



**Bildung mit Energie**  
ENTDECKEN, ERFORSCHEN, ERLEBEN

## **BEGLEITDOKUMENT - MODUL 3**

### **Stromgewinnung aus Sonnenenergie**

## Inhalt

1	Einordnung des Moduls in Gesamtkontext	3
2	Gesamtübersicht der Unterrichtseinheit	3
3	Ziele für diese Unterrichtseinheit	4
4	Checkliste zur Vorbereitung der Unterrichtseinheit	4
5	Detailerklärungen zu einzelnen Schwerpunkten der Agenda	5
5.1	Check-In (10min)	5
5.1.1	Erläuterung der Motivation für die kommenden Unterrichtseinheiten (UE)	5
5.1.2	Kennenlernen der SchülerInnen	5
5.2	Einführung in die Sonnenenergie (10min)	6
5.3	Theorie Teil 1: Komponenten und Aufbau einer Photovoltaikanlage (10min)	10
5.4	Experimente (45min)	11
5.5	Theorie Teil 2: Funktionsweise einer Photovoltaikzelle (10min)	12
5.6	Check-Out (5min)	13
6	Zusammenfassung	13
7	Anhang	14
7.1	Zeitleiste (Datei M3_01)	14
7.2	Sonneneinstrahlungskarte Deutschland (Datei M3_03)	15
7.3	Wichtige Fakten Ausbau Photovoltaik (Datei M3_04)	16
7.4	Komponenten eines Photovoltaik-Systems (Datei M3_05)	16
7.5	Experimente Photovoltaik für SchülerInnen (Datei M3_06)	17
7.6	Experimente Photovoltaik für Lehrpersonal (Datei M3_07)	17
7.7	Animation PV	17

## 1 Einordnung des Moduls in Gesamtkontext



## 2 Gesamtübersicht der Unterrichtseinheit

Agenda		
Zeit	Schwerpunkte	Inhaltliche Ausgestaltung
10min	Check-In	
10min	Einführung in die Sonnenenergie	Einführende Grundlagen zu: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Historische Entwicklung von Photovoltaik</li> <li>• Sonneneinstrahlung in Deutschland</li> </ul>
10min	Theorie Teil 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komponenten eines PV-Systems</li> </ul>
10min	Aufbau Experimentier-koffer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gruppen bilden</li> <li>• Koffer verteilen</li> <li>• Basis aufbauen und Experimente verteilen</li> </ul>
30min	Durchführung Experimente	Experimente zu <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestrahlungsstärke</li> <li>• Einstrahlungswinkel</li> <li>• Sonne im Tagesverlauf</li> <li>• Abschattung</li> </ul>
5min	Vorstellung Experimente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gruppen stellen sich gegenseitig Ergebnisse ihrer Experimente vor</li> </ul>
10min	Theorie Teil 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Photoelektrischer Effekt</li> </ul>
5min	Check-Out	

### 3 Ziele für diese Unterrichtseinheit

Mit der Unterrichtseinheit (UE) zum Thema Stromgewinnung aus Sonnenenergie zielen wir auf die Vermittlung folgender Themen ab:

- Die SchülerInnen kennen die Grundlagen der Photovoltaiktechnologie, angefangen bei der Entstehung über den Ausbau in Deutschland bis hin zu Aspekten der Standortwahl.
- Die SchülerInnen haben einen Überblick über die Komponenten und die Funktionsweise einer Photovoltaikanlage zur Stromgewinnung. Die Theorie wird spielerisch im Rahmen verschiedener Experimente erarbeitet bzw. vertieft.
- Den SchülerInnen erhalten ein Verständnis der Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie (photoelektrischer Effekt).

-

### 4 Checkliste zur Vorbereitung der Unterrichtseinheit

Vorbereiten

- Experimentierkoffer bestellt (1 Koffer für 3-4 SchülerInnen; Lieferzeit ca. 1 Woche)
- Flipcharts mit Agenda, KPIs und Stimmungcheck erstellt (siehe 5.1.1)
- „Experimente Photovoltaik für Lehrpersonal“ gesichtet und Experimente probeweise durchgeführt (siehe 7.6)

Ausdrucken

- M3\_01 „Zeitleiste“, Empfehlung DIN A3 (siehe 7.1)
- M3\_02 „Historische Entwicklung Photovoltaik“, Empfehlung DIN A4 (siehe 0)
- M3\_03 „Sonneneinstrahlungskarte Deutschland“, Empfehlung DIN A0 (siehe 7.2)
- M3\_04 „Wichtige Fakten Ausbau Photovoltaik“, Empfehlung DIN A4 (siehe 7.3)
- M3\_05 „Komponenten eines Photovoltaik-Systems“, Empfehlung DIN A2 (siehe 7.4)
- M3\_06 „Experimente Photovoltaik für SchülerInnen“, je 1 Set pro SchülerIn, Empfehlung DIN A4 (siehe 7.5)

Mitbringen

- Stifte
- Flipchart
- M3\_08 „Animation PV“ (idealerweise als PowerPoint, da Animation)
- Beamer
- PowerPoint (inkl. notwendiger Technik wie Laptop)

## 5 Detailerklärungen zu einzelnen Schwerpunkten der Agenda

### 5.1 Check-In (10min)

#### 5.1.1 Erläuterung der Motivation für die kommenden Unterrichtseinheiten (UE)

- ✚ Ziel: Anfänglich gilt es mit den SchülerInnen zu klären, warum diese (UE) abgehalten werden, was in dieser und in den folgenden UE im groben Rahmen passieren wird.
- 🌀 Vorbereitung: Um den SchülerInnen den Rahmen und die Ziele der UE dauerhaft während der UE anzeigen zu können, ist es möglich Flipcharts mit Agenda und KPIs vorzubereiten wie beispielhaft in den untenstehenden Bildern dargestellt:

