

## Solarthermie und Photovoltaik – Energien mit Zukunft!

In diesem Leitfaden erhalten Sie einen Überblick über den inhaltlichen und didaktischen Zusammenhang der Medien des Medienpakets „Solarthermie und Photovoltaik – Energien mit Zukunft“.

### 1 Didaktisch-pädagogische Hinführung

Die Themen „Solarthermie“ und „Photovoltaik“ stehen je nach Bundesland, Schulart und Schulzweig in der Physik in den Jahrgangsstufen 7–12 in den Lehrplänen. Soweit die Themen nicht explizit vorgegeben sind, können sie hervorragend als aktuelle Beispiele zu anderen Lehrplanthemen behandelt werden:

- Energiegewinnung, Energiewandlung (Solarthermie und Photovoltaik)
- Wärmekraftmaschinen (nur Solarthermie)
- elektrische Kenngrößen oder das technische Stromnetz (nur Photovoltaik).

Das vorliegende Medienpaket bietet darüber hinaus Schnittstellen zum Unterricht in Geografie und Chemie. Es unterstützt damit die Lehrkraft bei der Behandlung von Standardlehrstoff anhand von zwei hochaktuellen Themen.

Zur allgemeinen Einführung in das Thema „Regenerative Energien“ findet man ein Medienpaket „Regenerative Energie – die Zukunft ist sonnig“ auf dem Medienportal der Siemens Stiftung. Auch ein weiteres Medienpaket zum Thema „Wasser und Wind – traditionelle Energielieferanten neu entdeckt“ ist dort zu finden.

Zur Einarbeitung in die Themen Solarthermie und Photovoltaik und als schnelle Referenz kann die Lehrkraft die Leitfäden „Regenerative Energien“ und „Energieumwandlung“ im vorliegenden Medienpaket verwenden.

Die Medien des Pakets können einzeln und völlig unabhängig voneinander streng nach Fachbezug eingesetzt werden, doch lebendiger wird der Unterricht sicher im Zusammenhang. Anhand der Bedeutung für das Leben der Schülerinnen und Schüler besteht so die Chance, das Interesse am fachlichen Detail zu wecken. Zu diesem Zweck empfiehlt sich die Erarbeitung des Themas in folgenden Schritten:

- **Die Strahlung der Sonne nutzen!**
  - Was ist Strahlungsenergie?
  - Wie viel Strahlungsenergie kommt von der Sonne?
  - Woher kommt in Zukunft unser Strom?
  - Zwei Technologien zur direkten Nutzung von Sonnenstrahlung
- **Wie funktioniert ein solarthermisches Kraftwerk?**
  - Parabolrinnen- und Dish-Stirling-Kraftwerk
  - Solarthermische Kraftwerke arbeiten mit Dampfturbinen und Stirlingmotoren
  - Funktion der Wärmekraftmaschine am Beispiel des Stirlingmotors
- **Wie funktionieren Solarzellen?**
  - Das Grundprinzip der Solarzelle
  - Strom aus Licht und Plastik – eine andere Art von Solarzellen
  - Wir bauen selbst eine Farbstoff-Solarzelle
  - Elektrische Experimente mit Solarzellen
  - Unterrichtsidee: Quantenphysik am Beispiel Solarzelle

- **Wie kommt der Solarstrom ins Netz?**

Aus Gleichstrom muss Wechselstrom hoher Spannung und exakter Frequenz werden!

Wie wird Solarstrom über weite Strecken übertragen?

Wie kann Solarstrom gespeichert werden?

## **2 Einstieg: Die Strahlung der Sonne nutzen**

### **2.1 Was ist Strahlungsenergie?**

Die Einstimmung in das Thema regenerative Energien oder zur Wiederholung eignet sich z. B. eine bildliche Darstellung:

Medien:           Übersichtsgrafik „Energieträger regenerativ“

Das Licht der Sonne kann zwar in der Quantenphysik als Energieteilchen-Strahlung aufgefasst werden, gehört aber in der klassischen Physik zur elektromagnetischen Strahlung. Da diese Strahlung Energie transportiert, wird sie als eigene Energieform aufgefasst:

Medien:           Diagramm „Strahlungsenergie“  
Foto „Solarstromanlage auf Freifläche (Solarfeld“, „Solarpark“)

### **2.2 Wie viel Strahlungsenergie kommt von der Sonne?**

Mit ihrer noch ca. 5,3 Milliarden Jahre andauernden Strahlung liefert die Sonne täglich ca. das 10.000fache des Energiebedarfs der Menschheit:

Medium:           Übersichtsgrafik „Fakten zur Sonnenenergie“

### **2.3 Woher kommt in Zukunft unser Strom?**

Schreibt man die Entwicklungstendenzen aus dem Jahr 2005 fort, würden im Jahr 2020 erst wenige Prozent der Stromerzeugung aus Wind, Solarthermie und Photovoltaik stammen. Die Frage ist, ob wir uns angesichts des Klimawandels und der knapper werdenden Ressourcen an fossilen Energieträgern leisten können und wollen. Die Entwicklung der regenerativen Energien sowohl in Deutschland als auch in vielen anderen Ländern weltweit (z. B. China) ging jedoch bis jetzt wesentlich schneller voran als gedacht:

Medien:           Diagramm „Anteil der Energieträger am weltweiten Strommix von 2005 bis 2040“  
Infomodul mit Diagrammen „Stromerzeugung weltweit“

### **2.4 Zwei Technologien zur direkten Nutzung von Sonnenstrahlung**

Während Biomasse, Wasserkraft und Wind indirekt auf Sonnenenergie beruhen, gibt es mit der Solarthermie und der Photovoltaik zwei Technologien, die die Energie der Sonnenstrahlung direkt zur Stromgewinnung nutzen. Strom ist der einzige Energieträger, der praktisch universell anwendbar ist und sich gut transportieren und verteilen lässt.

Solarthermie und Photovoltaik fügen sich hervorragend in den Gesamtfluss der Stromerzeugung und -verteilung ein:

Medium: Schemagrafik „Energiequellen für elektrischen Strom“

Da Erzeugung und Verbrauch nicht synchron sind, muss allerdings Solarstrom (wie auch Windstrom) zwischengespeichert werden:

Medium: Infomodul „Energiespeicherung“

Zur Vorbereitung für die Lehrkraft oder auch als Grundlage für Schülerreferate:

Medien: Leitfaden „Regenerative Energien“  
Leitfaden „Energieumwandlung“  
Linkliste „Regenerative Energien (Linkliste)“

### 3 Wie funktioniert ein solarthermisches Kraftwerk?

„Energiegewinnung“ ist in Wirklichkeit immer Energieumwandlung. Eine gute Gelegenheit, die Schülerinnen und Schüler auf den Energieerhaltungssatz hinzuweisen! Beim Solarthermiekraftwerk wird die Strahlungsenergie zunächst in Wärme umgewandelt (an einer Absorptionsfläche bzw. am Kollektor), mit der dann Dampf erzeugt wird und eine Wärmekraftmaschine und ein Stromgenerator betrieben werden.

#### 3.1 Parabolrinnen- und Dish-Stirling-Kraftwerk

Beim Parabolrinnenkraftwerk befindet sich im Brennpunkt (Optik, Spiegel) langer Zeilen von Parabolspiegeln ein Absorberrohr, das mit einem Arbeitsmittel (z. B. Öl oder einer flüssigen Salzmischung) gefüllt ist. Über einen Wärmeaustauscher erzeugt das auf über 400 °C erhitzte Arbeitsmittel Dampf, mit dem sich dann große Dampfturbinen und Generatoren betreiben lassen. Beim Dish-Stirling-Kraftwerk ist das zentrale Element ein großer runder Hohlspiegel (Dish, Teller). In seinem Brennpunkt befindet sich als Kollektor der Arbeitszylinder eines Stirlingmotors, der einen Generator antreibt.

Medien: Beschriftete Grafik „Solarthermische Kraftwerke – Prinzip“  
Foto: „Dish-Stirling-Anlage“

#### 3.2 Solarthermische Kraftwerke arbeiten mit Dampfturbinen und Stirlingmotoren

Die Wärmekraftmaschine wandelt Wärme in mechanische Energie um. Alle Wärmekraftmaschinen arbeiten dabei im Grundprinzip nach dem Carnot'schen Kreisprozess. Das bedeutet, dass stets ein großer Teil der Wärme nicht in mechanische Arbeit umgewandelt wird, sondern ungenutzt über eine Kühleinrichtung als Abwärme abgeführt werden muss! Dieses Prinzip ist im Unterricht an einer Dampfturbine nur schwer zu veranschaulichen und auch die klassische Kolbendampfmaschine ist didaktisch eher ungeeignet. Hervorragend eignet sich dagegen ein Stirlingmotor mit sichtbar getrenntem Arbeits- und Kühlzylinder.

