

SOLARbrunn: mit der Sonne in die Zukunft!



„Eine sonnige Zukunft?“

*Lernumgebung
Unterstufe*



universität
wien

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
Boltzmanngasse 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. Das Projekt wurde im Rahmen des Programms Sparkling Science, gefördert vom Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, 2014-2017 durchgeführt.



bmw

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.

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>

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.

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	2,5	<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	1,5	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Herstellung von Solarzellen ✓ Bestandteile von Photovoltaik-Anlagen ✓ Energiespeicherung
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?“	7	

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 für die Zukunft sicherstellen 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	Inhalte
1 Stunde	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Elektrische Energie und Leistung ✓ Bildung für nachhaltige Entwicklung
Lernziele	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Die Schüler_innen können die Allgegenwärtigkeit und Unentbehrlichkeit der Nutzung elektrischer Energie im Alltag erkennen, um im Hinblick auf den eigenen Umgang mit Ressourcen und Energie verantwortungsbewusst 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 Formen der Primärenergie bereitgestellt werden. Dabei unterscheidet man zwischen erneuerbaren Energieformen, bei denen die Primärenergie ständig (von der Sonne) nachströmt und nicht erneuerbaren Energieformen, wo bei der Bereitstellung elektrischer Energie auf Energiespeicher wie etwa Kohle, Erdöl und Erdgas oder Uran zurückgegriffen wird, die nur in begrenzten Mengen zur Verfügung stehen (bzw. sich nur in sehr langen Zeiträumen regenerieren.)
- 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 und Magnete oder Tixo
- **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 gesammelt sowie die Frage der nachhaltigen Energieversorgung diskutiert.

Zeit	Phase	Aktivität der Lehrperson	Aktivität der Schüler_innen
Elektrizität als unentbehrlicher Bestandteil des Alltags			
5 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, für welche Dienstleistungen sie dabei elektrische Energie eingesetzt haben.</p> <p>Methodische Gestaltung³: 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 im Alltag 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>
10 min	Elicit	<p>Schlussendlich werden auf der Energierechnung die Dienstleistungen, 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? 	

³ Weitere Beschreibungen zur methodischen Gestaltung sind von nun an immer in grauer Farbe unterlegt.

		<p>2. <i>Kann man damit auch ein Smartphone laden? Wenn ja, wie oft?</i></p> <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>
<p>20 min</p>	<p>Explore</p>	<p>Frage: <i>Ihr seid mit eurer Familie auf Urlaub in einer abgelegenen Ferienhütte im Wald. Leider habt ihr nicht damit gerechnet, dass es keinen Stromanschluss gibt und habt keinen mobilen Akku für euer Smartphone mitgenommen. Das einzige, was ihr finden könnt, ist ein Handgenerator. Wie könnt ihr damit euer Smartphone laden? Überlegt, welche Energieumwandlungen stattfinden!</i></p> <p>Methode: <i>Think-Pair-Share</i> (vgl. Methodenblatt dazu)</p> <p>Die Lehrperson kann kurz auf Geräte eingehen, mit denen Bewegungsenergie in elektrische Energie umgewandelt werden kann (siehe zusätzl. Informationen für Lehrkräfte).</p> <p>Frage: <i>Wie lange dauert es, bis ihr mit dem Handgenerator das Smartphone aufgeladen habt? Wie anstrengend ist es, das Smartphone mit der eigenen Muskelkraft aufzuladen? Welche Tätigkeiten sind ähnlich anstrengend?</i></p> <p>Falls möglich Schülerexperiment mit Handgenerator (siehe zusätzliche Informationen für Lehrkräfte). Alternativ oder zusätzlich: Beispiele anderer Aktivitäten nennen, die ca. dieselbe Menge an Arbeit</p>	<p>Die Schüler_innen besprechen in einer Think-Pair-Share-Aktivität die Funktionsweise eines Handgenerators.</p> <p>Die Schüler_innen probieren selbst aus, wie anstrengend es wäre, die benötigte elektrische Energie durch Umwandlung aus Bewegungsenergie bereitzustellen.</p>

