



Schüler zapfen die Sonne an

Photovoltaikanlagen in Schulen helfen beim Energiesparen und bereichern den Unterricht. Sie prägen das Erscheinungsbild der Schule und zeigen, hier ist die Energieversorgung der Zukunft Thema. Für derartige Anlagen gibt es einen Zuschuss.

EINLEITUNG

Eine wichtige Zukunftsaufgabe der Menschheit ist die Schaffung einer umweltfreundlicheren, nachhaltigen Energieversorgung. Um diese Herausforderung bewältigen zu können, sind weitere naturwissenschaftliche Forschung und neue technische Entwicklungen notwendig. Für die Umsetzung braucht man heute und auch zukünftig vor allem technische Experten, wie z. B. Ingenieure, Handwerker, Facharbeiter oder Forscher, aber auch die Zusammenarbeit mit anderen Fachbereichen, etwa Marketing, Betriebswirtschaft oder Sozialwissenschaften. Interesse und Motivation für technische Berufsfelder erwächst meist während der Schulzeit. Hier werden die Grundlagen gelegt. Wichtig ist neben der Vermittlung von Fakten, Begeisterung für Technik zu wecken, zur Auseinandersetzung über ihre Chancen und Risiken zu motivieren sowie erste praktische Erfahrungen zu sammeln.

Schuleigene Photovoltaikanlagen sind ein guter Ansatz zur Integration erneuerbarer Energietechniken in den Schulunterricht. Schülerinnen und Schüler können zur Vertiefung ihres theoretischen Wissens an einer realen Anlage Messungen bilanzieren und Erträge berechnen. Durch die Gegenüberstellung des eigenen Stromverbrauchs und des erzeugten Solarstroms können realistische Vorstellungen vom „Wert“ des Stroms sowie

von Aufwand und Potential der Photovoltaik vermittelt werden. Bei einer zu erwartenden Lebensdauer von über 20 Jahren profitieren mehrere Schülergenerationen von den Anlagen. An vielen Schulen wurden sie auch bei Schulfesten u. ä. der allgemeinen Öffentlichkeit vorgestellt; eine gute Chance, über umweltfreundliche Technik zu informieren. Häufig führte die Errichtung einer Photovoltaikanlage dazu, den Strom- und Wärmebedarf der Schule insgesamt kritisch zu durchleuchten und parallel, z. B. durch angepasstes Lüften und Heizen, Energie zu sparen. Das Thema Photovoltaikanlage bietet zahlreiche Ansatzpunkte für fächerübergreifendes Arbeiten, z. B. Informatik, Erdkunde oder auch Deutsch und Kunst bei der Gestaltung der Öffentlichkeitsarbeit. Oft wurden Schüler an den Projektschulen auch so motiviert, dass sie auch in ihrem privaten Umfeld Möglichkeiten des Energiesparens konsequenter genutzt haben.



Abb. 1 Schüler montieren eine PV-Anlage [Wentzinger Schulen Freiburg]

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) fördert die Errichtung schuleigener Photovoltaikanlagen im Rahmen des Programms „Sonne in der Schule“ mit einem Festbetrag bis zu 6.000,- DM. Bis zum April 2000 wurden mehr als 300 Schulen in die Förderung aufgenommen. Außerdem wird jede ins öffentliche Netz eingespeiste Kilowattstunde nach dem Erneuerbaren Energiengesetz vergütet. Für Anlagen, die in den Jahren 2000/2001 in Betrieb gehen, sind das 99 Pf./kWh.

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Zukunftsaufgaben
- > Forschung
- > Sonne in der Schule

SONNE IN DER SCHULE

Das Programm „Sonne in der Schule“ fördert schuleigene Photovoltaikanlagen ab einer installierten Leistung von 1 kW_p mit bis zu 6.000 DM. Bei den derzeitigen Anlagenpreisen beträgt damit bei einer 1 kW-Anlage der Eigenanteil, der vom Schulträger noch zu erbringen ist, etwa 10.000 - 14.000 DM. In der Auswahl der Module und Komponenten sind die Betreiber frei. Sie sind für Baugenehmigung, Betrieb, Wartung und Sicherheit verantwortlich. Mit den Schulen wurde vereinbart, im Rahmen des wissenschaftlichen Begleitprogramms drei Jahre lang die monatlichen Ertragsdaten durch Ablesen des üblichen Stromzählers zu melden. Für den Unterricht erhalten sie zusätzlich ein einfaches, kostenloses Messsystem. Dieses umfasst einen Sensor für die Sonneneinstrahlung, ein Datenerfassungssystem für das Speichern der Tagessummen der Parameter Einstrahlung, Stromerzeugung, Strom einspeisung und eine Software zur grafischen Umsetzung. Voraussetzung für die Förderung ist eine Netzeinspeisung der Anlage. Abb. 2 zeigt die Verteilung der Jah-