#### 3.3 Funktion der Wärmekraftmaschine am Beispiel Stirlingmotor

Der Stirlingmotor ist die didaktisch „ideale“ Wärmekraftmaschine. Der Stirlingmotor arbeitet in einem geschlossenen Kreislauf mit Gas (z. B. Luft oder Edelgas) als Arbeitsmittel. Der Kreisprozess ist also unschwer nachvollziehbar. Der Stirlingmotor läuft relativ langsam und ist daher gut zu beobachten. Dies gilt insbesondere für Modelle, die mit Arbeitskolben aus Glas Einblick ins Innenle-

ben gewähren. So gesehen eignet sich der Stirlingmotor besser als jeder Verbrennungsmotor oder gar eine Dampfmaschine zum Einstieg in die Thermodynamik der Wärmekraftmaschine. Die Funktion des Stirlingmotors wird in einem interaktiven Infomodul mit integriertem Video erklärt. Die beiden ersten Punkte des Infomoduls „Aufbau“ und „Funktion“ sowie der letzte Punkt „Einsatzzwecke“ eignen sich für alle Klassenstufen. Die Punkte „Kreisprozess“ und „Vergleich“ können dann eingesetzt werden, wenn im Unterricht bereits explizit auf den Carnot-Prozess eingegangen wurde.

Medium: Infomodul mit Video „Physik und Funktion des Stirlingmotors“

Eine Alternative wäre, die Schülerinnen und Schüler anhand eines realen Stirlingmotors oder des Videos den Motor selbst erforschen zu lassen:

Medien: Experimentieranleitung „So funktioniert der Stirlingmotor“ mit Lösungsblatt und Lehrerhandreichung  
Video „So funktioniert der Stirlingmotor“

### 3.4 Unterrichtsidee: Bau eines Stirlingmotors

Im Handel gibt es bereits unter 20 Euro einfache Bausätze für Stirlingmotoren. Der Bau eines Stirlingmotors eignet sich deshalb gut als Schülerprojekt.

## 4 Wie funktionieren Solarzellen?

### 4.1 Das Grundprinzip der Solarzelle

Lichtquanten, die auf einen Halbleiter treffen, befördern durch den inneren Photoeffekt Elektronen auf ein höheres Potenzial im Leitungsband. Von dort können sie zur Nutzung über den äußeren Stromkreis abfließen. Dieser Effekt ist abhängig von der Energie der Photonen und dem Halbleitermaterial.

Die Simulation dieses Effekts ist für alle Klassenstufen geeignet, optional einblendbare Grafiken zum inneren Photoeffekt und den Energiebändern in Halbleitern können je nach Lehrplan zur Vertiefung dienen. In einem Realfilm wird die Funktionsweise einer Solarzelle in einem einfachen Versuchsaufbau gezeigt und dann theoretisch erklärt.

Medien: Foto „Solarzellen auf Hausdach“  
Foto Solarstromanlage auf Freifläche („Solarfeld“, „Solarpark“)  
Simulation „Photovoltaik – Grundprinzip“

### 4.2 Strom aus Licht und Plastik – andere Arten von Solarzellen

Die Solarzelle ist nicht notwendigerweise ein Halbleiter. Formuliert man die Grundfunktion der Solarzelle als „Zwei-Elektroden-Prozess“, sieht man, dass auch andere Materialien bzw. deren Kombinationen Strom aus Licht erzeugen können. Neben der klassischen Solarzelle aus dem Halbleiter Silizium (einkristallin, polykristallin, evtl. in Dünnschicht) gibt es anorganische Halbleiterzellen u. a. aus Gallium-Arsenid (GaAs), Cadmium-Tellurid (CdTe) und Kupfer-Indium-Diselenid (CIS). Derzeit wird an der Entwicklung von Solarzellen aus Perowskit (Calcium-Titan-Oxid) gearbeitet. Mit ihnen könnten die Kosten für PV-Module im Vergleich zu Silizium nochmal wesentlich gesenkt werden.

Medium: Leitfaden „Energieumwandlung“

Daneben werden organische Solarzellen aus halbleitende Kunststoffen und Farbstoffzellen entwickelt.

Medien: Sachinformation „Strom aus Licht und Plastik“  
Foto „Organische Solarzelle“

### 4.3 Wir bauen eine Solarzelle

Greift man die Technologie der Farbstoff-Solarzellen auf, können die Schülerinnen und Schüler im Chemie- oder im Physikunterricht selbst Solarzellen bauen. Dieses vielfach erprobte Experiment stößt erfahrungsgemäß auf großes Interesse bei den Schülern.

