

MEHR BILDUNG ZUR PHOTOVOLTAIK!

EINE DIDAKTISCHE AUFARBEITUNG DER PV IN EXPERIMENTEN

Bereits heute klagt die Photovoltaikbranche vielerorts über einen Fachkräftemangel, der sich bei den aktuellen Wachstumszahlen der Branche in Zukunft eher noch verstärken dürfte. Eine fundierte Ausbildung im Bereich Erneuerbare Energien, aber vor allem auch die frühzeitige Förderung eines Bewusstseins für diese Technologien, sind damit zwei der entscheidenden Voraussetzungen für ein nachhaltiges Wachstum dieses Sektors. Verstärkte Bildungsinitiativen zu Erneuerbaren Energien sind also sowohl im schulischen Bereich als auch in der Aus- und Weiterbildung dringend nötig.

Experimente vermitteln komplexe Zusammenhänge

Dieser Beitrag soll Möglichkeiten aufzeigen, wie das Thema Photovoltaik mit Hilfe von Experimenten didaktisch sinnvoll aufgearbeitet werden kann, denn das Experiment ist aus didaktischer Sicht eine der effizientesten Möglichkeiten zur Vermittlung komplexer Zusammenhänge.

Im Folgenden ist eine Schulungseinheit von insgesamt 6 Solarzellenversuchen dargestellt, die kein Vorwissen voraussetzt und daher sowohl Inhalt einer Mitarbei-



Bild 1: Das System leXsolar-Experiment in der Variante Ready-to-go

terweiterbildung sein kann, als auch in der schulischen Ausbildung Anwendung findet. Ziel dieser Einheit ist neben einem grundlegenden Verständnis der physikalischen Grundlagen der Solarzellentechnologie das Kennenlernen von typischen Anwendungsfällen. Dabei werden auch die Probleme bei der Anwendung sowie deren Lösungen praxisnah dargestellt.

Die vorgestellten Experimente stellen nur einen kleinen Auszug der für die Praxis wichtigsten Sachverhalte dar. Gerade für die Grundlagenausbildung im Physikunterricht der Schule sind die Möglichkeiten aber noch umfangreicher, da die Solarzelle im Themengebiet Halbleiter als anschauliches Beispielbauelement genutzt werden kann.

Dieser Auszug ist in stark gekürzter und vereinfachter Form der Dokumentation zum Experimentiersystem leXsolar-Experiment entnommen. Die Bilder und Beschreibungen sind daher auf dieses System abgestimmt (Bild 1). Das mit dem Worlddidac-Award ausgezeichnete System leXsolar-Experiment ermöglicht dem Nutzer aufgrund des sehr einfachen und robusten Stecksystems ein sehr übersichtliches und effizientes Experimentieren. Eine Vielzahl von Steckmodulen erlaubt eine große Fülle an Experimenten für verschiedenste Zielgruppen.

1. Welche Spannung und welchen Strom liefern verschiedene große Solarzellen?

Experiment: Mit einem Multimeter werden die Spannung und der Strom an verschiedenen großen Solarzellen gemessen und verglichen.

Ergebnis: Die Spannung ist unabhängig von der Fläche der Solarzelle. Im Falle der verwendeten Siliziumsolarzellen beträgt diese rund 0,5V. Die Stromstärke hingegen ist proportional zur Fläche, d.h. bei doppelter Fläche der Solarzelle verdoppelt sich auch die Stromstärke. Es ergibt sich also bei größeren Solarzellen auch eine größere Leistung, denn die Leistung ist das Produkt aus Spannung und Stromstärke.

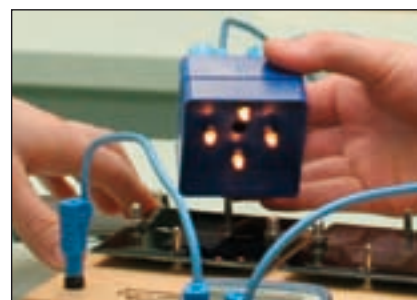


Bild 2: Das leXsolar-Beleuchtungsmodul wird auf die Solarzelle gestellt und zur Variation der Beleuchtungsstärke mit einer unterschiedlichen Anzahl Glühlampen betrieben.