		<p>erfordern (z.B. vergleichen mit Hochheben eines Kübels – siehe auch zusätzliche Informationen für Lehrkräfte).</p> <p>Frage: Welche anderen Möglichkeiten, gibt es, die Energie für eine Smartphoneladung bereit zu stellen?</p> <p>Eine Ideensammlung in Kleingruppen wird angeleitet.</p> <p>Jede Gruppe erhält Kärtchen zur Verschriftlichung, die an der Tafel gesammelt und besprochen werden.</p> <p>Medien: Kärtchen (A6) und Magnete oder Klebeband</p>	<p>Die Schüler_innen sammeln und besprechen in der Gruppe Ideen, notieren diese auf Kärtchen und heften sie an die Tafel.</p>
10 min	Explain	<p>Frage: Welche der genannten Möglichkeiten der Energiebereitstellung sind nachhaltig?</p> <p>Phase 1: Die Karten werden gemeinsam in zwei Kategorien (nachhaltig/nicht nachhaltig) geordnet.</p> <p>Phase 2: Methode: Think-Pair-Share</p> <p>Die Schüler_innen werden aufgefordert, anhand der aufgelisteten Beispiele zu erklären, was der Begriff nachhaltig bedeutet.</p> <p>Die Lehrkraft arbeitet mit den Schüler_innen anhand der Beispiele den Nachhaltigkeitsbegriff heraus.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die einzelnen Aspekte werden auf Karten geschrieben. - Die Karten werden geclustert. Gemeinsam mit den Schüler_innen wird nach Oberbegriffen gesucht. - Vergleich mit dem Drei-Säulen-Modell (Abbildung in der PPT) . - Klärung der Begriffe „ökonomisch“, „ökologisch“ und „sozial“ . 	<p>Phase 1: Die Schüler_innen teilen die Möglichkeiten der Energiebereitstellung im Plenum in nachhaltig / nicht nachhaltig ein.</p> <p>Phase 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Suche einer Definition für Nachhaltigkeit nach dem Think-Pair-Share Prinzip. - Die Schüler_innen erklären anhand der von ihnen ausgewählten Beispiele, was sie unter nachhaltiger Bereitstellung von Energie verstehen. Darauf aufbauend wird eine Definition für den Begriff nachhaltig gesucht und mit dem 3-Säulen-Modell verglichen. - Ausarbeiten im Plenum: Bezug zwischen den 3 Säulen der Nachhaltigkeit und Energieversorgung

„EINE SONNIGE ZUKUNFT?“

<p>5 Min</p>	<p><i>Evaluate</i></p>	<p>Frage: Was bedeutet nachhaltige Energieversorgung? Warum spricht man oft auch von regenerierbaren und nicht regenerierbaren Energieträgern? Erläutere anhand von zwei Beispielen!</p> <p>Die Antworten werden in Paarbeit erarbeitet, verschriftlicht und abgegeben.</p>	<p>Die Schüler_innen erarbeiten zu zweit eine Definition von nachhaltiger Energieversorgung und erklären erneuerbare und nicht erneuerbare Energieträger SCHRIFTLICH in eigenen Worten.</p>
-------------------------	------------------------	--	--

Beilagen

- Zusätzliche Informationen für Lehrkräfte

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

Beilage

Zusätzliche Informationen für Lehrkräfte

Bedeutung der elektrischen Energie im Alltag:

Den Schüler_innen soll hier nicht nur die eigene Nutzung von elektrischer Energie bewusstgemacht 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 oder man verwendet die bereits 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)

Materialtipps fürs Experimentieren:

- 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
- Dynamo-Ladegerät, z.B. revolt Universal-Dynamo-Ladegerät für Handy & USB-Geräte (<https://www.pearl.at/a-NC5026-1420.shtml>) oder auch die sogenannten Dynamo-Powerbanks, z.B.: Eton BoostTurbine 1000mAh tragbare Backup-Akku-Ladegerät für Smart Phones

Eine sonnige Zukunft?

2. Welche Bedeutung hat Photovoltaik für die Bereitstellung von elektrischer Energie?

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 direkte Umwandlung von Solarenergie in elektrische Energie helfen PV-Anlagen, 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 Bereitstellung elektrischer Energie liefern kann.



Quelle: www.volker-quaschnig.de

Zeit

1 Stunde

Inhalte

- ✓ Nachhaltige Bereitstellung elektrischer Energie
- ✓ Photovoltaik: Funktion und Vorzüge

Lernziele

- ✓ Die Schüler_innen können die Funktionsweise einer Solarzelle und den Ablauf der Umwandlung von 1 Stunde Lichtenergie in elektrische Energie grafisch 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 der 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 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.

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

- Die Sonne in Österreich reicht nicht, um damit eine PV-Anlage zu betreiben.
- Solarstrom ist zu teuer.

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 1:** *Die Umwandlung von Licht in elektrische Energie*

Didaktische Umsetzung

In dieser Einheit erfolgt zunächst eine Einleitung in die Funktionsweise einer Solarzelle und die Frage, wie man damit das Smartphone laden kann. 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	<i>Engage</i>	<p>Frage: <i>Wie kann man ein Smartphone mit Solarenergie aufladen?</i></p> <p>Methode: <i>Think-Pair-Share</i></p> <p>Die Ideen werden im Plenum gesammelt. Die Lehrperson erhält somit einen Überblick über das Vorwissen der Schüler_innen sowie mögliche Alltagsvorstellungen.</p>	Die Schüler_innen überlegen alleine und besprechen ihre Ideen zu zweit. Anschließend teilen sie ihre Einfälle / ihr Vorwissen im Plenum.
20 min	<i>Explore/Explanation</i>	<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“ und das Arbeitsblatt 1 „Die Umwandlung von Licht in elektrische Energie“ aus.</p> <p>Im Arbeitsblatt verwendete Methode: <i>Filmleiste¹</i></p>	Die Schüler_innen lesen das Infoblatt individuell. Wenn sie damit fertig sind, bearbeiten das zugehörige Arbeitsblatt zu zweit.

