen arbeiten nicht nur im Labor, sondern lösen auch Probleme in realen soziokulturellen, ökonomischen und politischen Kontexten.

2. Lernendenvorstellungen

- In einem Planungsprozess sind nur Expert_innen involviert. Diese wissen am besten Bescheid, was die Benutzer_innen der Anlage brauchen.
- Das Labor wird als das Zentrum wissenschaftlichen Handelns und die hauptsächliche Arbeitsumgebung des/der Naturwissenschaftler_in verstanden.
- Die Ziele der nachhaltigen Energieversorgung werden zwar als theoretisch vollkommen notwendig angesehen, doch in der realen Welt, in der Bequemlichkeit und Lebensqualität an erster Stelle stehen, als unpraktisch eingestuft.

3. Verwendete Materialien

- PPT-Datei *Photovoltaik*
- Ausgedruckte Materialien für Schüler_innen:
 - [Arbeitsblatt 4: Photovoltaik für die Schule](#)

Didaktische Umsetzung

Die Schüler_innen stellen erste Planungsüberlegungen zum Bau einer PV-Anlage am eigenen Schuldach an. Dabei sollen diejenigen Aspekte aufgeworfen werden, die in diesem Prozess berücksichtigt werden müssen. Diese Überlegungen können anschließend optional je nach Bedarf weiter konkretisiert und vertieft werden.

Zeit	Phase	Aktivität der Lehrperson	Aktivität der Schüler_innen
5 min	Extend	Frage: <i>Ist es nachhaltig eine PV-Anlage für die eigene Schule zu errichten?</i> Die Lehrperson gibt eine kurze Einleitung in das Thema der Einheit. Arbeitsauftrag in der PPT-Präsentation.	Die Schüler_innen erhalten einen Kontext zur Erfüllung der Aufgabe.
5 min	Extend	Frage: <i>Wie sieht so eine Planung aus und welche Aspekte müssen dabei berücksichtigt werden?</i>	

„EINE SONNIGE ZUKUNFT?“

		Im Plenum werden Vorschläge gesammelt.	Die Schüler_innen teilen ihr Vorwissen bzw. ihre Ideen im Plenum.
5 min	Extend	<p>Frage: <i>Wie sieht die Aufgabenstellung für die Planung des Projekts aus? Welche Hilfestellungen sind gegeben?</i></p> <p>Die Lehrperson teilt die Schüler_innen in Teams ein. Das Arbeitsblatt 4 „Photovoltaik in der Schule“ wird ausgeteilt und kurz gemeinsam besprochen.</p>	Die Schüler_innen erhalten Informationen zum Arbeitsauftrag und werden in Gruppen eingeteilt.
15-20 min	Extend	<p>Frage: <i>Wer gehört ins Planungsteam? Was muss vor der Planung des Projekts beachtet werden? Wie sieht die Grobplanung aus?</i></p> <p>Die Lehrperson betreut die Gruppen in ihrer Planung, gibt nach Bedarf zusätzliche Anregungen und kann auf mögliche hilfreiche Informationsquellen verweisen.</p>	Die Schüler_innen stellen in Gruppen Planungsüberlegungen an. Sie erstellen eine PPT-Präsentation mit 4 – 5 Folien, auf denen die Überlegungen notiert sind.
10-15 min	Extend	<p>Frage: <i>Wie sehen die Projektplanungen der einzelnen Gruppen aus?</i></p> <p>Die Lehrkraft leitet die Ergebnispräsentation im Plenum an und kann ggf. vertiefende Informationen und zusätzliche Anregungen geben. Besprechung der Erfolge und Schwierigkeiten im Team in Bezug auf die Planung.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Präsentation der Planungen mit Hilfe der PPT-Präsentation - Reflexion der Erfolge und Schwierigkeiten im Team - Die Schüler_innen nominieren ein Team für den Preis.

Weiterführende Themen

- Projektplanung
- Planung und Dimensionierung einer PV-Anlage

Weiterführende Informationen

- <http://www.energiesparverband.at/>
 - <http://www.solaranlage-ratgeber.de/photovoltaik/photovoltaik-planung>

Quellenverweise

Verwendete Bücher und Artikel

- Deng, Xuming; Schiff, Eric A.: Amorphous Silicon Based Solar Cells. **In:** Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Antonio Luque, Steven Hegedus (Hg.). 2003, New York, John Wiley & Sons, S. 505-565.
- Duit, Reinders: „Naturwissenschaftliches Arbeiten.“ **In:** Unterricht Physik 14/74 (2003), S. 5.
- Hewitt, Paul: Conceptual Physics. Global Edition. Pearson Education Ltd., Essex, 12. Auflage, 2015.
- Höttecke, Dietmar: Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der „Natur der Naturwissenschaften.“ **In:** Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 7 (2001), S. 7-23.
- Letcher, Trevor M.: Storing Energy: with Special Reference to Renewable Energy Sources. Elsevier, Amsterdam, 2016.
- Müller, Rainer; Wodozinski, Rita; Hopf, Martin: Schülervorstellungen in der Physik. Aulis Verlag, München, 2011, 3. Auflage.
- Quaschnig, Volker: Erneuerbare Energien und Klimaschutz: Hintergründe – Techniken und Planung – Ökonomie und Ökologie -Energiewende. Carl Hanser Verlag, München, 2013.
- Sterner, Michael; Stadler, Ingo: Energiespeicher: Bedarf, Technologien, Integration. Springer, Berlin, 2014.
- Tichler, Robert; Bauer, Stephan: Power-to-Gas. **In:** Solar Energy Storage. Bent Sørensen (Hg.). Elsevier, London, 2015, S. 373-389.
- Tipler, Paul A.; Mosca, Gene: Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. Spektrum Verlag, Heidelberg, 2009, 6. deutsche Auflage.
- Vetter, Matthias; Lux, Stephan: Rechargeable Batteries with Special Reference to Lithium-Ion Batteries. **In:** Solar Energy Storage. Bent Sørensen (Hg.). Elsevier, London, 2015, S. 205-225.
- Wagner, Paul; Reischl, Georg; Steiner, Gerhard: Einführung in die Physik. Facultas Verlag, Wien, 2012, 2. Auflage.
- Yang, Chi-Jen: Pumped Hydroelectric Storage. **In:** Solar Energy Storage. Bent Sørensen (Hg.). Elsevier, London, 2015, S. 25-38.
- Zeyer, Albert; Roth, Wolff-Michael: A mirror of society: a discourse analytic study of 15- to 16-year-old Swiss students' talk about environment and environmental protection. **In:** Cultural Studies of Science Education (2009), S. 961-998.