Erklärung: Die sogenannte eingebaute Spannung einer Solarzelle ist eine materialspezifische Größe und daher nicht von der Fläche der Solarzelle beeinflussbar.

2. Wie ändert sich Spannung und Stromstärke mit der Beleuchtungsstärke?

Experiment: Nach Experiment 1 bleibt noch die Frage, ob sich die Spannung nicht vielleicht durch eine entsprechend große Beleuchtungsstärke erhöhen lässt. Wir messen daher an einer Solarzelle Stromstärke und Spannung unter verschiedenen Beleuchtungsverhältnissen, die mit dem leXsolar-Beleuchtungsmodul (Bild 2) realisiert werden können.

Ergebnis: Mit größerer Beleuchtungsstärke steigt zwar die Stromstärke, nicht jedoch die Spannung.

Erklärung: Genau wie in Versuch 1 gilt auch hier: die eingebaute Spannung der Solarzelle ist nur materialspezifisch und kann auch durch höherer Beleuchtungsstärke nicht verändert werden.

3. Wie erreicht man technisch sinnvolle Spannungen mit Solarzellen?

Experiment: In Experiment 1 und 2 hatten wir gesehen, dass eine Siliziumsolarzelle eine Spannung von nur rund 0,5V liefert, die technisch kaum anwendbar ist. In diesem Versuch soll daher getestet werden, ob sich eine Reihen- oder

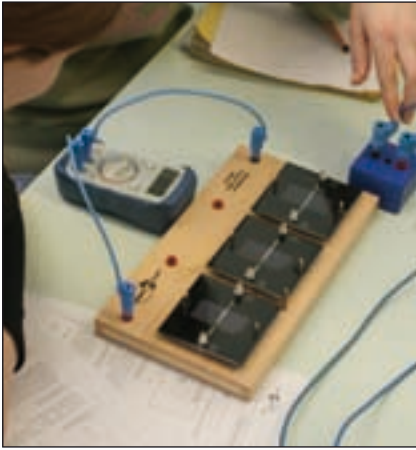


Bild 3: Drei Solarzellen sind auf der leXsolar-Grundeinheit zu einer Reihenschaltung verbunden. Allein durch Drehen der Solarzellen um 90° kann zu einer Parallelschaltung umgesteckt werden.

eine Parallelschaltung von Solarzellen eignet, um höhere Spannungen zu erreichen. Dazu werden drei gleich große Solarzellen einmal in Reihe geschaltet und einmal parallel. An beiden Schaltungen wird jeweils die Spannung gemessen.

Ergebnis: In der Reihenschaltung addieren sich die Spannungen der Einzelzellen, sodass sich eine Gesamtspannung von rund 1,5V ergibt. In der Parallelschaltung dagegen bleibt die Spannung konstant bei rund 0,5V.

Um technisch sinnvolle Spannungen zu erreichen, muss man also Solarzellen zu Solarmodulen in Reihe schalten.

4. Was passiert bei Teilverschattung eines Solarmoduls?

Experiment: In diesem Experiment soll der sehr praxisrelevante Fall der Teilverschattung eines Solarmoduls simuliert werden.

Wir schalten erneut drei Solarzellen in Reihe und messen nun die Stromstärke. Nun wird eine der drei Solarzellen vollständig mit der Hand verdeckt und der gemessene Stromwert mit dem Ausgangswert verglichen.



Bild 4: Ein Solarmodul mit Teilverschattung: Drei Solarzellen in Reihe geschaltet, von denen eine verschattet wird.

Ergebnis: Der Strom nach Abschatten geht fast auf Null zurück.

Erklärung: Durch das Verschatten der Solarzelle fällt diese nicht nur zur Stromproduktion aus, sondern behindert den Strom der noch aktiven Solarzellen zusätzlich. Denn durch die Verschattung wird die Solarzelle zu einer Diode in Sperrichtung.

Natürlich gibt es für dieses Problem auch eine einfache technische Lösung: die sogenannte Bypassdiode. Eine solche ist in jedem handelsüblichen Solarmodul integriert und stellt im Verschattungsfall eine „Umleitung“ für den Strom dar.