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>15 min</p>	<p><i>Explain</i></p>	<p>Frage: <i>Wie funktioniert eine Solarzelle?</i></p> <p>Die Lehrperson erstellt einen eigenen Filmstreifen an der Tafel analog zum Arbeitsblatt 1. Dieser wird im Klassengespräch mit Hilfe der Schüler_innen-Inputs vervollständigt und von den Schüler_innen ins Heft / in ihre Notizen übernommen (vgl. Lösungsvorschlag).</p> <p>Die Lehrer_in moderiert primär den Dialog zwischen den Schüler_innen. Nur wenn es den Schüler_innen nicht gelingt, Probleme zu klären, greift die Lehrkraft ein.</p>	<p>Die Schüler_innen teilen ihre einzelnen Abbildungen und Beschreibungen im Plenum. Sie korrigieren und ergänzen ihre Notizen entsprechend dem gemeinsam erstellten Filmstreifen.</p>
<p>10 min</p>	<p><i>Elaborate</i></p>	<p>Frage: <i>Was sind Stärken der Photovoltaik?</i></p> <p>Phase 1: Die Schüler_innen erarbeiten in Einzel- und Partnerarbeit mögliche Stärken der Photovoltaik.</p> <p>Phase 2: In Gruppenarbeit werden die Ideen weiter ausgebaut und auf Kärtchen notiert. Die Lehrperson erstellt drei Spalten an der Tafel, die den Säulen der Nachhaltigkeit entsprechen. Die Stärken werden gemeinsam den einzelnen Spalten zugeordnet.</p> <p>Phase 3: Die Stärken der Photovoltaik werden gemeinsam besprochen. Ein Infotext dazu findet sich in den Informationen für Lehrkräfte.</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 Schüler_innengruppen stellen ihre Karten an der Tafel vor. Die anderen können Fragen stellen und ergänzen.</p>

Beilagen

- Lösungsvorschlag: *Die Umwandlung von Licht in elektrische Energie*
- Infoblatt für Lehrkräfte: *Warum eigentlich Photovoltaik?*

Weiterführende Themen

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

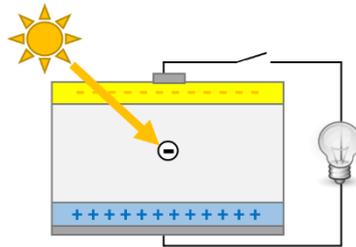
Weiterführende Informationen

- [https://www.bmfwf.gv.at/EnergieUndBergbau/Energiebericht/Documents/Energies-tatus %202016.pdf](https://www.bmfwf.gv.at/EnergieUndBergbau/Energiebericht/Documents/Energies-tatus-%202016.pdf)
- <https://www.volker-quaschnig.de/>

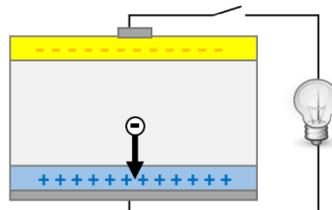
Beilage 1

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

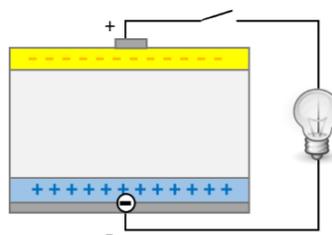
1. In der neutralen Siliziumschicht sind die Elektronen an ihre Atomkerne gebunden. Trifft Licht mit ausreichend großer Energie auf die Solarzelle, dann können sich die Elektronen mit dieser Energie aus ihren Bindungen lösen. Sie können sich dann im Silizium frei bewegen.



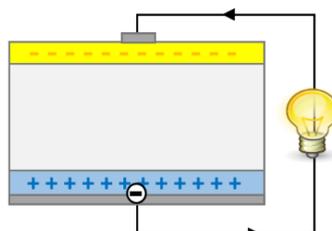
2. In der neutralen Schicht herrscht ein elektrisches Feld: auf die freien Elektronen wirkt also eine elektrische Kraft. Die Elektronen bewegen sich nun zur positiven Schicht.



3. Die Elektronen werden an dem Kontakt, der an der positiven Schicht anliegt, gesammelt. Durch diese ungleiche Verteilung der negativen Ladungen entsteht eine elektrische Spannung zwischen den beiden Kontakten.



4. Wird der Stromkreis geschlossen, dann fließt wegen der Spannung zwischen den beiden Kontakten Strom und die Elektrogeräte im Stromkreis können elektrischer Energie in die gewünschte Energiedienstleistung umwandeln.



Beilage 2

Infoblatt für Lehrkräfte: *Warum überhaupt Photovoltaik?!*

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 Bestrahlungsstärken⁶, 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 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, Instal-

⁶ Die Bestrahlungsstärke beschreibt die Energie elektromagnetischer Strahlung, die pro m² und Sekunde auftrifft. Sie wird in W/m² angegeben (Leistung pro Fläche). Sie hängt von äußeren Einflüssen wie Tageszeit, Jahreszeit, Bewölkungsgrad bzw. Dunst ab und beträgt auf der Oberfläche zwischen ca. 50 W/m² und 1.000 W/m².

lation, 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.