Konsultierte bestehende Unterrichtsmaterialien

- Van Bien, Nguyen: Empirische Untersuchungen zum selbständigen Wissens- und Könnenserwerb an Lernstationen im Themenbereich "Photovoltaik." Dissertation, Universität Koblenz-Landau, 2007.
- <http://www.educ.ethz.ch/unterrichtsmaterialien/physik/photovoltaik.html> (21.07.2017)
- <https://www.3male.de/web/cms/mediablob/de/2995070/data/2995060/2/schule/materialien-fuer-die-schule/sekundarstufe-i/unterrichtseinheit-photovoltaik/Unterrichtseinheit-Photovoltaik.pdf> (09.06.2017)

http://www.lebe.ch/fileadmin/redaktion/download/paedagogik/Unterrichtshilfe_schulEnergie_web.pdf (09.06.2017)

https://solar.forschendes-lernen.de/wp-content/uploads/sites/12/2012/10/Solkoffer_Versuche_kurz.pdf (09.06.2017)

http://www.e-genius.at/lernfelder/themenfeld-erneuerbare-energien/grundlagen-der-photovoltaik#_ (07.05.2017)

Zusätzlich verwendete Internetseiten

www.volker-quaschnig.de (14.06.2017)

<http://strandmaps.dls.ucar.edu/index.html> (14.06.2017)

Arbeitsblatt: Wie viel Energie braucht ein Smartphone?

http://www.pearl.at/at-a-PX8166-4301.shtml?vid=972&wa_id=58&wa_num=3&utm_source=googleps_at&utm_medium=cpc&gclid=CjwKCAjw16HLBRBFEiwAEIREqBrKEm2pf7OmjS3oihWtTcCRYtxdB9gLO6vmujdHIK7U43RDS33pqRoC544QAvD_BwE (14.07.2017)

http://praxistipps.chip.de/handy-laden-beim-fahrradfahren-geht-das_40628 (14.07.2017)

<https://www.bmwfw.gv.at/EnergieUndBergbau/Energiebericht/Documents/Energiestatus%202016.pdf> (30.07.2017)

http://www.fitforfun.de/sport/fitness-studio/kalorien/kalorienrechner_aid_2032.html (30.07.2017)

Infoblatt: Warum eigentlich Photovoltaik?!

<https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik> (05.07.2017)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Energieversorgungssystem_\(Satellit\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Energieversorgungssystem_(Satellit)) (05.07.2017)

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Solar_land_area.png (19.06.2017)

Infoblätter zum Expert_innenkongress und zur Funktionsweise einer Solarzelle

<http://www.e-genius.at/lernfelder/themenfeld-erneuerbare-energien/grundlagen-der-photovoltaik> (16.02.2017)

<https://photovoltaiksolarstrom.com/solarzelle-funktion/> (23.07.2017)

<http://docplayer.org/8755952-Entstehung-der-diffusionsspannung-beim-pn-uebergang.html>

<http://www.sfv.de/lokal/mails/phj/solarzel.htm> (07.05.2017)

<http://www.work-crew.de/photovoltaik/> (07.05.2017)

<http://www.pveducation.org/pvcdrom/> (22.05.2017)

<http://www.solaranlage-ratgeber.de/photovoltaik/photovoltaik-technik/photovoltaik-solarmodule> (07.05.2017)

http://www.deutschlandfunkkultur.de/vor-60-jahren-in-den-usa-wird-die-erste-solarzelle.932.de.html?dram:article_id=283624 (07.05.2017)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle> (07.05.2017)

<http://www.renewable-energy-concepts.com/german/sonnenenergie/solaranlage-solartechnik/arten-solarzellen.html> (07.05.2017)

http://www.e-genius.at/lernfelder/themenfeld-erneuerbare-energien/grundlagen-der-photovoltaik#_ (07.05.2017)

<https://www.solaranlagen-portal.com/solarmodule/systeme/monokristallin> (07.05.2017)
<https://www.solaranlagen-portal.com/solarmodule/systeme/polykristallin><http://www.photovoltaik.org/wissen/monokristalline-solarzellen> (07.05.2017)
http://www.e-genius.at/lernfelder/themenfeld-erneuerbare-energien/gebaeudeintegrierte-photovoltaik#_ (07.05.2017)
<https://de.wikipedia.org/wiki/Wechselstrom> (07.05.2017)
<http://www.photovoltaiksolarstrom.de/aufbau-photovoltaik> (07.05.2017)
http://www.gehrlicher.com/fileadmin/content/pdfs/de/technik/Funktion_Komponenten_Photo voltaik (07.05.2017)
<http://www.solaranlage-ratgeber.de/photovoltaik/photovoltaik-technik/komponenten-einer-photovoltaikanlage> (07.05.2017)
<http://stromliste.at/nuetzliche-infos/pv-anlagen/einspeisetarife> (21.07.2017)
<http://www.pvaustria.at/strom-verkaufen/> (21.07.2017)
<http://www.photovoltaikanlage.eu/solargenerator> (07.05.2017)
<http://www.univie.ac.at/photovoltaik/vorlesung/ss2016/unit2/ratgeber-photovoltaik.pdf> (07.05.2017)
<http://www.univie.ac.at/photovoltaik/vorlesung/ss2017/unit1/exercise.html> (16.06.2017)
<https://de.wikipedia.org/wiki/Power-to-Gas> (16.02.2017)
<https://de.wikipedia.org/wiki/Methanisierung> (16.02.2017)
<https://www.verbund.com/de-at/ueber-verbund/kraftwerke/unsere-kraftwerke/malta-hauptstufe> (21.07.2017)
<https://www.verbund.com/de-at/ueber-verbund/kraftwerke/unsere-kraftwerke/malta-oberstufe> (21.07.2017)
<https://de.wikipedia.org/wiki/Maltakraftwerke> (21.07.2017)
<https://secure.sharp.eu/cps/rde/xchg/de/hs.xsl/-/html/solarkraftwerk-werfenweng.htm> (21.07.2017)
<https://www.buergerkraftwerke.at/eportal2/ep/channelView.do/pageTypeld/67349/channelId/-47890> (21.07.2017)
<https://www.buergerkraftwerke.at/eportal2/> (21.07.2017)