Im Experiment wird das leXsolar-Diodenmodul als Bypassdiode verwendet und parallel zur verschatteten Solarzelle geschaltet. Der Strom erreicht so wieder den Ausgangswert, trotz verschatteter Zelle.

5. Wie reagiert die Solarzelle auf verschiedene Lastzustände?

Experiment: Wir wollen untersuchen, ob eine Solarzelle unabhängig vom angeschlossenen Verbraucher immer ihre maximale Leistung abgibt.

Wir schalten die Solarzelle in Reihe mit dem leXsolar-Potentiometermodul als Verbraucher – einem veränderlichen Widerstand. Um während des Experiments gleich bleibende Beleuchtungsbedingungen zu gewährleisten nutzen wir das leXsolar-Beleuchtungsmodul (siehe Bild 5). Für die eigentliche Messung wird das Potentiometermodul zunächst auf minimalen Widerstand eingestellt – die Solarzelle wird also im

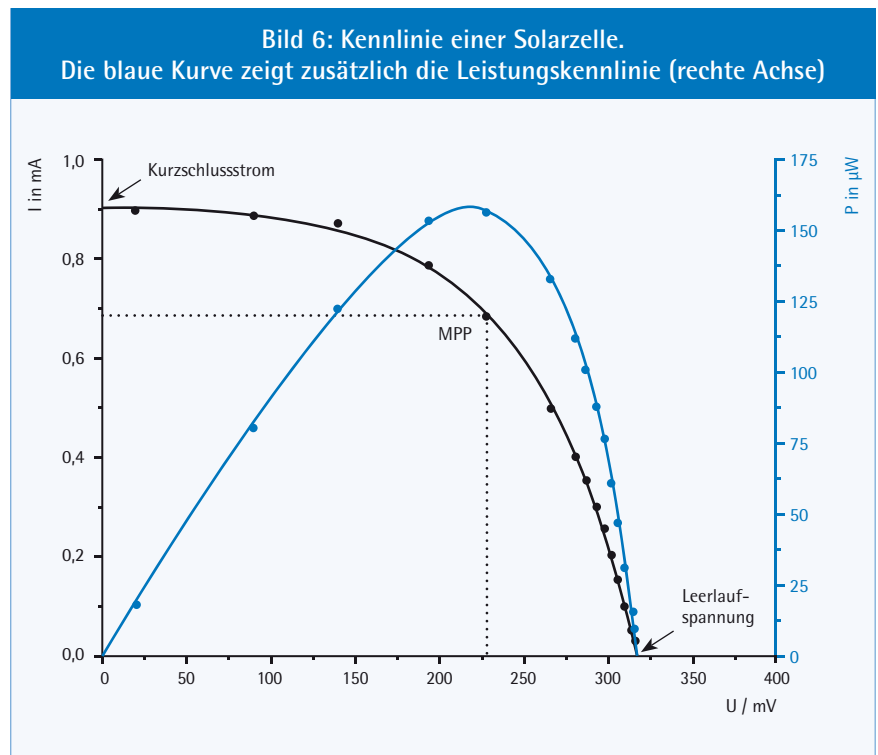


Bild 5: Experimentieraufbau zur Ermittlung der Kennlinie einer Solarzelle. Die Solarzelle ist in Reihe geschaltet mit einem veränderlichen Widerstand und wird mit dem leXsolar-Beleuchtungsmodul beleuchtet.

Kurzschluss betrieben. Nun werden für verschiedene Widerstandseinstellungen jeweils Stromstärke und Spannung gemessen, bis das Potentiometermodul seinen Anschlag bei 1kΩ erreicht hat. Dies entspricht annähernd dem Leerlauf der Solarzelle.

Ergebnis: Wird nun die Stromstärke in einem Diagramm über der Spannung dargestellt, ergibt sich die Kennlinie in Bild 6. In dem Diagramm wurde zusätzlich für jeden Messpunkt die Leistung abgetragen (rechte Achse, blaue Kurve). Markiert sind außerdem die markanten Punkte Leerlauf und Kurzschluss.