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. (Allerdings birgt der Betrieb einer PV-Anlage jedoch ein gewisses Verletzungsrisiko für ihre Nutzer durch hohe Spannungen an den Leitungen der Module). 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 kann. 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 noch 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 werden. 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 Solar-energie, 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.

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 einer Reihe von 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
2,5 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 den Datenerhebungsprozess dokumentieren und die erhobenen Daten analysieren und interpretieren. (E4)
- ✓ Die Schüler_innen können die experimentellen Ergebnisse 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.
- Die elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle steigt mit der Bestrahlungsstärke des einfallenden Lichts, also mit der Energie, die auf eine gewisse 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.
- Eine Untersuchung beginnt mit einer konkreten untersuchbaren Fragestellung.
- Um ein Phänomen zu untersuchen, müssen zunächst relevante Größen (Parameter) ausgewählt werden, die das Phänomen beschreiben. Bei einer einzelnen

Untersuchung darf dann immer nur ein Parameter variiert werden, die anderen Parameter 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.
- 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.
- Schüler_innen variieren mehrere Parameter gleichzeitig.
- Es besteht eine gewisse Schwierigkeit darin, kausale Zusammenhänge zwischen einzelnen Variablen im Experiment zu erkennen.
- 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 2:** *Experimente in der Forschung*
 - **Arbeitsblatt 2a** zum Thema *Einstrahlwinkel*
 - **Hilfe- und Antwortkarten** zur Messplanung: *Einstrahlwinkel*
 - **Hilfe- und Antwortkarten** zum Experimentieren: *Einstrahlwinkel*
 - **Arbeitsblatt 2b** zum Thema *Bestrahlungsstärke*
 - **Hilfe- und Antwortkarten** zur Messplanung: *Bestrahlungsstärke*
 - **Hilfe- und Antwortkarten** zum Experimentieren: *Bestrahlungsstärke*
 - **Arbeitsblatt 2c** zum Thema *Solarzellentemperatur*
 - **Hilfe- und Antwortkarten** zur Messplanung: *Solarzellentemperatur*
 - **Hilfe- und Antwortkarten** zum Experimentieren: *Solarzellentemperatur*
 - **Arbeitsblatt 2d** zum Thema *Lichtfarbe*
 - **Hilfe- und Antwortkarten** zur Messplanung: *Lichtfarbe*
 - **Hilfe- und Antwortkarten** zum Experimentieren: *Lichtfarbe*
 - **Arbeitsblatt 3:** *Haben wir heute geforscht?*
- **Methodenblatt:** „Aushandeln“ (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 ich achten, damit das Smartphone mit einer Solarzelle so schnell wie möglich aufgeladen wird?</p> <p>Methode: Think-Pair Share</p> <p>Die Ergebnisse werden an der Tafel gesammelt und gegebenenfalls durch die Lehrkraft ergänzt.</p>	Die Schüler_innen bearbeiten die Frage nach dem Think-Pair-Share-Prinzip.
10 min	Explore	<p>Frage: Welche messbaren Faktoren beeinflussen die maximale elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle?</p>	

		<p>Die Lehrkraft wählt 4 bis 5 Aspekte aus und nummeriert sie durch.</p> <p>Gemeinsam werden die Faktoren (Parameter) benannt, die in den einzelnen Fällen die elektrische Leistung beeinflussen. Ggf. müssen die Faktoren ergänzt werden oder auch ein kurzer Input zu den Faktoren gegeben werden,</p>	<p>Nach einer kurzen Bedenkzeit, nennen die Schüler_innen Faktoren, welche die elektrische Leistung in den ausgewählten Fällen beeinflussen.</p>
15 min	Explain	<p>Frage: <i>Wie beeinflussen diese Faktoren die maximale elektrische Leistungsabgabe einer Solarzelle? Stelle eine Vermutung auf!</i></p> <p>Methode: Aushandeln</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Je nach Anzahl der ausgewählten Parameter¹ zu denen Experimente durchgeführt werden sollen, zählen die Schüler_innen entsprechend durch. 2. Sie notieren zunächst ihre Vermutung zu dem ihnen zugeteilten Parameter individuell 3. Sie tauschen die Vermutung mit einer weiteren Schüler_in aus, der derselbe Parameter zugeteilt wurde. 4. Der Austausch wird in der 4er oder 6er Gruppe wiederholt. 5. Jede Gruppe schreibt ihre Hypothese auf die Tafel. 6. Die Hypothesen werden im Plenum diskutiert. 	<p>Die Schüler_innen versuchen zu klären, wie die Faktoren/Parameter die elektrische Leistung beeinflussen. Sie werden von der Lehrkraft nach Bedarf unterstützt.</p>

¹ Für folgende Parameter wurden Aufgaben entwickelt:

1. Einfallswinkel des Lichts
2. Bestrahlungsstärke des Lichts
3. Temperatur der Solarzelle
4. Spektrale Verteilung des Lichts
5. Widerstand des Elektrogerätes