Infoblätter für das Gruppenpuzzle

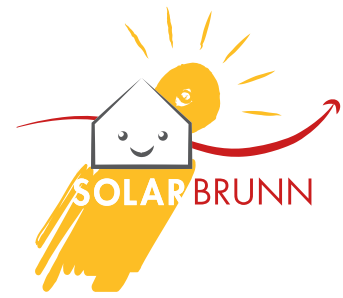
https://de.wikipedia.org/wiki/Watt_Peak (13.06.2017)
[https://de.wikipedia.org/wiki/Standard-Testbedingungen_\(Photovoltaik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Standard-Testbedingungen_(Photovoltaik)) (13.06.2017)
https://de.wikipedia.org/wiki/Maximum_Power_Point_Tracking (13.06.2017)
<http://www.solar.lucycity.de/index.php/reihen-und-parallelschaltung> (13.06.2017)
<http://www.photovoltaik4all.de/blog/reihen--oder-parallelschaltung-von-solarmodulen> (13.06.2017)
<http://www.solaranlage.eu/photovoltaik/technik-komponenten/wechselrichter/konzept-zur-verschaltung> (13.06.2017)
[https://de.wikipedia.org/wiki/Hot_Spot_\(Photovoltaik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Hot_Spot_(Photovoltaik)) (13.06.2017)
<http://www.renewable-energy-concepts.com/german/sonnenenergie/solaranlage-solartechnik/solargenerator/mpp-maximum-power-point.html> (13.06.2017)

com/german/sonnenenergie/solaranlage-
solartechnik/solargenerator/leerlaufspannung-uoc-solarmodul.html (19.07.2017)
http://www.physik.uni-jena.de/pafmedia/studium/phys_gp/V_311.pdf (13.06.2017)
http://www.werner-engineering.de/PV_WR_MPP.html (13.06.2017)
[http://www.t3nederland.nl/fileadmin/DE-Materialien/Materialien/Physik/E7/E7-
Lehrmaterial.pdf](http://www.t3nederland.nl/fileadmin/DE-Materialien/Materialien/Physik/E7/E7-Lehrmaterial.pdf) (13.06.2017)
<https://de.wikipedia.org/wiki/Strom-Spannungs-Kennlinie> (04.07.2017)

Experimentierleitfaden für Lehrkräfte:

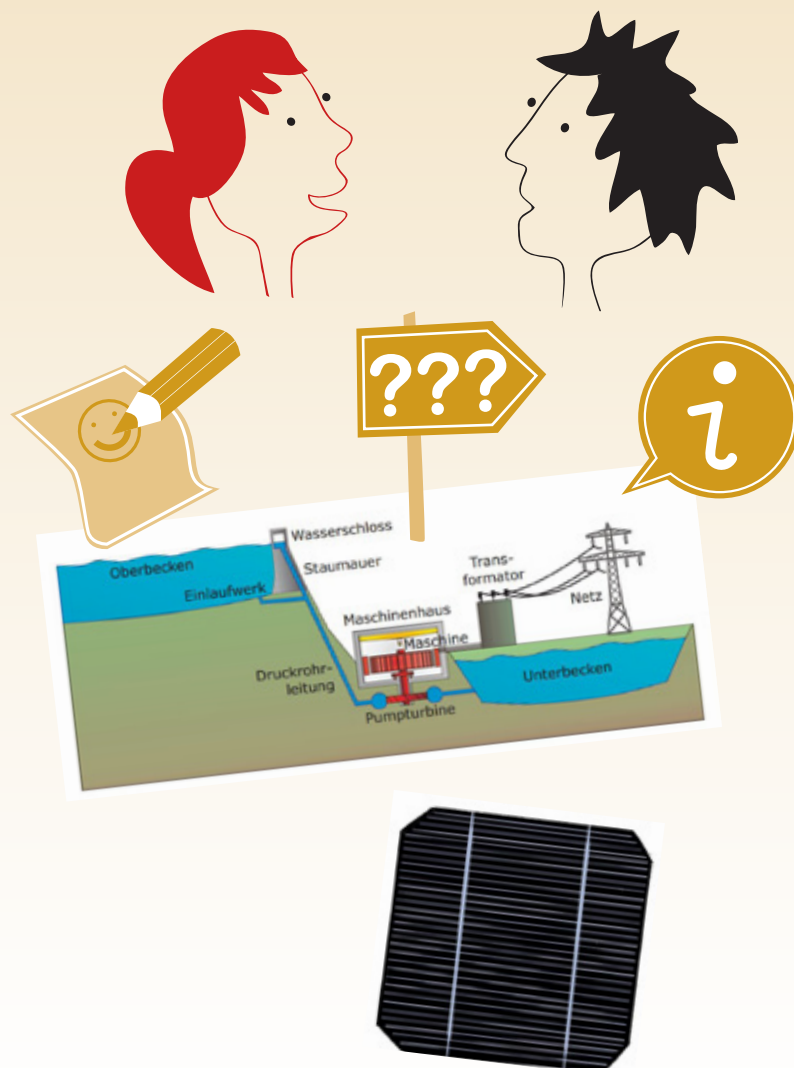
<https://www.leifiphysik.de/optik/lichtausbreitung> (22.07.2017)
<https://www.geogebra.org/m/FeuwyUjj> (23.07.2017)

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

- 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 SOLARZELLEN² 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

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

² 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 lösen³. 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 hervorrufen zu können (**innerer Photoeffekt**).