Aus der Leistungskennlinie ist sofort zu erkennen, dass sich an einem bestimm-



ten Punkt der Kennlinie ein Maximum der Leistung ergibt – der sogenannte Maximum Power Point (MPP). Die Solarzelle gibt also je nach Widerstand des angeschlossenen Verbrauchers eine andere Leistung ab. Nur wenn der Verbraucher exakt am MPP arbeitet, kann die maximale Leistung wirklich entnommen werden.

Bei Anlagen, die ins Stromnetz einspeisen, übernimmt dies der Wechselrichter, der sich durch das sogenannte MPP-Tracking ständig auf den MPP der Solaranlage anpasst.

6. Hat die Temperatur Einfluss auf die Solarzellenleistung?

Experiment: Auch in diesem Versuch kommt das leXsolar-Beleuchtungsmodul zum Einsatz, diesmal wird es jedoch mit maximaler Leistung betrieben und fungiert daher als Heizung für die Solarzelle. Durch das Loch im Beleuchtungsmodul (vgl. Bild 2) kann nun mit einem einfachen Laborthermometer die Temperatur an der Oberfläche der Solarzelle bestimmt werden. Die Solarzelle wird nun auf rund 60 °C erwärmt und das Verhalten von Spannung und Stromstärke beobachtet.

Ergebnis: Die Spannung geht während der Messung um ca. 20% zurück. Die Stromstärke dagegen bleibt nahezu konstant.

In sehr heißen Gegenden kommt es aufgrund der Temperaturabhängigkeit der Solarzelle daher zu Verlusten gegenüber der theoretisch erwarteten Ausbeute einer Solaranlage. Gegenmaßnahmen sind in Praxis vor allem passiver Natur. So ist bei PV-Anlagen immer für eine gute Hinterlüftung zu sorgen, um durch den Kamineffekt eine natürliche Kühlung zu erreichen.

Zusammenfassung

Einige der hier dargestellten Versuche sind auch als virtuelle Experimente aufbereitet und können unter www.leXsolar.de durchgeführt werden.

Das Experimentiersystem leXsolar-Experiment kann in verschiedenen Ausführungen – angepasst z. B. an schulische Belange oder für Mitarbeiterschulungen – bei leXsolar bezogen werden. Die Dokumentation enthält sowohl umfangreiche Experimentieranleitungen als auch Lösungshefte mit Ergebnissen und Erklärungen der Experimente.

ZUM AUTOR:

► **Ronny Timmreck**

hat Physik an der TU Dresden studiert und diplomierte zu einem Thema aus dem Bereich organische Solarzellen. Er ist Gründer und Geschäftsführer der leXsolar GmbH, die Produkte rund um die Bildung in Erneuerbaren Energien entwickelt, produziert und vertreibt. Kernprodukte sind dabei Experimentiersysteme zur Photovoltaik.

Kontaktdaten:

Dipl.-Phys. Ronny Timmreck
ronny.timmreck@leXsolar.de
 leXsolar GmbH
 c/o Technische Universität Dresden
 01062 Dresden
www.leXsolar.de

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.

Die **DGS** ist ...

- eine technisch-wissenschaftliche Organisation für erneuerbare Energien und Energieeffizienz.
- Mittler zwischen Wissenschaft, Ingenieuren, Handwerk, Industrie, Behörden und Parlamenten.
- nationale Sektion der International Solar Energy Society (ISES).
- Mitglied des Deutschen Verbandes technisch-wissenschaftlicher Vereine (DVT).

Die **DGS** fordert ...

- die nachhaltige Veränderung der Energiewirtschaft durch die Nutzung erneuerbarer Energien.
- technische Innovationen bei Energieerzeugung und -effizienz durch einen breiten Wissenstransfer.
- solide Gesetze und technische Regelwerke für die direkte und indirekte Nutzung der Sonnenenergie.

Die **DGS** bietet ...

- jährlich 6 Ausgaben der **SONNENENERGIE** als Teil der Vereinsmitgliedschaft.
- Rabatte bei DGS-Veranstaltungen, Publikationen und Schulungen sowie der RAL Gütegemeinschaft.
- ein starkes lebendiges Netzwerk aus über 3.000 Solarfachleuten und Wissenschaftlern.