Medien: Experimentieranleitung „A1 Elektrischer Strom aus Solarzellen (Schüleranleitung)“, dazu Lösungsblatt und Lehreranleitung  
Linkliste „Regenerative Energien“ (mit Link auf Bezugsquelle der für die Farbstoffzellen benötigten Materialien)

### 4.4 Elektrische Experimente mit Solarzellen

Außer der für Solarzellen typischen Physik, wie u. a. Helligkeits- und Winkelabhängigkeit von Strom und Spannung, können anhand der Solarzelle auch allgemeine Gesetzmäßigkeiten wie z. B. Serien-, Parallelschaltung und elektrische Leistung von den Schülerinnen und Schülern experimentell erforscht werden.

Medien: Experimentieranleitung „A5 Eigenschaften von Solarzellen (Schüleranleitung)“, dazu Lösungsblatt und Lehreranleitung

### 4.5 Unterrichtsidee: Quantenphysik am Beispiel einer Solarzelle

Normalerweise wird die Quantenphysik bzw. die Quantisierung der Energie in Physik oder Chemie gerne an der Lichterzeugung, am Bohr'schen Atommodell, oder an der Spektroskopie erläutert. Im Prinzip lässt sich das auch anhand der Wandlung von Licht in elektrische Energie in der Solarzelle erläutern bzw. wiederholen.

## 5 Wie kommt der Solarstrom ins Netz?

Silizium-Solarzellen liefern Gleichspannung von ca. 0,5 V, andere Materialien bis ca. 1,8 V pro Zelle. Um höhere Spannungen und Leistungen zu erzielen, müssen deshalb zunächst einzelne Zellen durch serielle und parallele Schaltung zu Modulen kombiniert werden. Diese Module werden dann wieder kombiniert, bis Gleichspannungen von z. B. 750 V und 145 A entstehen.

### 5.1 Aus Gleichstrom muss Wechselstrom hoher Spannung und exakter Frequenz werden!

Die Mittel- und Hochspannungsnetze werden mit Wechselspannung betrieben, die dann vor Ort problemlos auf die gewünschte Verbrauchsspannung transformiert werden. Da Solaranlagen Gleichstrom produzieren, muss dieser zunächst mit Stromrichtern in Wechselstrom gewandelt werden. Diese Wechselspannung muss in Phase und Frequenz (in Europa 50 Hz) völlig synchron

zum Gesamtnetz sein. Anschließend wird mit Transformatoren auf die gewünschte Spannung hochtransformiert (für Mittelspannung z. B. auf 36 kV).

Medium: Schemagrafik „Solarstrom fürs Netz“

### 5.2 Wie wird Solarstrom über weite Strecken übertragen?

Für die Fernübertragung von elektrischer Energie verwendet man möglichst hohe Spannungen, denn die Verluste sind geringer als bei niederen Spannungen (Warum? Ein schönes Problem für den Physikunterricht!). Historisch gesehen hatte der Wechselstrom Vorteile, weil er auf hohe Spannungen transformierbar ist. Er hat sich in allen Stromnetzen weltweit durchgesetzt. Aber bei der Übertragung sehr großer elektrischer Leistungen über große Entfernungen (800 km und mehr) sind die Verluste bei Hochspannungsgleichstrom nur ca. halb so groß wie bei Hochspannungswechselstrom. Deshalb wird heute Hochspannungswechselstrom vor der Fernübertragung in Gleichstrom gewandelt und erst am Zielort wieder in Wechselstrom zurückgewandelt. Eine Technologie, die für Wind- und Solarstrom zunehmend wichtig wird, da die Orte von Erzeugung und Verbrauch oft weit auseinander liegen.

Medien: Schemagrafik „Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)“  
Sachinformation „Gleichstrom für die Fernübertragung (HGÜ)“  
Grafik „Trassenbreite und Magnetfelder bei Hochspannungsleitungen“

### 5.3 Wie kann Solarstrom gespeichert werden?

Durch die Umwandlung von überschüssigem Wind- und Solarstrom in Wasserstoff oder sogar Methan (Power to Gas) kann das bestehende Erdgasnetz zur Verteilung und Speicherung genutzt werden. Eine Grafik veranschaulicht das Power-to-Gas-Verfahren. Beispielsweise können mit dem so gewonnenen Wasserstoff auch Fahrzeuge mit Brennstoffzellentechnik betrieben werden. Ein Foto zeigt eine Brennstoffzelle für (Schul-)Experimente.

Medien: Grafik „Power to Gas“  
Foto „Brennstoffzelle für Experimente“