Messplanung			
20 min	Elaborate	<p>Messplanung in Gruppen: Fragen: Was wollt ihr klären? Welche Vermutung habt ihr dazu? Welche Faktoren wollt ihr messen? Welche Faktoren müsst ihr kontrollieren? Was braucht ihr dazu? Wie wollt ihr den Aufbau konkret realisieren?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Infoblatt 2 „Experimente in der Forschung“ austeilten und klären, was bei Experimenten in der Wissenschaft wichtig ist. 2. Austeilten der Arbeitsblätter 2a-2d. Festlegen einer Untersuchungsfrage und gemeinsames Besprechen (Aufgabe 1, Phase 1). Maximal sollten 4 Schüler_innen an einer Aufgabe arbeiten. Größere Gruppen arbeiten parallel am gleichen Thema. 3. Messplanung: Die restlichen Aufgaben von Phase 1 des Arbeitsblatts werden in den Experimentiergruppen bearbeitet. Sie sollen dazu eine kurze Präsentation vorbereiten. Als Unterstützung werden Hilfekarten für die Messplanung zur Verfügung gestellt, die an zentraler Stelle (z.B. Tisch der Lehrkraft) aufliegen. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die Schüler_innen lesen den Text des Infoblattes (individuelles oder gemeinsames Lesen). Anschließend Besprechung im Plenum. 2. Die Experimentiergruppen arbeiten in Kleingruppen mit dem jeweiligen Arbeitsblatt (2a, 2b, 2c oder 2d) und entwickeln eine Fragestellung, die im Plenum geteilt und besprochen wird. 3. Die Schüler_innen bearbeiten die restlichen Aufgaben zur Messplanung (Phase 1) und bereiten eine kurze Präsentation ihrer Messplanung vor. Sie können dabei Hilfekarten verwenden. <p>Die Lernenden sollten immer nur eine Hilfekarte mitnehmen. Die nächste erhalten sie erst, wenn sie die erste zurückgebracht haben.</p>
20 min	Elaborate	<p>Präsentation der Messplanung: Frage: Was wurde von den einzelnen Gruppen geplant? Wie kann diese Planung noch optimiert werden? Worauf muss bei der Messung geachtet werden?</p> <p>Präsentation der Gruppenplanungen im Plenum. Die Lehrperson blendet vor jeder Präsentation</p>	<p>Die einzelnen Gruppen präsentieren ihre Planungen. Der Rest der Klasse reagiert anhand der Feedback-Fragen</p>

		<p>Feedback-Fragen auf der PPT ein.</p> <p>Frage: <i>Worin liegen Unterschiede zwischen der Gruppenplanung und der optimierten Planung im Plenum?</i></p> <p>Anleitung einer Reflexion in den einzelnen Gruppen und anschließend im Plenum an. Reflexionsfragen finden sich in der PPT-Präsentation.</p>	<p>auf der PPT. Die Planung wird ggf. gemeinsam bearbeitet und erweitert.</p> <p>Besprechung der Unterschiede zwischen der ursprünglichen Planung und der optimierten Planung entlang der Reflexionsfragen in der PPT und Diskussion im Plenum.</p>
Durchführung der Messungen und Diskussion der Ergebnisse			
30 min	<i>Elaborate</i>	<p>Durchführung der Messungen</p> <p>Die Lehrperson betreut die Messungen der Schüler_innen und stellt Hilfekarten für das Experimentieren zur Verfügung.</p>	<p>Die Schüler_innen führen die Experimente durch und protokollieren ihre Durchführung sowie die Ergebnisse auf dem Arbeitsblatt 2a/b/c/d. Sie können dabei Hilfekarten für das Experimentieren in Anspruch nehmen.</p>
20 min	<i>Elaborate</i>	<p>Präsentation der Ergebnisse:</p> <p>Frage: <i>Was sagen die Daten über die optimalen Bedingungen für die maximale elektrische Leistung einer Solarzelle aus?</i></p> <p>- Vorbereitung: Die Lehrkraft zeigt die Leitfragen zur Diskussion (siehe PPT und Arbeitsblätter 2a-2d).</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.</p>	<p>Die Experimentiergruppen besprechen die Leitfragen zur Diskussion im Arbeitsblatt 2a/b/c/d.</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			
20 min	Evaluate	<p>Reflexion des Experimentierprozesses: Frage: <i>Haben wir heute geforscht?</i> Methode: „Aushandeln“ (vgl. Methodenblatt dazu)</p> <p>Die Lehrperson teilt das Arbeitsblatt 3 „Haben wir heute geforscht?“ aus und leitet die Aktivität an. Gemeinsamer Abschluss im Plenum.</p>	<p>Die Schüler_innen bearbeiten das Arbeitsblatt 3 und führen die Aktivität „Aushandeln“ durch. Unstimmigkeiten etc. werden im Plenum geteilt und diskutiert.</p>

Beilagen

- Zusätzliche Informationen für Lehrkräfte
- Experimentierleitfaden für Lehrkräfte

Weiterführende Themen

- Effizienz von Solarzellen
- Nature of Science

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

Zusätzliche 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.
- 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 Schneebeleg)
- 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. (Unbeweglich montierte PV-Anlagen werden in Mitteleuropa generell nach Süden ausgerichtet und 30° zur horizontalen Ebene geneigt montiert, sofern es keine Hindernisse, reflektierenden Oberflächen oder andere permanente äußere Störfaktoren gibt.)
- Der Sonnenstand, der tageszeiten- und jahreszeitenabhängig ist.
- Der Außenwiderstand, der anliegt → Punkt maximaler Leistungsabgabe (MPP)