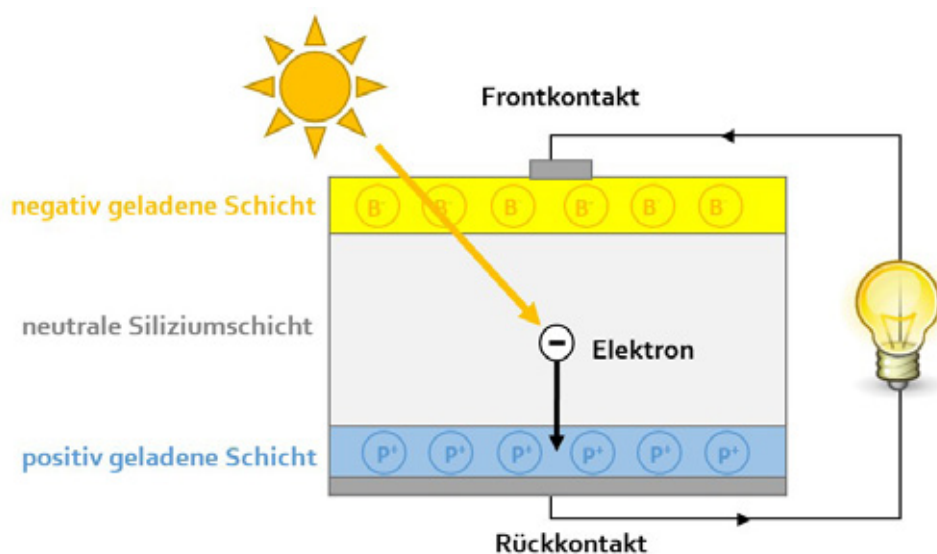
An der Vorder- und Rückseite der Solarzelle befinden sich Metallkontakte, wobei der Frontkontakt aus vielen, sehr dünnen Kontaktstreifen besteht, damit so viel wie möglich der auftreffenden Photonen auch in die Solarzellen eindringen können. (Alternativ kann auch leitendes Glas als Frontkontakt verwendet 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

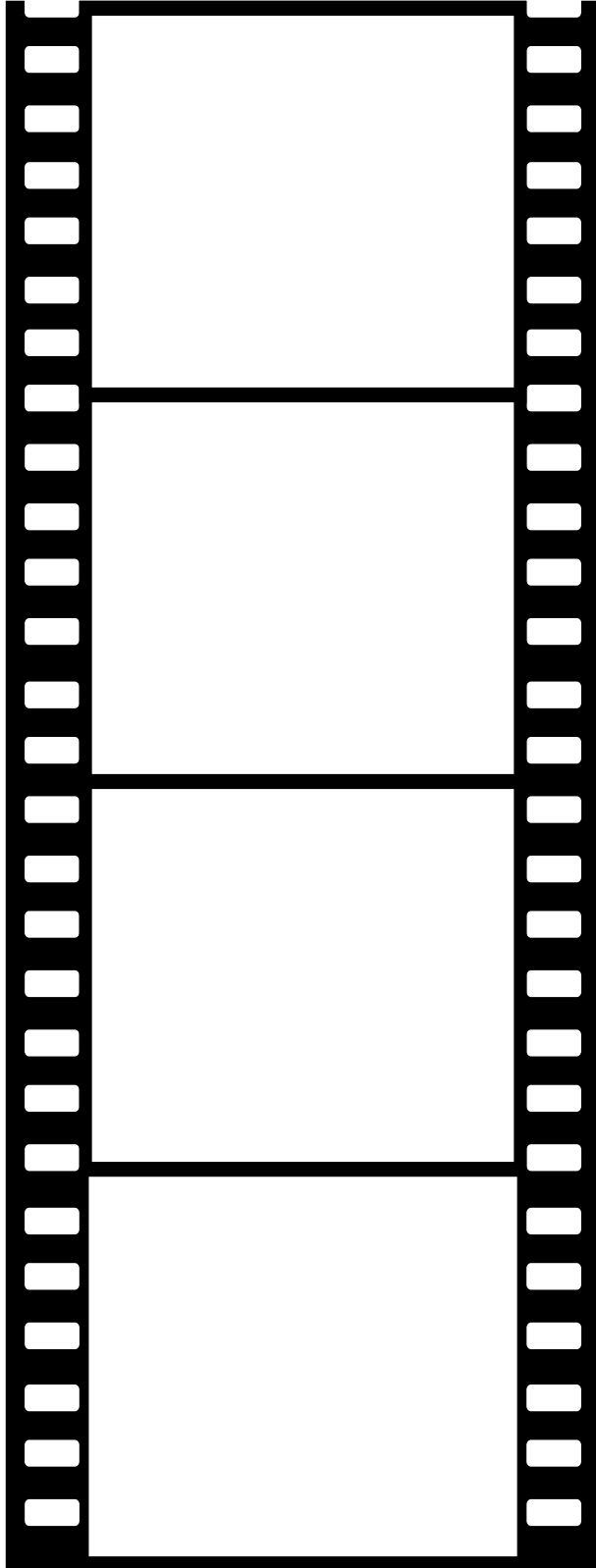
³ Die Energie des Photons hängt dabei von der Frequenz bzw. Wellenlänge des einfallenden Sonnenlichts ab.

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?

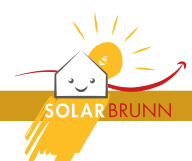
1 URSPRÜNGE DER SOLARTECHNOLOGIE

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 CO₂-Bilanz der PV-Anlage. Auch wenn Solarzellen in ihrem Betrieb CO₂-neutral sind, müssen die CO₂-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/m² 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/m² und 1 000 W/m².