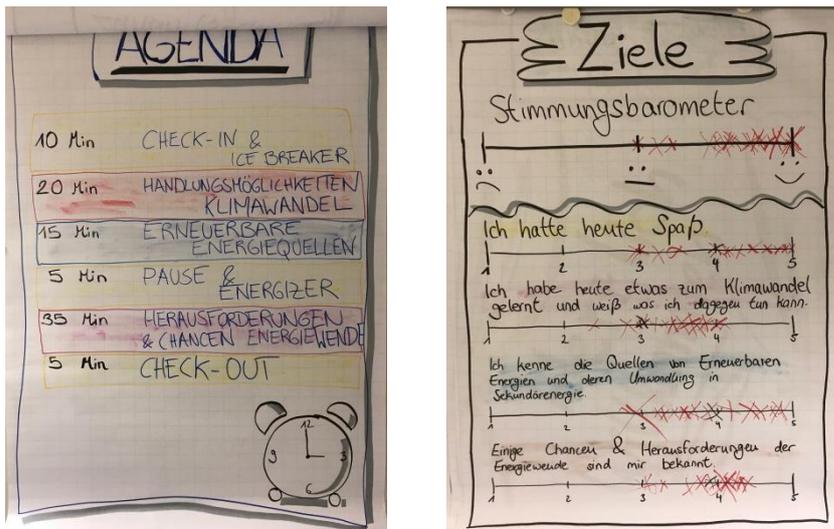


Abb. 1: Beispiele für Flipcharts mit Agenda, KPIs und Stimmungscheck

- ☞ Durchführung: Die Stimmung aller Teilnehmer wird im Vorfeld abgefragt, die Bewertungen der anderen Ziele werden im Nachgang erfasst.
- 🌀 Tipps & Tricks: Für eine Zusammenfassung aller UE siehe Anhang Modul 5.

#### 5.1.2 Kennenlernen der SchülerInnen

- ✚ Ziel: Die Teilnehmer der UE lernen sich gegenseitig kennen und machen sich vertraut. Optional kann dies durch eine einfache Fragerunde oder einen spielerischen Ice-Breaker (eine gelockerte Atmosphäre wird geschaffen) realisiert werden. Für den spielerischen Einstieg siehe beispielhaft die nachfolgenden Punkte:
- 🌀 Vorbereitung: Die SchülerInnen stellen sich im Kreis auf (ideal für den zweiten Abschnitt dieses Teils ist ein Stuhlkreis).
- ☞ Durchführung Schritt 1: Im Kreis stehende Teilnehmer werfen sich imaginären Ball zu und beantworten folgende Fragen, bis jeder Teilnehmer einmal gesprochen hat:
  - Wie heiße ich?
  - Wo komme ich her?
  - Worauf bin ich heute am meisten gespannt/freue ich mich am meisten?

☞ Durchführung Schritt 2: Zum weiteren Kennenlernen wird das Spiel „Der Wind weht für alle, die...“ gespielt. Es wird wie folgt durchgeführt:

1. Aufstellen von n-1 Stühlen im Kreis.
2. Ein Teilnehmer beginnt und stellt sich in die Mitte des Kreises.
3. Ziel dieses Teilnehmers ist es, sich einen Sitzplatz zu sichern.
4. In der Mitte stehender Teilnehmer beginnt Satz mit „Der Wind weht für alle, die ...“.
5. Satz wird beendet durch typische und untypische Vorlieben, Hobbys, Eigenschaften, etc. (idealerweise keine äußeren Erscheinungsmerkmale).
6. Alle, auf die die Aussage zutrifft, müssen sich einen neuen Sitzplatz suchen.
7. Während des Wechsels muss der in der Mitte stehende Teilnehmer versuchen einen Sitzplatz zu finden.
8. Wer keinen Platz im Kreis findet, stellt sich in die Kreismitte und vervollständigt als Nächster den Satz.
9. Ziel ist es sich gegenseitig besser kennenzulernen und eine vertraute Atmosphäre zu schaffen.

## 5.2 Einführung in die Sonnenenergie (10min)

🌳 Ziel: In der Einführung wird ein Überblick über die historische Entwicklung der Photovoltaiktechnologie zur Stromerzeugung gegeben. Des Weiteren wird die Sonneneinstrahlung in Deutschland auf Basis der geografischen Verteilung vorgestellt und der aktuelle Stand des Anlagenausbaus präsentiert.

🌀 Vorbereitung:

- Anlage 3.1 „Zeitleiste“ ausdrucken und sichtbar (+ nutzbar) vor der Klasse aufhängen
- Anlage 3.2 „Historische Entwicklung Photovoltaik“ ausdrucken und Kärtchen zurechtschneiden
- Anlage 3.3 „Sonneneinstrahlungskarte Deutschland“ ausdrucken und sichtbar (+ nutzbar) vor der Klasse aufhängen
- Anlage 3.4. „Wichtige Fakten Ausbau Photovoltaik“ ausdrucken und Kärtchen zurechtschneiden
- Tesafilm, um die Kärtchen an den Zeitstrahl und die Sonnenkarte anzubringen

☞ Durchführung Schritt 1: Im ersten Schritt werden die Hauptereignisse in der historischen Entwicklung der Photovoltaiktechnologie vorgestellt. Hierzu wird der Zeitstrahl verwendet, an den die 5 Kärtchen mit den Hauptereignissen der Reihe nach angeheftet und erklärt werden. Man kann je nach Niveau der Klasse den SchülerInnen die Möglichkeit geben, an der Erklärung teilzunehmen. Jedes Kärtchen enthält eine Jahreszahl ein Bild und Stichpunkte zum Ereignis.

Der Zeitstrahl beginnt im Jahr 1850 und endet im Jahr 2020. Nun sollen die 3 Hauptereignisse der historischen Entwicklung angebracht und erklärt werden.