Die Leistung einer Solarzelle kann nur indirekt über die Spannung, die an den beiden Kontaktstellen anliegt, und den Strom, der im Stromkreis fließt, gemessen werden kann. Die Messung von Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung hingegen ermöglicht nur eine eingeschränkte Aussage über die Leistung der Solarzelle, da die Leistung nicht konstant ist, sondern von Lastwiderstand, Bestrahlungsstärke und Temperatur abhängt. Der Punkt, an dem die abgegebene elektrische Leistung am höchsten ist, wird „Maximum Power Point“ (MPP) genannt und durch die Stromstärke I_{MPP} und die Spannung U_{MPP} charakterisiert. Das Leistungsmaximum wird erreicht, wenn der Innenwiderstand und der Lastwiderstand gleich groß sind. In der Praxis ist ein sogenannter MPP-Tracker installiert, der den Widerstand an der Anschlussseite des Solarmoduls anpasst, um sicherzugehen, dass die PV-Anlage immer möglichst nahe am MPP arbeitet, auch wenn Schwankungen der Leistung aufgrund Änderungen der Bestrahlungsstärke oder der Temperatur der Solarzelle auftreten würden.

Vorbereitung der Messungen:

- 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.
- Wahl eines Widerstands: Für die Leistungsbestimmung empfiehlt, einen Widerstand zu wählen, der sicherstellt, dass die Solarzelle näherungsweise am MPP arbeitet. Dafür muss der verwendete Widerstand ungefähr denselben Wert hat wie der Innenwiderstand der Solarzelle¹. Für die Schüler_innen-Experimente kann der geeignete Widerstand bekanntgegeben werden, wenn Sie ihn im Vorfeld bestimmt haben (s. Anleitung weiter unten).

So können Sie den MPP selbst mit Hilfe folgender Schritte ermitteln:

1. Erstellen 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 beleuchteter 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

¹ Näherungsweise deshalb, weil der MPP nicht konstant ist, sondern sich durch äußere Bedingungen wie Bestrahlungsstärke und Solarzellentemperatur verschieben kann.

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.

2. 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.

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 in Lehrbüchern häufig vorgeschlagene „Experimentieren nach Kochrezept“ schult zwar einzelne, oft motorische Fähigkeiten, führt aber selten zur kognitiven Aktivierung und erzeugt ein wenig angemessenes Bild von der Rolle des Experiments in der Forschung.

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.

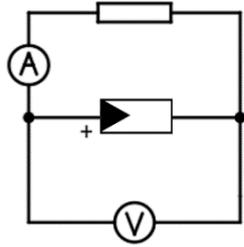
Im Zuge der anschließenden Diskussion der Messergebnisse sollte sowohl die Relevanz der erhobenen Daten für den Alltag als auch deren Genauigkeit bzw. Validität besprochen werden. Für die Messdiskussion können die Diskussionsfragen auf der Protokollvorlage verwendet werden. Die Reflexion dient dem Vergleich 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.

Informationen zu den einzelnen Messungen

Nachfolgend finden sich einige Vorschläge für die Durchführung der einzelnen Experimente. Bei allen Experimenten wird die elektrische Leistung der Solarzelle über Messungen der Spannung und der Stromstärke ermittelt. Sind nicht genug Messgeräte oder Widerstände vorhanden oder sind die Schüler_innen noch nicht sehr geübt im Umgang mit Messgeräten, können sich die Messungen auch auf den Kurzschlussstrom und/oder die Leerlaufspannung beschränken.

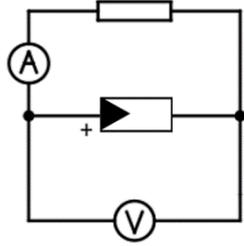
Messgeräte, Solarzelle und Widerstand werden wie in den Schaltskizzen eingezeichnet verschaltet und von der Lichtquelle in einem fixen Abstand beleuchtet. Für die Experimente sollte eine Lichtquelle mit paralleler Strahlung gewählt werden. Falls nicht vorhanden, kann mit Hilfe einer Sammellinse oder einem optischen Schlitz das divergente Licht so präpariert werden, dass man ein annähernd paralleles Strahlenbündel erhält. Die Messwerte (I , U) werden für die angegebenen Situationen gemessen und in einer Tabelle notiert. Die Leistungswerte werden berechnet. Ein Diagramm wird nach der individuellen Anleitung erstellt.

1. Einstrahlwinkel

<u>Verwendete Materialien:</u> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Solarzelle / Solarmodul ✓ Digitalmultimeter & Kabel ✓ Lichtquelle ✓ Widerstand ✓ Stativmaterial (falls notwendig) ✓ Geodreieck oder Winkelskala ✓ Evtl. Linse oder optischer Spalt 	<u>Schaltskizze:</u> 
---	---

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 Zusammenhang von elektrischer Leistung und Einstrahlwinkel wird grafisch dargestellt.