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

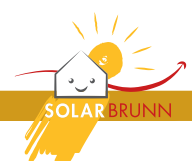
Zwei Nachteile werden oftmals in Verbindung mit Photovoltaik genannt: ihre hohen Kosten und ihr geringer Wirkungsgrad. Eine häufige Annahme ist, dass PV-Anlagen deutlich teurer sind als andere Kraftwerksarten. Vergleicht man jedoch die Kosten für den Bau einer PV-Anlage mit dem der Errichtung eines Laufwasserkraftwerks, 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 – CO₂-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 m² 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/m² 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°

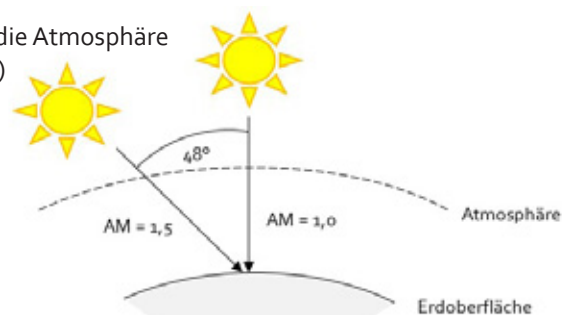


Abb. Susanne König nach Tafelskizze Dr. Schlosser

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 .

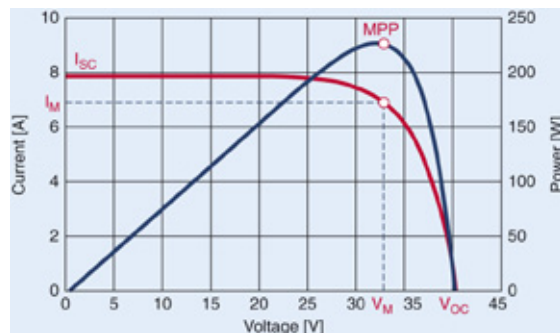
- Der Kurzschlussstrom I_K ist die maximale Stromstärke, die eine Solarzelle antreiben kann. Sie fließt bei einem elektrischen Kurzschluss*. Um ihn zu messen, wird das Amperemeter direkt mit der Solarzelle verbunden. In der U-I-Kennlinie (siehe Abbildung unten) entspricht die rote Kurve dem Wert der 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?



EINSTRÄHLWINKEL

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

LÖSUNG

1

EINSTRÄHLWINKEL

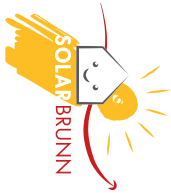
Wir sollen ein Experiment durchführen, mit dessen Hilfe wir herausfinden können, wie die **maximale elektrische Leistungsabgabe** einer Solarzelle vom Einstrahlwinkel des Lichts auf die Solarzelle abhängt.

HINWEIS

1

EINSTRÄHLWINKEL

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

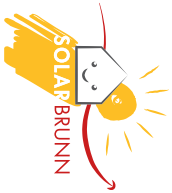


HINWEIS

2

EINSTRÄHLWINKEL

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



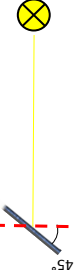
EINSTRALHWINKEL

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe

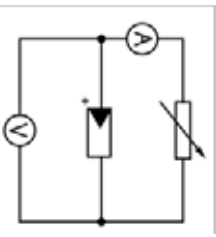


Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

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

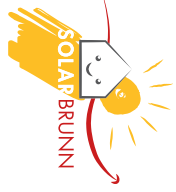


Ihr wählt die erste Einstellung für den Winkel. Wie könnt ihr nun dazu eine Kennlinie erstellen? Wie werdet ihr dabei vorgehen?

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?



EINSTRÄHLWINKEL

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



LÖSUNG 4

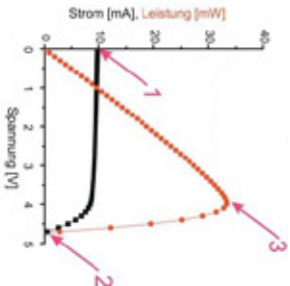
EINSTRÄHLWINKEL

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

EINSTRÄHLWINKEL

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

EINSTRÄHLWINKEL

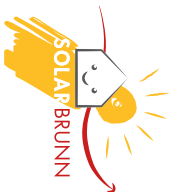
Erinnert euch daran, wo in der U-I-Kennlinie der Punkt maximaler Leistungsabgabe ungefähr liegt. Welche Werte aus der U-I-Kennlinie sind daher für die Leistungs-Spannungs-Kurve besonders interessant?



HINWEIS 6

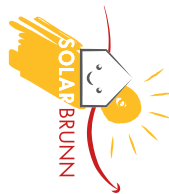
EINSTRÄHLWINKEL

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

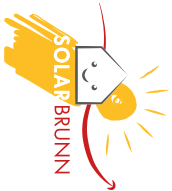
1 BESTRAHLUNGSSTÄRKE

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?



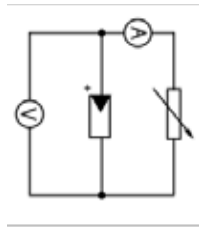
BESTRAHLUNGSSTÄRKE

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 Beamer als Lichtquelle verwenden, können auch wir einfach unterschiedliche Bilder (weiß – Graustufen – schwarz) einblenden.



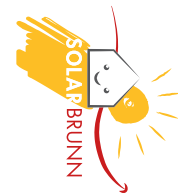
Um den MPP zu bestimmen, müssen wir zunächst eine Kennlinie aufnehmen. Dafür brauchen wir ein Amperemeter zur Strommessung, ein Voltmeter zur Spannungsmessung und einen regelbaren Widerstand (Potentiometer). Diese werden folgendermaßen mit der Solarzelle verschaltet: Das Amperemeter und den Widerstand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

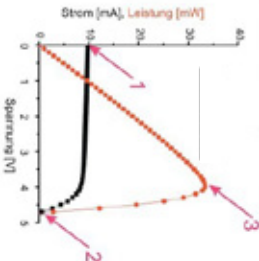
Auf Basis der Kennlinie können wir eine Leistungs-Spannungskurve erstellen. Dazu müssen wir die Messwerte für Strom und Spannung miteinander multiplizieren, um den jeweiligen Leistungswert zu erhalten ($P=U \cdot I$). Wir müssen dabei nicht alle Werte verwenden, sondern vor allem die im Bereich des Punkts 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.