### A) Entdeckung des Photoelektrischen Effekts durch Heinrich Hertz im Jahr 1887

Der historische Hintergrund für die Nutzung der Solarenergie geht auf die Entdeckung des Photoelektrischen Effekts durch Heinrich Hertz im Jahr 1887 zurück. Der Photoelektrische Effekt beschreibt die Wechselwirkung zwischen Materie und eintreffenden Photonen.

**Hintergrundwissen:** Beim Auftreffen eines Lichtstrahls (Photons) auf ein Atom wird dessen Bewegungsenergie auf das Atom übertragen. Dabei kann unter gewissen Voraussetzungen ein Außenelektron aus den gebundenen Zustand des Atoms in einen freien Zustand übergehen. Das Elektron kann sich dann beispielsweise im Körper frei bewegen. Dieses Verhalten wird unter anderem für die Stromerzeugung in Solarzellen genutzt. Durch die theoretische Erklärung des photoelektrischen Effektes erhielt Albert Einstein im Jahr 1921 den Nobelpreis.

- B) Erste kommerzielle Nutzung von Photovoltaikmodulen in den 1960er Jahren beim Wettlauf ins Weltall

Die erste kommerzielle Nutzung von Solarzellen ist auf das Wettrennen in das Weltall in den 1960er Jahren zurückzuführen. Man brauchte eine regenerative Energiequelle, die nicht auf den schweren fossilen Brennstoffen (beispielsweise Öl oder Kohle) basiert. Durch den Einsatz von Solarzellen für die Stromerzeugung war es möglich den Strom für die Versorgung von elektronischen Komponenten von Satelliten vor Ort zu produzieren ohne schwere Brennstoffe mit in das Weltall zu transportieren.

- C) Mit Eintritt der Ölkrise 1973 wurden alternative Energiequellen zu Öl gesucht

Als 1973 die Ölkrise einsetzte haben viele Länder nach alternativen Energiequellen umgeschaut. In den USA stiegen die Investitionen in die Erforschung von Photovoltaikanlagen, was zu einer Steigerung der Effektivität und fallenden Preisen führte.

- D) In den 1980er Jahren wurden in den USA die ersten PV-Anlagen an das öffentliche Netz angeschlossen

Dies zeigt, dass es ca. 100 Jahre gedauert hat bis aus der Entdeckung von Heinrich Hertz eine breitflächig anwendbare Stromerzeugungstechnologie hergestellt wurde. Die erste gewerbliche Großanlage war die Arco Solar, welche Ende 1982 in Kalifornien, USA errichtet wurde. Sie hatte eine Leistung von 1 MWp. Im Vergleich dazu, sind heute Großanlagen von mehreren 100 MWp üblich.<sup>1</sup>

- E) Vergleich zur Windkraft

Im Vergleich zur Photovoltaik werden Windräder bereits in historischen Dokumenten aus dem Jahre 100 nach Christus erwähnt. In Europa sind erste Windmühlen zur Verrichtung von mechanischer Arbeit Anfang des 12. Jahrhunderts eingesetzt worden.

<sup>1</sup> <http://wolfeware.com/solar/history.html>

Die Kärtchen sollen in folgender Struktur angebracht werden:

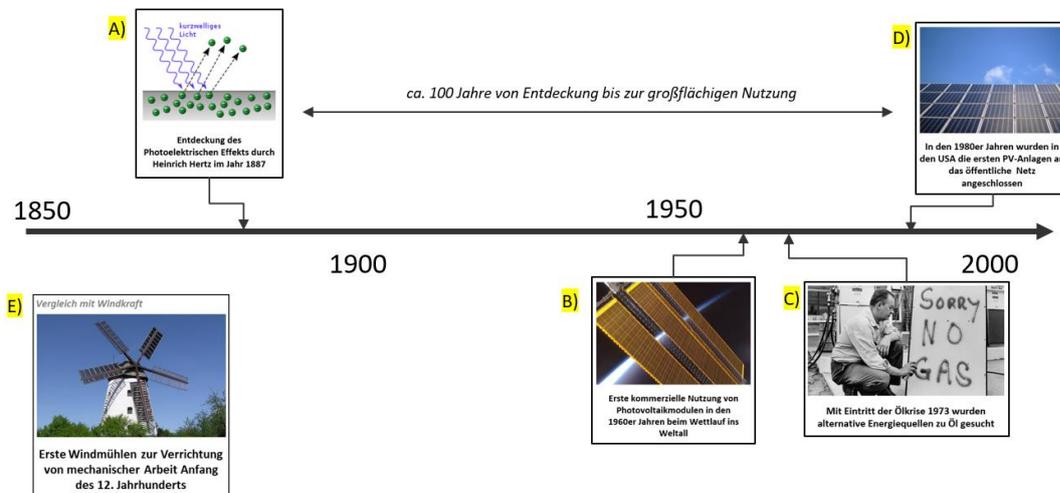


Abb. 2: Historische Entwicklung der Sonnenenergie

- ☛ Durchführung Schritt 2: Im zweiten Schritt wird ein Überblick über die Sonneneinstrahlung und die installierte PV Leistung in Deutschland gegeben. Hierzu werden die Anhänge „Wichtige Fakten Ausbau Solar“ und „Sonneneinstrahlungskarte Deutschland“ genutzt. Die Sonnenkarte wird präsentiert, die werden Kärtchen erklärt und auf der Karte angebracht.

### 1. Erklärung der Solar- / Sonnenkarte

Die Solar- oder Sonnenkarte zeigt einerseits die durchschnittlich an der Erdoberfläche gemessene Strahlungsenergie, abhängig von der geografischen Lage in Deutschland. Die Energiemengen werden in kWh/m<sup>2</sup> angegeben. Andererseits ist am unteren Ende der Skala die durchschnittliche durch ein PV Modul erzeugbare Solarenergie angegeben. Die nutzbaren Energiemengen werden in kWh/kWp angegeben, d.h. wie viele kW Stunden pro kW installierter Leistung erzeugt werden.