2. Bestrahlungsstärke des einfallenden Lichts

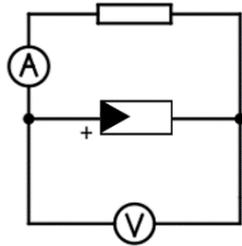
<u>Verwendete Materialien:</u> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Solarzelle / Solarmodul ✓ Digitalmultimeter & Kabel ✓ Lichtquelle ✓ Widerstand ✓ Stativmaterial (falls notwendig) ✓ Unterschiedliche Papiere und Folien oder Bilder am PC ✓ Optische Bank und Reiter (falls vorhanden) 	<u>Schaltskizze: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

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

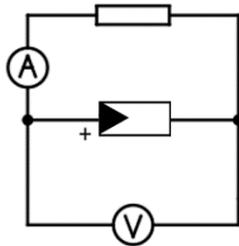
Der Zusammenhang von elektrischer Leistung und Bestrahlungsstärke kann in einem Säulendiagramm grafisch dargestellt werden, in dem die elektrische Leistung für jede Einstellung dargestellt wird. Hat man den Abstand zwischen Lichtquelle und Solarzelle verändert, kann man die Veränderung der Leistung in einem zweidimensionalen Diagramm darstellen.

3. Temperatur der Solarzelle

<p><u>Verwendete Materialien:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Solarzelle / Solarmodul ✓ Digitalmultimeter & Kabel ✓ Temperaturmessgerät (idealerweise IR-Thermometer) ✓ Lichtquelle ✓ Fön ✓ Widerstand ✓ Stativmaterial (falls notwendig) 	<p><u>Schaltskizze:</u></p> 
---	---

Die Temperatur der Zelle kann nun 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.)

4. Spektrale Verteilung des einfallenden Lichts

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

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 unter-

schiedliche Farbfolien verwendet oder im Falle der Verwendung eines Beamers einfach Bilder in verschiedenen Farben eingeblendet werden. Der Zusammenhang von elektrischer Leistung und Lichtfarbe kann grafisch dargestellt werden, indem ein Säulendiagramm erstellt wird, mit dem die Höhe der Säulen (=elektrische Leistung) für jede der Einstellungen verglichen wird.

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 von Sonnenenergie 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	Inhalte
1,5 Schulstunden	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Herstellung von Solarzellen ✓ Bestandteile von Photovoltaik-Anlagen ✓ Energiespeicherung
Lernziele	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Die Schüler_innen können wichtige Schritte im Herstellungsprozess von Solarzellen bis hin zum Solarmodul beschreiben. (W₁) ✓ Die Schüler_innen können die wichtigsten Komponenten einer PV-Anlage benennen und deren Funktionsweise erläutern sowie unterschiedliche Anlagentypen beschreiben. (W₁) ✓ Die Schüler_innen können unterschiedliche Möglichkeiten der Energiespeicherung beschreiben und deren Potential für die Photovoltaik aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten. (W₁, 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 wiederum miteinander verschaltet werden.
- PV-Anlagen können mit dem öffentlichen Stromnetz gekoppelt oder als Inselanlagen unabhängig vom Netz betrieben werden. Auch eine Kombination der beiden Optionen ist möglich.
- Bei Inselanlagen kann die Energieversorgung nur unter Verwendung von Energiespeichern sichergestellt werden.
- Ein großes Entwicklungsfeld in der Nutzung von Solarenergie liegt in der Nutzbarmachung bzw. der Speicherung von überschüssig vorhandener Energie.

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.
- 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 3a:** *Vom Sandkorn zur Solarzelle - Materialien und Herstellungsvarianten*
 - **Infoblatt 3b:** *Einmal aufbauen, bitte! - Bestandteile einer PV-Anlage*
 - **Infoblatt 3c:** *Wohin damit? - Möglichkeiten der Energiespeicherung*
 - **Leitfragen** für die Stationen
- **Methodenblatt:** „*Expert_innenkongress*“ (siehe separate Datei)

Didaktische Umsetzung

Ausgehend von den vielfältigen Anwendungsgebieten der Photovoltaik im Alltag, erarbeiten die Schüler_innen in einem Expert_innenkongress, die Funktionsweise und die Bauarten von Solarzellen sowie die einzelnen Bestandteile einer PV-Anlage und die Möglichkeiten der Energiespeicherung.

Zeit	Phase	Aktivität der Lehrperson	Aktivität der Schüler_innen
Wiederholung: Bedeutung der Solarenergie			
5 min	Engage	<p>Frage: Welche anderen Geräte kann ich noch mit 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.
5-10 min	Explore	<p>Frage: Kann ich mit Solarzellen auch Elektrogeräte im Haus betreiben, wie zum Beispiel eine Mikrowelle, um Popcorn zu machen? Was ist anders als beim Smartphone? Welche Probleme könnten sich ergeben? Wie könnte man sie lösen?</p> <p>Methode: Think-Pair-Share</p> <p>Die Einfälle der Schüler_innen werden an der Tafel notiert (siehe Informationen für Lehrkräfte).</p>	Brainstorming alleine und Vergleich zu zweit. Die Ideen werden im Plenum geteilt.
Expert_innenkongress			
30-40 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 3a-3c sowie die Leitfragen verteilt und die Gruppenphasen angeleitet.</p>	Die Schüler_innen arbeiten in Kleingruppen an vier Stationen und erhalten das jeweilige Infoblatt (3a, 3b oder 3c) und die Leitfragen für den Arbeitsauftrag in neuen Gruppen.
20-30 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</p>	Jede Gruppe stellt ein Thema sowie die Antworten zu den Leitfragen zu diesem Thema vor. Die anderen Schüler_innen hören zu, stellen Fragen,