Werden Sie Mitglied und erhalten Sie die SONNENENERGIE regelmäßig frei Haus www.dgs.de/beitritt oder rufen Sie uns an Tel.: 089/524071



auf dem Weg in die solare Zukunft ...

werden Sie Mitglied im starken Netzwerk www.dgs.de/beitritt

• Produktinfo Montagesysteme •

alfasolar A2



10 Jahre Herstellergarantie – statisch geprüft!

Das **Montagesystem A2** überzeugt durch seine universell verwendbaren hochwertigen Einzelteile aus Aluminium und Edelstahl. Unser Standardsystem liefern wir Ihnen inklusive Dachhaken in schwerer Ausführung. Optional sind höhenstellbare Dachhaken erhältlich.

Ihre Vorteile im Überblick:

- sehr gutes Preis/Leistungsverhältnis
- hohe Sicherheit
- schnelle Montage
- jeder Verbindungspunkt trägt sich selber
- Montageschiene mit 4 Befestigungsmöglichkeiten und integriertem Kabelkanal
- weniger Lagerhaltung durch geringe Anzahl Teile
- Kreuzschienenmontage möglich

Kostenfreie Beratung und Berechnung, Unterstützung bei Erstmontage

Flexibilität: Schienenmaterial und Einzelteile paketweise erhältlich
 Service: Auf Wunsch Planung, Zuschnitt & Versand auf die Baustelle

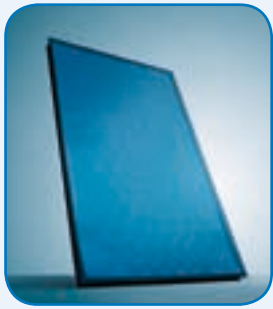
alfasolar Vertriebsgesellschaft mbH

Ahrensburger Straße 4-6
 30659 Hannover

Telefon: 0511 - 261 447-0
 Telefax: 0511 - 261 447-50
 E-Mail: sales@alfasolar.de
<http://www.alfasolar.de>



auroTHERM plus



Das **auroTHERM plus** System bietet mit einer vertikalen sowie einer horizontalen Ausführung und seiner Eignung für die Auf-, In- und Flachdachmontage eine besonders hohe Flexibilität. Durch das neue Montagesystem liegt die Installationszeit nach Tests mit Fachhandwerksbetrieben deutlich unter der Montagezeit vergleichbarer Produkte am Markt. Lose Kleinteile sind nicht mehr erforderlich.

Technische Daten:

- Solar Flachkollektor zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung
- Bruttofläche: 2,51 m²
- Wirkungsgrad: 86 %
- Maße (H/B/T): 2033/1233/80 mm
- Gewicht: 38 kg
- Absorber: Al/Cu-Absorber
- Glas: Antireflexglas
- Montagesysteme für Aufdachmontage, Flachdach-/Freiaufstellung und Indachmontage

Gefertigt wird **auroTHERM plus** im Produktions-Standort Gelsenkirchen mit modernsten Laser-Schweißverfahren. Im Vergleich zur bisherigen Serie wurde die Brutto-Kollektorfläche vergrößert und das Gewicht reduziert.

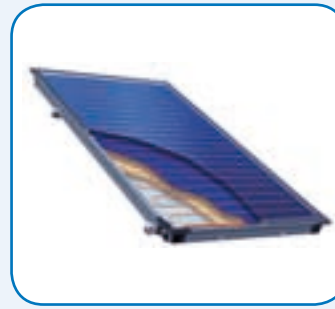
Vaillant Deutschland GmbH & Co. KG

Berghäuser Straße 40
42859 Remscheid

Telefon: 02191 - 18-0
Telefax: 02191 - 18-28 10
E-Mail: info@vaillant.de
www.vaillant.de



Logasol SKS 4.0



Der Flachkollektor **Logasol SKS 4.0** erwärmt das Trinkwasser und unterstützt zusätzlich die Heizung. Für die gute Leistung sorgen das Solarsicherheitsglas mit hoher Lichtdurchlässigkeit, der Kupfer-Vollflächenabsorber mit seiner hochselektiven Beschichtung und die Füllung mit dem Edelgas Argon. Der hermetisch dichte Randverbund zwischen Glas und Absorber verhindert ein Beschlagen des Kollektors.