Die geografische Lage einer PV Anlage hat einen entscheidenden Einfluss auf die jährliche Einstrahlungsmenge. Je näher man sich am Äquator befindet, desto höher ist die Einstrahlung.<sup>2</sup> Entscheidend sind folgende Einflussfaktoren:

- der Sonnenstand, da dieser die Länge des Weges von der Atmosphäre bis zur Erdoberfläche bestimmt;
- die Wetterphänomene am Standort, da hierdurch Streuung, Reflexion und Adsorption beeinflusst werden; Bspw. Bewölkung.
- die Höhe des Standorts, da eine weniger dicke Luftschicht zu Streuung, Adsorption und Reflexion führt und
- die Luftverschmutzung am Standort.<sup>3</sup>

Auf der Solarkarte wird ersichtlich, dass sich das höchste Potential im Süden Deutschlands befindet. Dies liegt hauptsächlich daran, dass es im jährlichen Durchschnitt in den südlichen

<sup>2</sup> <http://www.klima-der-erde.de/strahlungshshlt.html>

<sup>3</sup> <https://www.photovoltaiik.org/wissen/globalstrahlung>

Gebieten mehr Sonnenstunden pro Jahr gibt, als im oft bewölkten Norden. Die Attraktivität der südlichen Standorte wird durch den aktuellen Stand des Ausbaus bestätigt.

## 2. Wichtigste Fakten über den Ausbau in Deutschland im Jahr 2018:

### A) Deutschlandweit:

- a. Anlagen: ca. 1.700.000.
- b. Installierte Leistung PV: 46 GW<sup>4</sup>

### B) Stromerzeugung

- a. 8,4% des Stromverbrauchs in Deutschland
- b. 45,75 TWh Strom wurden durch PV erzeugt<sup>5</sup>

### C) Bundesländer:

- a. Bayern hat alleine ca. 25% der installierten PV Leistung.
- b. Danach folgen BW mit 11% und NRW mit 9%.
- c. Zusammen haben sie fast 50% der gesamten installierten Leistung.<sup>6</sup>

### D) Speichertechnologie

- a. Mehr als 50% aller neuinstallierten PV Anlagen werden mit Speicher gebaut.
- b. In den letzten 5 Jahren haben sich die Kosten der Speicher halbiert.

Die Kärtchen sollen in folgender Struktur angebracht werden:

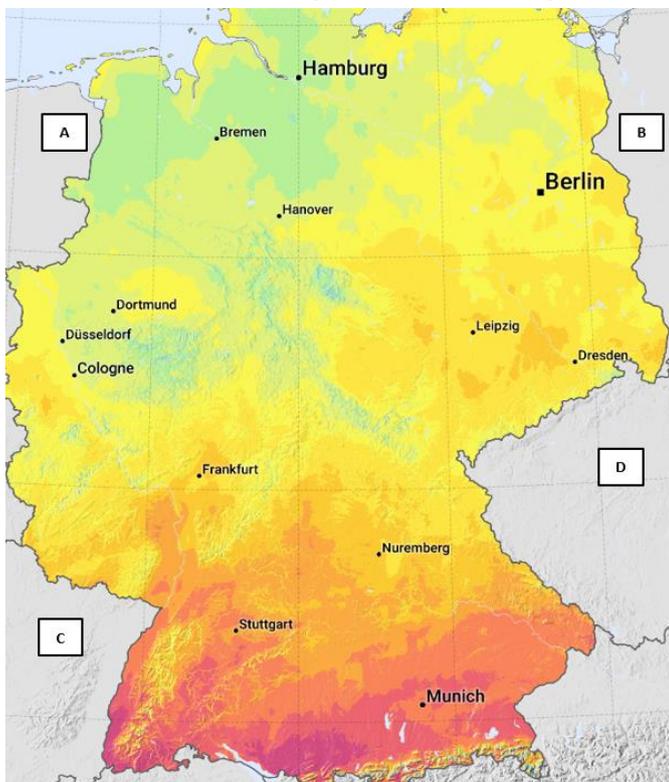


Abb. 3: Sonneneinstrahlung Deutschland

<sup>4</sup> [https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/user\\_upload/bsw\\_faktenblatt\\_pv\\_2019\\_3.pdf](https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/user_upload/bsw_faktenblatt_pv_2019_3.pdf)

<sup>5</sup> <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2018/nettostromerzeugung-2018.html>

<sup>6</sup> [https://www.foederal-erneuerbar.de/uebersicht/bundeslaender/BW%7CBY%7CB%7CBB%7CHB%7CHH%7CHE%7CMV%7CNI%7CNRW%7CRLP%7CSL%7CSN%7CST%7CSH%7CTH%7CD/kategorie/solar/auswahl/183-installierte\\_leistun/jahr/2018/#goto\\_183](https://www.foederal-erneuerbar.de/uebersicht/bundeslaender/BW%7CBY%7CB%7CBB%7CHB%7CHH%7CHE%7CMV%7CNI%7CNRW%7CRLP%7CSL%7CSN%7CST%7CSH%7CTH%7CD/kategorie/solar/auswahl/183-installierte_leistun/jahr/2018/#goto_183)

### 5.3 Theorie Teil 1: Komponenten und Aufbau einer Photovoltaikanlage (10min)

 Ziel: Vermittlung des technischen Aufbaus einer Photovoltaikanlage.

 Vorbereitung: Zur Vorbereitung dieser Einheit sollte das Plakat „Komponenten eines Photovoltaik-Systems“ in DIN A0 geplottet und anschließend die Infotexte unter den Komponentenbezeichnungen abgeklebt werden. Deren Inhalte sollen im Dialog erarbeitet werden.