		(siehe PPT-Präsentation).	und die Experten ergänzen nach Möglichkeit Informationen. <i>Tipp: Die Themen können gelöst werden. Um die Präsentation zu erleichtern, finden sich in der PPT-Präsentation die Bilder der Infoblätter, die die Schüler_innen verwenden können.</i>
--	--	---------------------------	--

Beilagen

- **Infoblatt 3a:** Vom Sandkorn zur Solarzelle - Materialien und Herstellungsvarianten
- **Infoblatt 3b:** Einmal aufbauen, bitte! - Bestandteile einer PV-Anlage
- **Infoblatt 3c:** Wohin damit? - Möglichkeiten der Energiespeicherung
- **Leitfragen** für die Stationen
- 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-quaschning.de/software/unabhaengig/index.php>

Weiterführende Informationen

- <http://www.volker-quaschning.de/datserv/kev/index.php>
- <http://www.volker-quaschning.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=glNTtJyR_el

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 im Haus, um die erhaltene elektrische Energie auch nachts nutzen zu können

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 für die 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	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bildung für nachhaltige Entwicklung ✓ Planung und Umsetzung einer PV-Anlage ✓ Nature of Science
Lernziele	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Die Schüler_innen können Vermutungen darüber aufstellen, welche Aspekte bei der Umsetzung einer PV-Anlage für die eigene 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 Experten involviert. Diese wissen am besten Bescheid, was die Benutzer 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 der Fassade 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	<i>Extend</i>	<p>Frage: <i>Ist es nachhaltig eine PV-Anlage für die eigene Schule zu errichten?</i></p> <p>Die Lehrperson gibt eine kurze Einleitung in das Thema der Einheit und erteilt den Arbeitsauftrag (lt. PPT-Präsentation).</p>	Die Schüler_innen erhalten einen Kontext zur Erfüllung der Aufgabe.

„EINE SONNIGE ZUKUNFT?“

5 min	<i>Extend</i>	<p>Frage: <i>Wie sieht so eine Planung aus und welche Aspekte müssen dabei berücksichtigt werden?</i></p> <p>Im Plenum werden Vorschläge gesammelt.</p>	<p>Die Schüler_innen teilen ihr Vorwissen bzw. ihre Ideen im Plenum.</p>
5 min	<i>Extend</i>	<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 für die Schule“ wird kurz gemeinsam besprochen.</p>	<p>Die Schüler_innen erhalten Informationen zum Arbeitsauftrag und werden in Gruppen eingeteilt.</p>
15- 20 min	<i>Extend</i>	<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 Lehrkraft betreut die Gruppen in ihrer Planung, gibt nach Bedarf zusätzliche Anregungen und kann auf mögliche hilfreiche Informationsquellen verweisen.</p>	<p>Die Schüler_innen stellen in Gruppen mit Hilfe des Arbeitsblatts 4 Planungsüberlegungen an.</p> <p>Sie erstellen eine PPT-Präsentation mit 4-5 Folien, auf denen ihre Überlegungen notiert sind.</p>
10- 15 min	<i>Extend</i>	<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.</p> <p>Anleitung bzw. Unterstützung der Besprechung der Erfolge und Schwierigkeiten in Bezug auf die Planung (in den Teams).</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.
- Sternner, 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/Solarkoffer_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)

Die Energie für eine Smartphone-Ladung

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=CjwKCAjw16HLBRBFiEiwAEIREqBrKEm2pf7OmjS3oihWtTcCRYtxdBggLQ6vmujdHlK7U43RDS33pqRoC544QAvD_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)

<https://ag4physik.files.wordpress.com/2014/10/schc3bclerexperimente.pdf> (07.08.2017)

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/gebäudeintegrierte-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/channelld/-47890> (21.07.2017)

<https://www.buergerkraftwerke.at/eportal2/> (21.07.2017)

Infoblatt: Die Leistung von Solarzellen

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/konzeptezur-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)
<http://www.renewable-energy-concepts.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> (13.06.2017)
<https://de.wikipedia.org/wiki/Strom-Spannungs-Kennlinie> (04.07.2017)

Experimente:

<http://www.seilnacht.com/versuche/expsolo2.html> (07.08.2017)
http://www.medienwerkstatt-online.de/lws_wissen/vorlagen/showcard.php?id=23298
(07.08.2017)
<http://www.dgzfp.de/Portals/24/IZ/PDF/Jugend%20oforscht/RW%20Emden%202015.pdf>
(06.10.2017)

Experimentierleitfaden für Lehrkräfte:

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