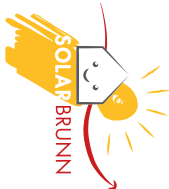
Die aus den Messwerten berechneten Leistungswerte tragen wir anschließend auf der vertikalen Achse und die zugehörigen Spannungswerte auf der horizontalen Achse eines Koordinatensystems auf. Hier finden wir ein Beispiel für eine U-I-Kennlinie (schwarz) und eine dazugehörige Leistungs-Spannungs-Kurve (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

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

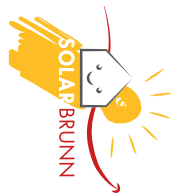


Wiederholt diesen gesamten Vorgang für drei weitere Einstellungen.
Wie könnt ihr nun die Punkte maximaler Leistung für jede Einstellung miteinander vergleichen?



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.



SOLARZELLENTEMPÉRATUR

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



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:

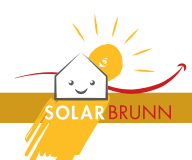
- Macht euch mit den **Messgeräten** vertraut! Wie hoch ist die Ablesegenauigkeit und entspricht sie der Genauigkeit des Geräts?
- Protokolliert den **Messvorgang:** Erstellt eine Liste mit verwendeten Materialien und eine Versuchsskizze und notiert, wie ihr bei der Datenerhebung vorgegangen seid.
- 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

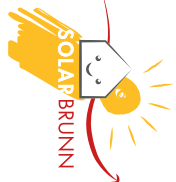
1 SOLARZELLENTEMPÉRATUR



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

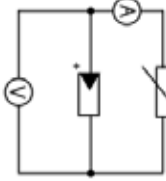
Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



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

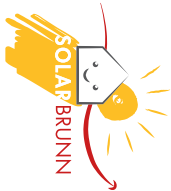


Um den MPP zu bestimmen, müssen wir zunächst eine Kennlinie aufnehmen. Dafür brauchen wir ein Amperemeter zur Strommessung, ein Voltmeter zur Spannungsmessung und einen regelbaren Widerstand (Potentiometer). Diese werden folgendermaßen mit der Solarzelle verschaltet: Das Amperemeter und den Widerstand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

SOLARZELLENTemperatur

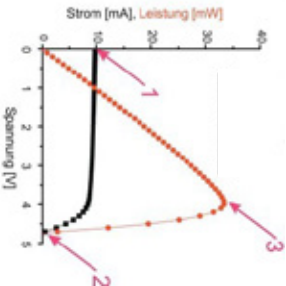
Auf Basis der Kennlinie können wir eine Leistungs-Spannungskurve erstellen. Dazu müssen wir die Messwerte für Strom und Spannung miteinander multiplizieren, um den jeweiligen Leistungswert zu erhalten ($P=U \cdot I$). Wir müssen dabei nicht alle Werte verwenden, sondern vor allem die im Bereich des Punktes 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

SOLARZELLENTemperatur

Wir wissen bereits, dass der Punkt maximaler Leistungsabgabe im „Knick“ der Kennlinie liegt. Deshalb werden wir besonders im Bereich des „Knickes“ 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

SOLARZELLENTemperatur

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?

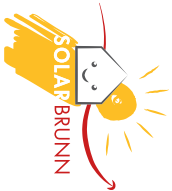


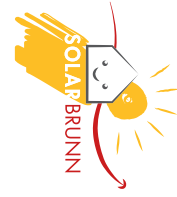
HINWEIS

6

SOLARZELLENTemperatur

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

1 **VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG**

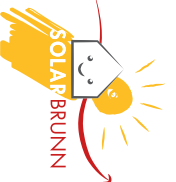


Erklärt euch in eurer Experimentiergruppe gegenseitig die Aufgabenstellung für eure Untersuchung und versucht herauszufinden, ob euch noch etwas unklar ist.

Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

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?



VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



LÖSUNG 2A VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

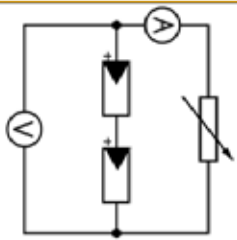
BESCHATTUNG

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

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.

HINWEIS 3 VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

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?

↓ Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.



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.

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?



LÖSUNG 4

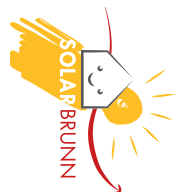
VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

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 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

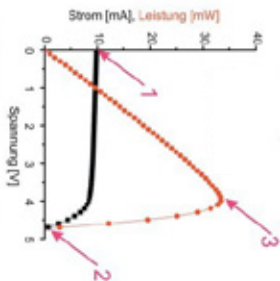
Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



LÖSUNG 5

VERSCHALTETE SOLARZELLEN UND BESCHATTUNG

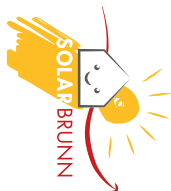
Da der Punkt maximaler Leistungsabgabe im „Knick“ der Kennlinie liegt, ist es günstig im Bereich des „Knicks“ der Kennlinie relativ viele Werte für Stromstärke und die Spannung zu wählen. Daraus können wir dann die Leistung berechnen. Die aus den Messwerten berechneten Leistungswerte tragen wir anschließend 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

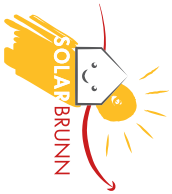
Wiederholt diesen gesamten Vorgang für drei weitere Einstellungen.
Wie könnt ihr nun die Punkte maximaler Leistung jeder Einstellung miteinander vergleichen?