 Durchführung Schritt 1: Im ersten Schritt soll gemeinsam mit den SchülerInnen der Aufbau einer Photovoltaikanlage erarbeitet werden. Der Reihe nach werden, unter Zuhilfenahme des Plakats, die wichtigsten Komponenten durchgegangen und hierbei zunächst der Name der Komponente genannt. Anschließend sind die SchülerInnen gefragt etwas zu dem Zweck der jeweiligen Komponente zu sagen. Die von den SchülerInnen gegebenen Informationen werden durch den Lehrer ergänzt, bevor es an die nächste Komponente geht. Hier eine Auflistung der Komponenten inkl. Beschreibung und einiger Zusatzinformationen über das Plakat hinaus:

1. Solarmodule: Solarmodule dienen der Umwandlung von Sonnenenergie in Strom und bestehen aus Solarzellen, Glas und einer Trägerstruktur.

Hintergrundwissen: Solarmodule bestehen aus mehreren Schichten. Neben der stromproduzierenden Schicht aus Solarzellen muss der Aufbau von Solarmodulen auch der Stabilität und dem Korrosionsschutz Rechnung tragen.

2. Solarsteuerung: Eine Solaranlage besteht in der Regel aus mehreren Solarmodulen. Die Solarsteuerung schaltet die einzelnen Solarmodule zu einem großen Solargenerator zusammen.
3. Batteriespeicher: Sobald die Stromproduktion den Bedarf übersteigt, wird der überschüssige Strom in die Batterie eingespeist und so gespeichert. Der gespeicherte Strom kann im Anschluss wieder abgerufen werden, wenn der Bedarf über der Stromproduktion liegt.

Hintergrundwissen: Die Auslegung des Batteriespeichers richtet sich nach der Größe des Solargenerators und dem Energiebedarf. Auch spielt das Einspeisekonzept eine große Rolle. Soll die Solaranlage viel Strom ins Netz einspeisen ist ein kleiner Batteriespeicher ausreichend. Wird eine möglichst hohe Deckung des Eigenbedarfs angestrebt, sollte der Batteriespeicher entsprechend groß dimensioniert werden.

4. Wechselrichter: Hier wird der durch das Solarmodul bereitgestellte Gleichstrom in Wechselstrom umgewandelt. Wechselrichter haben in der Regel eine Kommunikationsschnittstelle, sodass bspw. Stromproduktion, Verbrauch oder der Zustand des Gesamtsystems überwacht werden können.

Hintergrundwissen: Im Haushalt gibt es viele Geräte, die nicht mit Gleichstrom betrieben werden können, deshalb ist eine Umwandlung in Wechselstrom notwendig.

5. Verbraucher: Unter Verbrauchern sind alle Komponenten und Geräte im Haushalt zu verstehen, die mit Strom versorgt werden. Vielmals hat die Deckung des eigenen Strombedarfs durch den Solarstrom und damit die Versorgung der eigenen Verbraucher die oberste Priorität.
  6. Ladesäule: Auch die Ladesäule zur Versorgung von Elektrofahrzeugen ist als Verbraucher einzuordnen. Da die Ladesäule ein Großverbraucher ist, wird sie explizit hervorgehoben.
  7. Stromzähler: Der Stromzähler misst die Strommenge die durch die Solaranlage ins Stromnetz eingespeist (und diesem bei Bedarf auch wieder entnommen) wird.
  8. Stromnetz: Strom der weder direkt verwendet noch im Batteriespeicher gespeichert werden kann, wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist und vergütet.
- 🕒 Tipps & Tricks: Die Zeit von ca. 1 Minute / Komponente ist knapp bemessen und nur ausreichend für kurze Diskussionen je Komponente. Sollte der Lehrkraft mehr Zeit zur Verfügung stehen (z.B. kann UE auf zwei UE aufgeteilt werden), bietet es sich an den SchülerInnen mehr Zeit zum Nachdenken und zur Diskussion zu lassen. Darüber hinaus kann es hilfreich sein, den SchülerInnen im Vorhinein die Möglichkeit zu geben, sich bereits mit dem Plakat vertraut zu machen. So ist eine intensive Beteiligung realistischer und das Gelernte verankert sich besser.

#### 5.4 Experimente (45min)

- 🔧 Ziel: Das Ziel der Experimente ist es den SchülerInnen auf praktische Art nahezubringen, wie eine Photovoltaikanlage konzipiert werden sollte um die beste Leistung zu erwirtschaften.
- 🛠️ Vorbereitung: Für die Unterrichtsstunde ist der Experimentierkoffer „Photovoltaik“ auf der Internetseite von 3male zu bestellen (<http://www.3male.de/web/cms/de/1545464/schule/materialien-fuer-die-schule/experimentierkoffer/windkraftkoffer/>). Diese haben eine Lieferzeit von circa einer Woche. Wir empfehlen einen Koffer für 3-4 SchülerInnen. Stellen Sie sicher, dass Sie den SchülerInnen die angefügten Arbeitsblätter Experimente ‚Photovoltaik für SchülerInnen‘ zur Verfügung stellen.
- 👥 Durchführung Vorbereitung: Ziel der Experimente ist es gemeinsam die ‚perfekte Photovoltaikanlage‘ zu konzipieren. Die Gruppen der SchülerInnen sollen sich als Experten in jeweils einem Bereich sehen. Es handelt sich um 4 Experimente zu den Themen Bestrahlungsstärke, Einstrahlungswinkel, die Sonne im Tagesverlauf und Abschattung. Teilen Sie die SchülerInnen in Expertengruppen à 3-4 SchülerInnen ein und ordnen Sie jeder Gruppe einen beliebigen Experimentierkoffer zu. Teilen Sie alle Arbeitsblätter aus. Gruppe 1 ist verantwortlich für Experiment 1, Gruppe 2 für Experiment 2 und so weiter. Wenn es mehr als 4 Gruppen gibt, beginnt Gruppe 5 ebenfalls mit Experiment 1 und so weiter. Die SchülerInnen dürfen nun loslegen und das ihnen zugeordnete Experiment aufbauen. Überprüfen Sie bitte den ordnungsgemäßen Aufbau.
- 👥 Durchführung der Experimente: Nach dem erfolgreichen Aufbau können die SchülerInnen in die Ausführung der Experimente gehen. Wenn eine Gruppe mit ihrem Experiment fertig ist, kann sie sich mit einem nächsten Experiment beschäftigen; dieses muss sie im Anschluss allerdings nicht vorstellen.