Technische Daten:

- Maße (L/B/T): 2070/1045/90 mm
- Brutto-Außenfläche: 2,36 m²
- Gewicht: 46 kg
- Kollektorleistung: 525 kWh/(m² · Jahr)
- erfüllt die Anforderungen des Umweltzeichens „Blauer Engel“
- geeignet zur Dachintegration, Überdach-, Flachdach- und 45°-Fassadenmontage

Der **Logasol SKS 4.0** hat einen Rahmen aus Fiberglas. Dieses Material ist besonders leicht, sehr stabil und beständig gegen Korrosion, Umweltchemikalien und UV-Strahlen. Der Kollektor kann leicht waagrecht oder senkrecht montiert werden.

Buderus, Bosch Thermotechnik GmbH

Buderus Deutschland
Sophienstraße 30-32
35576 Wetzlar
Telefon: 06441 - 418-0
Telefax: 06441 - 45602
E-Mail: info@buderus.de
www.buderus.de



HIT PV-Modul



Die **SANYO HIT** (Heterojunction with Intrinsic Thin layer) -Solarzelle besteht aus monokristallinen Hybrid-Wafern, beschichtet mit ultradünmem amorphen Silizium. Die HIT Module verfügen über einen der höchsten Wirkungsgrade und Energieerträge der Branche, hervorragende Temperaturcharakteristik sowie hohe Ausgangsleistung auf einer gegebenen Fläche – verglichen mit herkömmlichen kristallinen Modulen.

Technische Daten (Modultyp HIP-230HDE1):

- Wirkungsgrad Zelle: 19,2 %, Wirkungsgrad Modul: 16,6 %
- Nennleistung (P_{max}): 230 W
- Leerlaufspannung (V_{oc}): 42,3 V
- Kurzschlussstrom (I_{sc}): 7,22 A
- Temperaturkoeffizient von P_{max}: -0,3 %/°C
- Maße (H/B/T): 1610/861/35 mm
- Gewicht: 16,5 kg
- Zertifikate: CE, IEC 61730, IEC 61215, SKII

Die neu entwickelte „Honeycomb Design“ HD Zelle ermöglicht ein Moduldesign, das Silizium effizient nutzt. Das bedeutet die Anordnung einer maximalen Anzahl rundförmiger Hochleistungszellen in einem Modul.

SANYO Component Europe GmbH

Stahlgruberring 4
81829 München

Telefon: 089 - 46 00 95-0
Telefax: 089 - 46 00 95-170
E-Mail: info.solar@sanyo-solar.eu
<http://www.sanyo-solar.eu>



Datalogger DL2



Mit dem **DL2** lassen sich größere Datenmengen (z. B. Mess- und Bilanzwerte der Solaranlage) über längere Zeiträume aufzeichnen. Er kann über sein integriertes Web-Interface mit einem Standard-Internet-Browser konfiguriert und ausgelesen werden. Zur Übertragung der aufgezeichneten Daten aus dem internen Speicher des **DL2** auf einen PC, kann auch eine SD-Karte benutzt werden. Er kann direkt an einen PC oder einen Router zur Fernabfrage angeschlossen werden und erlaubt damit ein komfortables Anlagenmonitoring zur Ertragskontrolle oder zur erweiterten Diagnose von Fehlersituationen.

Technische Daten:

- Abmessung: Ø 130 mm, Tiefe 45 mm
- Anzeige: Balken-LED zur Kontrolle der Speicherkapazität sowie 1 Leucht-Drucktaster zur Darstellung des SD Kartenstatus
- Schnittstellen: VBus® zum Anschluss an RESOL Regelungen. LAN
- Versorgung: 220 ... 240 V~
- Speicher: 180 MB interner Speicher

Bei Logintervall von 5 Min. ausreichend für:

- 30 Monate für ein System mit einem DeltaSol® M, einem HKM und einem WMZ-Modul
- 60 Monate für ein System mit einem DeltaSol® M und einem HKM
- 120 Monate für ein System mit einem DeltaSol® M

RESOL – Elektronische Regelungen GmbH

Heiskampstraße 10
45527 Hattingen

Telefon: 02324 - 9648-0
Telefax: 02324 - 9648-755
E-Mail: info@resol.de
www.resol.de