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.

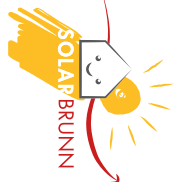
LÖSUNG

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

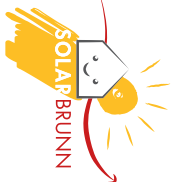
2 SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS



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

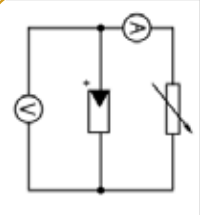
Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 3/Oberstufe



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.

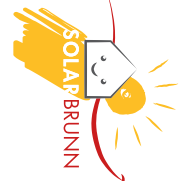


Um den MPP zu bestimmen müssen wir eine Kennlinie aufnehmen. Dazu brauchen wir ein Amperemeter zur Strommessung, ein Voltmeter zur Spannungsmessung und einen regelbaren Widerstand (Potentiometer). Diese werden folgendermaßen mit der Solarzelle verschaltet: Das Amperemeter und den Widerstand schalten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

LÖSUNG 3 SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS

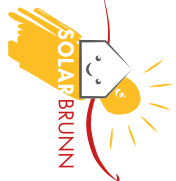
Wir haben jetzt eine Farbfolie gewählt (z.B. blau) und fixieren sie vor der Lichtquelle. Nun vergrößern wir den Widerstandswert am Potentiometer in kleinen Schritten. (Die Spannung ändert sich dabei um ca. 25 – 50 mV.) Für jede Widerstandseinstellung notieren wir dann den jeweiligen Stromstärke- und 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

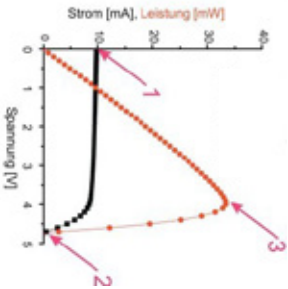
SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS

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.



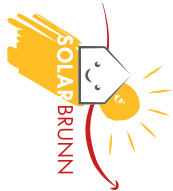
Die aus den Messwerten berechneten Leistungswerte tragen wir anschließend auf der vertikalen Achse und die zugehörigen Spannungswerte auf der horizontalen Achse eines Koordinatensystems auf. Hier finden wir ein Beispiel für eine U-I-Kennlinie (schwarz) und eine dazugehörige Leistungs-Spannungskurve (rot). 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.

Falten und zu doppelseitiger Karte zusammenkleben.

HINWEIS 5

SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS

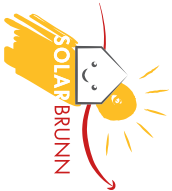
Erinnert euch daran, wo in der U-I-Kennlinie der Punkt maximaler Leistungsabgabe ungefähr liegt. Welche Werte aus der U-I-Kennlinie sind daher für die Leistungs-Spannungskurve besonders interessant?

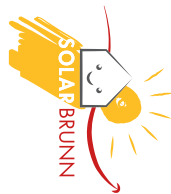


HINWEIS 6

SPEKTRALE VERTEILUNG DES LICHTS

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





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.

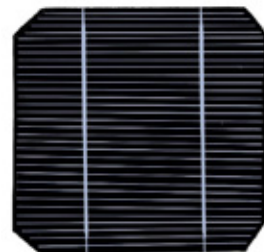
1

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

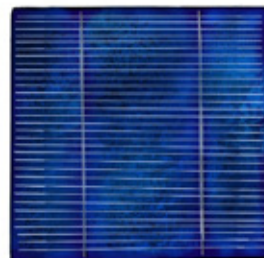
Quarzsand ist Siliziumoxid (SiO_2). Für die Produktion von Solarzellen benötigt man jedoch reines Silizium (Si). Silizium muss daher zunächst mit Hilfe eines chemischen Verfahrens bei hohen Temperaturen hergestellt werden. Das erhaltene Rohsilizium wird nun gereinigt und anschließend eingeschmolzen. 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

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

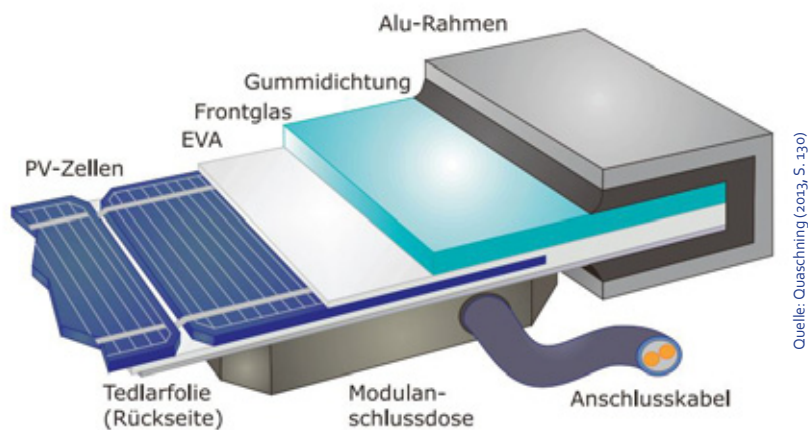
DEN PFLANZEN NACHGEMACHT – DIE GRÄTZEL-ZELLE

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

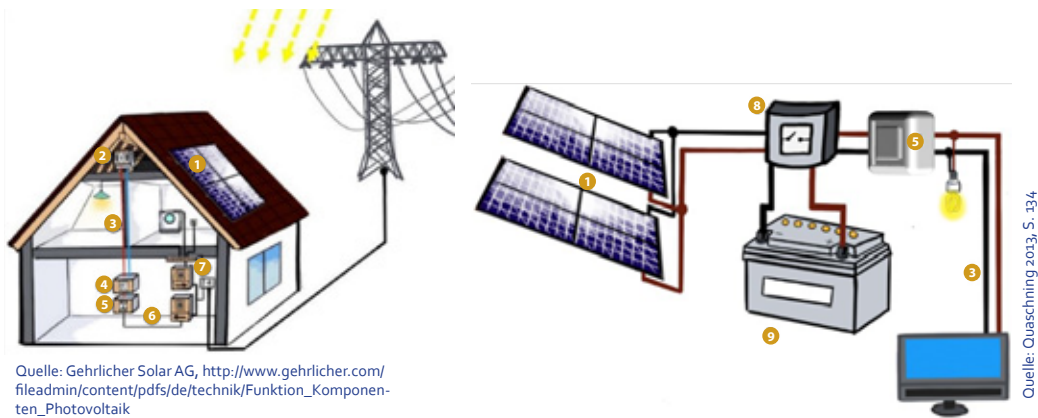
Lernumgebung „Eine sonnige Zukunft?“ Lerneinheit 4/Oberstufe



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

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 m² 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.