☞ Auswertung der Ergebnisse: Wenn alle Gruppen fertig sind, stellen die jeweiligen Experten die Ergebnisse der Experimente vor. Es kommt nicht auf die einzelnen Messwerte an, sondern auf die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen. Die Lösungen finden Sie in der Anlage ‚Experimente Photovoltaik für Lehrpersonal‘.

Fassen Sie die Ergebnisse der SchülerInnen zusammen. Eine Photovoltaikanlage sollte also an einem möglichst schattenfreien Ort errichtet werden. Geographisch sollte darauf geachtet werden, dass die Photovoltaikanlage in einem sonnenreichen Gebiet errichtet wird um den Ertrag zu steigern. Der Winkel der Photovoltaikanlage sollte in Abhängigkeit von geographischer Lage und Himmelsausrichtung gewählt werden, sodass ein Einstrahlungswinkel von  $90^\circ$ , bei welchem die höchste Leistung erzeugt wird, solange wie möglich gewährleistet wird.

🌀 Tipps & Tricks: Es empfiehlt sich in Vorbereitung auf die Unterrichtsstunde mit dem Experimentierkoffer vertraut zu machen und die Experimente mindestens einmal durchgeführt zu haben.

Die Experimente sind dem Aufgabenheft im Photovoltaikkoffer entnommen und angepasst worden. Falls Sie mehr Zeit für den Experimentierteil einplanen wollen, finden Sie noch weitere spannende Experimente im Aufgabenheft.

Beachten Sie, dass die Koffer nach 4 Wochen wieder zurückgesendet werden müssen.

## 5.5 Theorie Teil 2: Funktionsweise einer Photovoltaikzelle (10min)

🎯 Ziel: Die Funktionsweise einer Photovoltaikzelle wird erklärt und anhand einer Animation am Querschnitt einer PV Zelle veranschaulicht.

🌀 Vorbereitung: Zur Vorbereitung dieser Einheit sollte ein Beamer (Format 16:9) aufgestellt und an einen Rechner angeschlossen werden. An dem Rechner ist die Datei „Animation PV“ in PPT zu öffnen.

☞ Durchführung Theorie Teil 2: Dieser Teil beginnt mit der Erklärung des Unterschiedes zwischen einem PV Modul und einer PV Zelle. Hierfür wird die erste Seite der Präsentation genutzt. Seite 1 der Präsentation „Photovoltaik Zelle“:

Eine Photovoltaikanlage, wie man sie auf Hausdächern oder freistehend kennt, besteht aus mehreren zusammengeschalteten Modulen. Ein Modul ist üblicherweise ca.  $1 \text{ m}^2$  groß und besteht seinerseits aus mehreren zusammengeschalteten Photovoltaikzellen. Eine Photovoltaikzelle ist in etwa so groß wie eine Handfläche und damit das kleinste elektrische Bauelement einer PV Anlage. Die angefügte Animation zeigt den Aufbau der Zelle.

Animation:

Eine Photovoltaikzelle besteht im üblichen Fall aus zwei Halbleiterschichten. Halbleiter sind Stoffe die bei tiefen Temperaturen isolierend wirken - also keinen Strom leiten - unter Zufuhr von Wärme oder Licht jedoch elektrisch leitfähig werden. Einer der am häufigsten verwendeten Stoffe für die Herstellung von Halbleitern ist hierbei Silizium. Im Normalfall hat Silizium 4 Außenelektronen. Um die Leitfähigkeit gezielt zu ändern, werden die beiden äußeren Schichten der Module durch das Einbringen von Fremdatomen mit 5 Außenelektronen (in der „n-dotierten“ Schicht, d.h. negativ dotierten Schicht) bzw. 3 Außenelektronen (in der p-dotierten Schicht, positiv dotierten Schicht) verunreinigt. In der p-dotierten Schicht, werden Atome mit nur drei Außenelektronen eingebracht. Dieses führt zu einem „Elektronenloch“ im Material und somit zu dem Bestreben ein weiteres Elektron aufzunehmen. Vereinfacht gesagt, herrscht in dieser Schicht ein Elektronenmangel. Bei der n-Dotierung werden Atome mit 5 Außenelektronen in das Material eingebracht. Hier herrscht ein Elektronenüberfluss im Material.

**(Click 2 Animation)**

Die „zusätzlichen“ Außenelektronen können der p-dotierten Schicht können unter Energiezufluss abgeben werden. Die notwendige Energie, um die Abgabe herzuführen kommt im Fall einer Photovoltaikzelle beim Auftreffen von Lichtstrahlen, d.h. durch die Photonen.

**(Click 3 Animation)**

Es entstehen somit viele freie Elektronen, die durch das Material wandern können. Da sie die Grenzschicht nicht überwinden können, um den Elektronenmangel in der p-dotierten Schicht auszugleichen, entsteht eine elektrische Spannung.

**(Click 4 Animation)**

Verbindet man nun die beiden Schichten über Metallkontakte, wandern die freien Elektronen von der n-dotierten Schicht in die p-dotierte Schicht. Es gleichen sich die Ladungen aus und ein elektrischer Strom ist messbar.