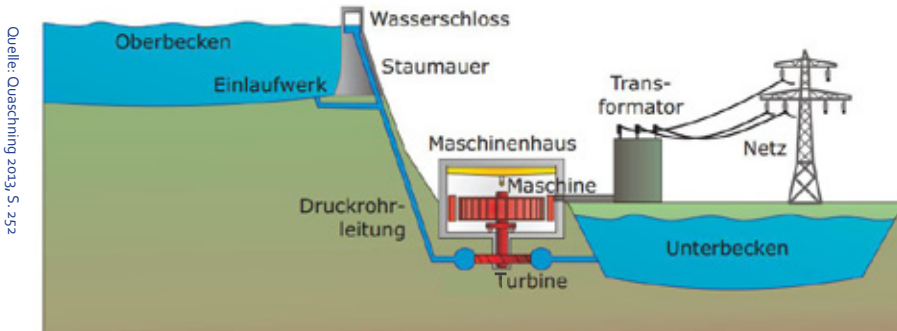




1

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. m³ 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/m³ 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.



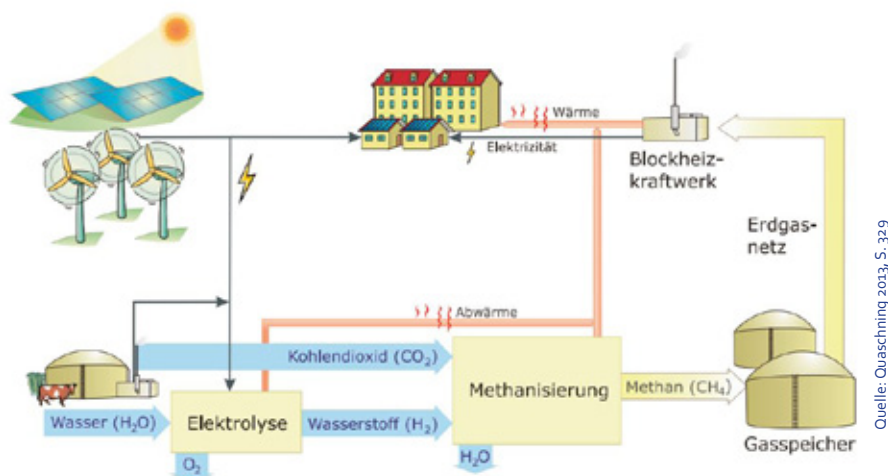


Lithium-Ionen-Akkus haben eine deutlich höhere Lebensdauer als Blei-Akkus: während Blei-Akkus zwischen 5 und 10 Jahre halten, können Lithium-Ionen-Akkus bis zu 20 Jahre lang verwendet werden. Darüber hinaus haben Lithium-Ionen-Akkus eine höhere Energiedichte (Li-Akkus: 300 kWh/m³, Blei-Akkus: 70 kWh/m³) 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 (O₂) und Wasserstoff (H₂) 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.

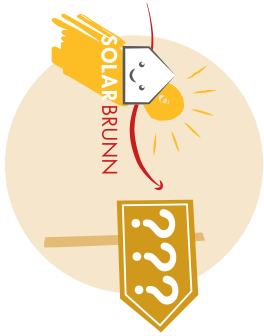


Quelle: Quaschnig 2013, S. 329

Um den hergestellten Wasserstoff besser nutzen zu können, kann aus diesem unter Verwendung von Kohlenstoff auch Methan (CH₄) 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 (H₂: 400 kWh/m³, CH₄: 1200 kWh/m³), weshalb es sich besser für die Energiespeicherung eignet. Als Kohlenstofflieferant kann z.B. Kohlenstoffdioxid (CO₂) 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



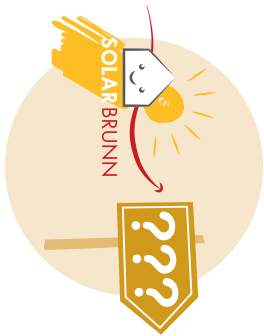
Gruppe 1 liest das Infoblatt 5A zur **Herstellung von Solarzellen**. Klärt gemeinsam die wichtigsten Aspekte des Themas, streicht wichtige Informationen an und macht euch Notizen, damit ihr euren Kolleg_innen später erklären könnt, worum es bei eurem Thema geht.

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



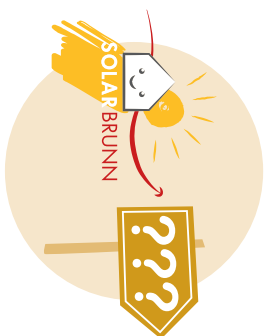
Gruppe 2 liest das Infoblatt 5B zu den **Bestandteilen einer PV-Anlage**. Klärt gemeinsam die wichtigsten Aspekte des Themas, streicht wichtige Informationen an und macht euch Notizen, damit ihr euren Kolleg_innen später erklären könnt, worum es bei eurem Thema geht.

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

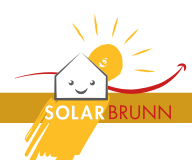
WER MUSS VON DER TEILNAHME WISSEN? WER SOLLTE ZUM PLANUNGSTEAM DES PROJEKTS GEHÖREN?

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?