## 5.6 Check-Out (5min)

 Ziel: In diesem Teil erfolgt der inhaltliche und organisatorische Abschluss des dritten Moduls. Es wird Feedback der SchülerInnen entgegengenommen und im Zuge dessen auch noch einmal auf die anfänglich gesteckten Ziele geschaut (siehe Punkt 5.1.1).

 Vorbereitung: Für diesen Punkt ist keine Vorbereitung notwendig.

 Durchführung Schritt 1: Im Folgenden ist beispielhaft eine Formulierungsmöglichkeit angegeben:

„Vielen Dank für eure Mitarbeit heute. Es hat mir großen Spaß gemacht und euch hoffentlich auch. Wir möchten das Modul gerne mit einem "Wort des Tages" abschließen, mit dem jeder von euch kurz zusammenfasst, was er von heute mitnimmt. Wir freuen uns natürlich auch immer über Feedback und Anregungen - sowohl was euch gut gefallen hat, als auch was wir noch besser machen können. Im nächsten Modul werden wir mit euch tiefer in den Bau von Photovoltaikanalgen eintauchen. Insofern, vielen Dank noch mal an euch und viel Spaß beim nächsten Mal!“

 Durchführung Schritt 2: Die SchülerInnen füllen abschließend die am Flipchart festgehaltenen Ziele aus. Das Ergebnis kann ggf. noch in der gleichen Stunde kurz diskutiert werden oder als Aufhänger für das nachfolgende Modul genutzt werden.

## 6 Zusammenfassung

- Die Nutzung von Windenergie wirkt dem Klimawandel entgegen.
- Der optimale Standort einer Photovoltaikanlage wird durch viele Faktoren bestimmt (Sonnenstand, Wetterphänomene, Höhenlage etc.).
- Die Photovoltaikanlage wird idealerweise in einem sonnenreichen Gebiet errichtet.
- Der Winkel der Photovoltaikanlage sollte in Abhängigkeit von geographischer Lage und Himmelsausrichtung gewählt werden.
- Die Erzeugung von Strom durch Photovoltaik ist auf den photoelektrischen Effekt zurückzuführen, welcher die Wechselwirkung zwischen Materie und eintreffenden Photonen beschreibt.

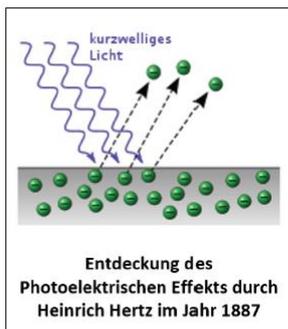
## 7 Anhang

### 7.1 Zeitleiste (Datei M3\_01)

- **Zeitleiste Entwicklung PV Technologie**



### Historische Entwicklung Photovoltaik (Datei M3\_02)



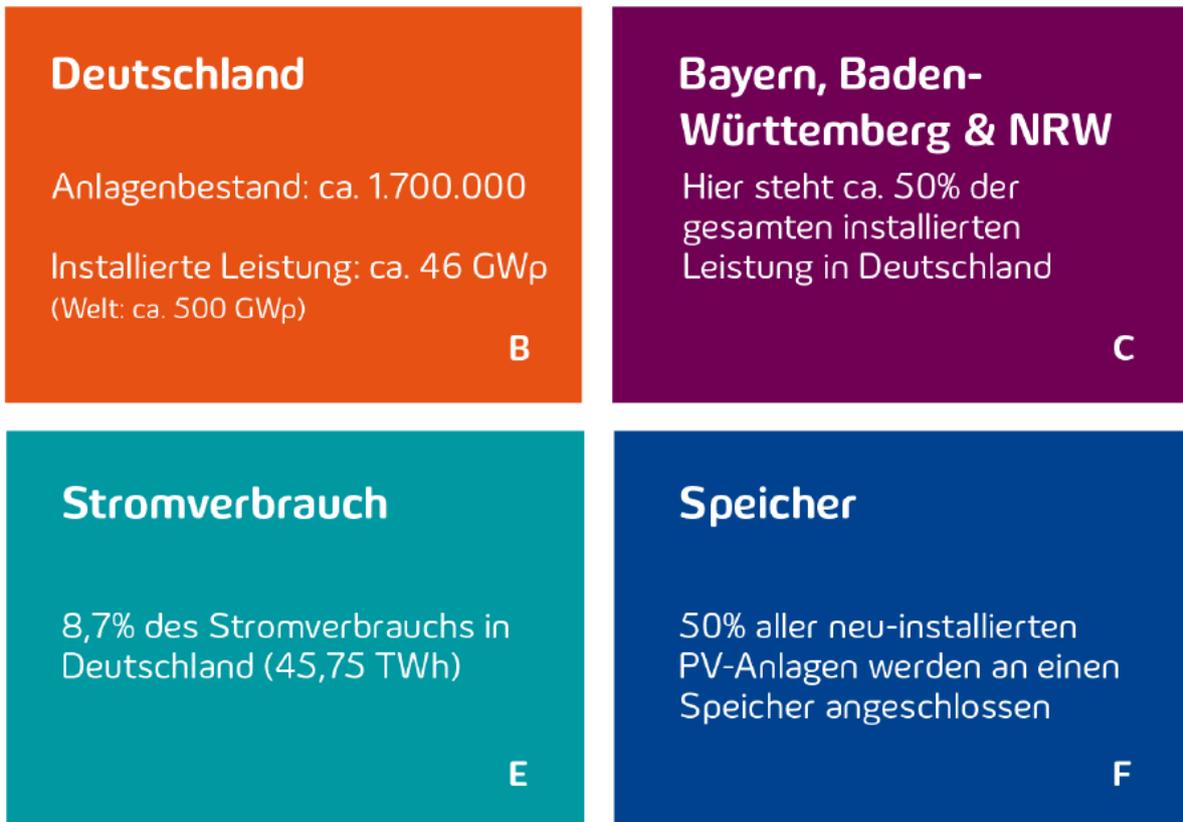
Karten zum drucken (A4) und ausschneiden



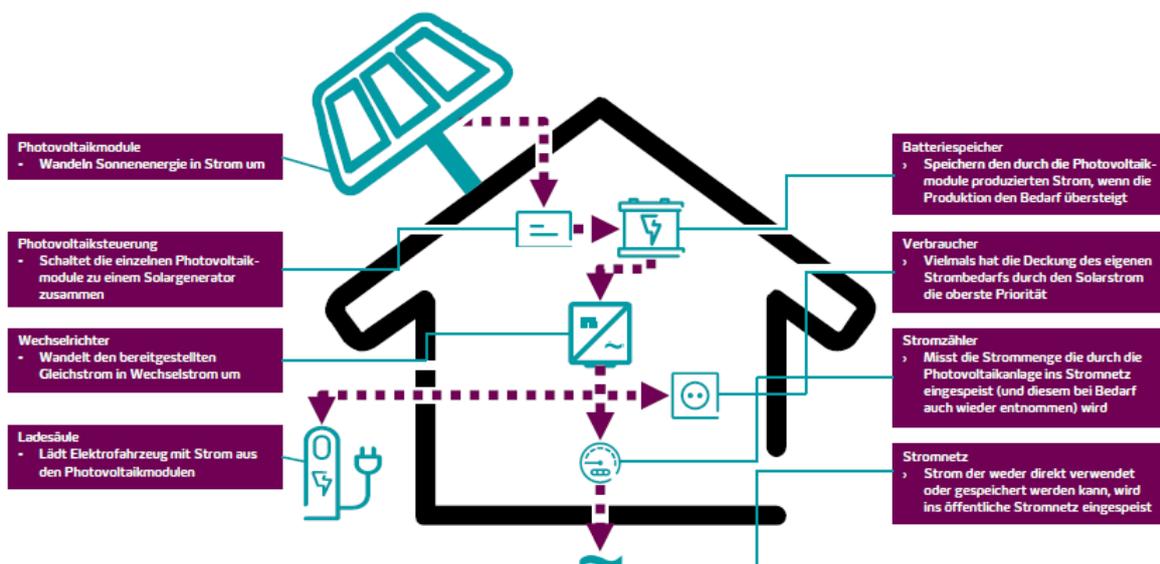
7.2 Sonneneinstrahlungskarte Deutschland (Datei M3\_03)



## 7.3 Wichtige Fakten Ausbau Photovoltaik (Datei M3\_04)



## 7.4 Komponenten eines Photovoltaik-Systems (Datei M3\_05)



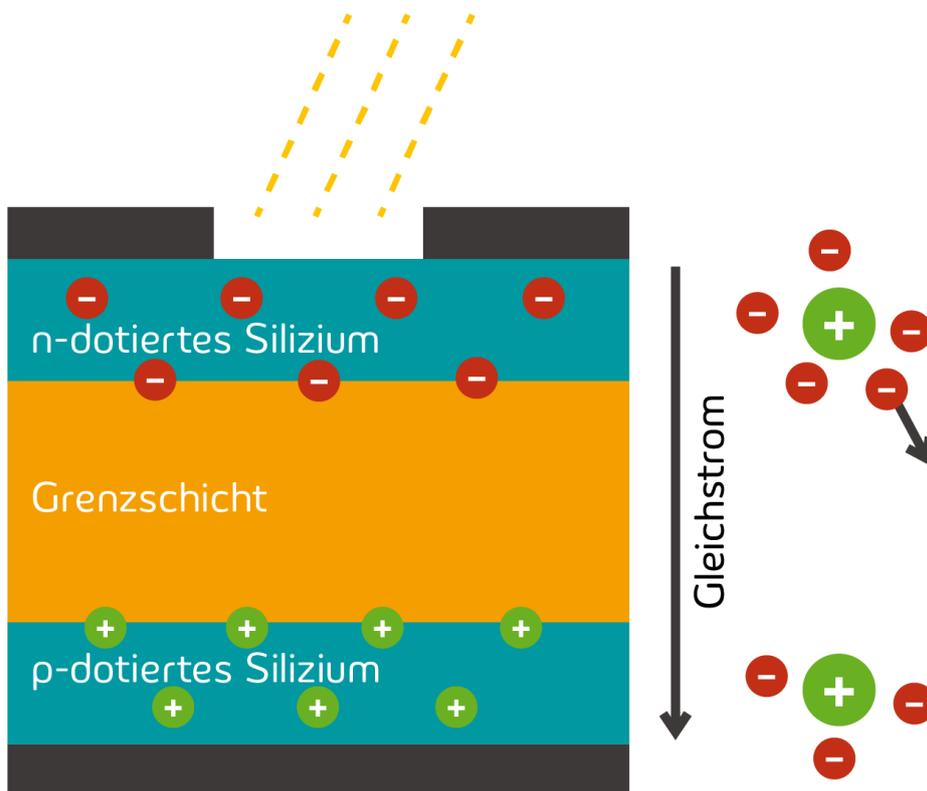
### 7.5 Experimente Photovoltaik für SchülerInnen (Datei M3\_06)

Siehe beigelegte Datei.

### 7.6 Experimente Photovoltaik für Lehrpersonal (Datei M3\_07)

Siehe beigelegte Datei.

### 7.7 Animation PV



- Positiv und negativ dotierte Schichten getrennt durch eine Grenzschicht
  - Silizium: 4 Außenelektronen je Atom
  - n-Dotierung: 5 Außenelektronen je Atom
  - p-Dotierung: 3 Außenelektronen je Atom
- Durch Absorption von einfallende Photonen entstehen frei bewegliche Elektronen (n-dotierte Schicht) und frei bewegliche „Elektronenlöcher“ (p-dotierte Schicht)
- Beim Verbinden beider Schichten durch einen Leiter, gleichen sich die Ladungsträger als elektrischer Strom aus