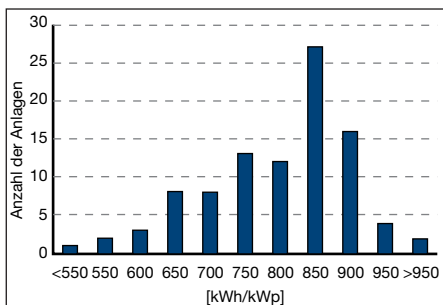


Abb. 2 Verteilung der Jahreserträge 1999

Schule	PLZ	Ort	Anlagenertrag (kWh/kW _p a)	Modultyp	Wechselrichter
Wentzinger – Schulen **	79110	Freiburg	1.149	MSX 64 ¹⁾	SWR 850 ⁶⁾
BBS Naturwissenschaften	67059	Ludwigshafen	956	M 55 ²⁾	SWR 850 ⁶⁾
Heidegymnasium	06909	Pretzsch	955	M 55 ²⁾	SWR 850 ⁶⁾
Kreisberufsschule	23758	Oldenburg	931	M 55 ²⁾	SPN 1000 ²⁾
Gewerb. und Hausw. Schulen	77694	Kehl	926	M 55 ²⁾	SPN 1000 ²⁾
Wentzinger-Schulen	79110	Freiburg	925	MSX 64 ¹⁾	SWR 850 ⁶⁾
Berufliche Schulen Kreis Ostholstein	23701	Eutin	920	SF 115 ³⁾	SWR 850 ⁶⁾
Berufliches Schulzentrum	74321	Bietigheim-Bissingen	915	M 110 ²⁾	DMI 100 ⁷⁾
Hans-Thoma-Gymnasium	79540	Lörrach	914	I-110 ⁴⁾	SWR 850 ⁶⁾
St. Meinrad-Gymnasium	72108	Rottenburg	911	H 800A ⁵⁾	Fronius 2000-1
Nepomucenum	48653	Coesfeld	903	MSX110 ¹⁾	SWR 850 ⁶⁾

** Anlage mit Reflektoren an den Modulen; ¹⁾ Solarex; ²⁾ Siemens; ³⁾ Solarfabrik Freiburg; ⁴⁾ Isofoton ⁵⁾ Helios; ⁶⁾ SMA; ⁷⁾ Dorf Müller

Abb. 3 Die zehn Anlagen mit den höchsten Jahreserträgen 1999

reserträge 1999 und Abb. 3 die 10 besten Schulen.

Die Errichtung einer Photovoltaikanlage ist für Schulen ein Projekt, das ganz verschiedene Fähigkeiten von Schülern, Lehrern, Eltern und Schulträgern fordert und fördert. Abb. 4 stellt eine Auswahl der verschiedenen Aufgaben vor.

Auch einige Energieversorgungsunternehmen und ihre regionalen Partner, z. B. die HEW, BEWAG, EVS, ESAG, Bayern Werke und PreussenElectra (SonneONLINE) haben in den letzten Jahren in ihren damaligen Versorgungsbereichen insgesamt mehr als 1.000 schulische Solarstromanlagen gefördert. Bei SonneONLINE beispielsweise erhielten die Schulen eine Standardanlage von 1,1 kW_p sowie einen Internet-Zugang zur Kommunikation aller teilnehmenden Schulen (nähere Angaben S. 4).

AUFGABEN

Organisatorische

- Planung des Projekts
- Überzeugung relevanter Gremien (z.B. Schulträger)
- Spendenbeschaffung
- Öffentlichkeitsarbeit

Manuelle

- Unter fachkundiger Anleitung Mitarbeit bei der Montage

Wirtschaftliche

- Erträge bilanzieren
- Einnahmen bilanzieren
- Umweltbilanz

Planerische

- Auslegung der Anlage
- Analyse des Aufstellungsortes
- Ertragsprognose

Abb. 4 Beispiele für Projektanforderungen

ZENTRALE BEGRIFFE

- > Förderbedingungen
- > Datenerfassung
- > Jahreserträge

DIE ANLAGE WÄCHST UND WÄCHST...

An den Wentzinger Schulen in Freiburg (Gymnasium und Realschule) begann die Solarenergienutzung mit dem 25-jährigen Schuljubiläum 1997. Auf Initiative zweier Lehrer wurde eine 1,15 kW_p Anlage errichtet. Schüler, Eltern und Lehrer entschlossen sich, diese Anlage kontinuierlich auszubauen. Bis zum Sommer 2000 ist die Photovoltaikanlage auf 21 kW von verschiedenen Herstellern angewachsen. Ein Teil (ca. 1,2 kW) ist mit einem V-Trog-Spiegelsystem ausgestattet, um den Lichteinfall auf die Module zu erhöhen. Sowohl die Spiegelanlage als auch die übrige Anlage wird mehrmals im Jahr im Neigungswinkel dem sich ändernden Sonnenstand angepasst. Nach den Erfahrungen der Wentzinger Schulen erbringt die Spiegelanlage im Durchschnitt 20 – 30% mehr Leistung als

eine baugleiche, unverspiegelte Anlage. An Aufbau und Montage der Anlage sowie der Internetpräsentation des Projekts (S. 4) waren ca. 80 Schüler aller Altersstufen beteiligt. Allerdings erfolgte die Abnahme und der Anschluß ans öffentliche Stromnetz durch einen hierfür befugten Elektromeisterbetrieb, da dieses rechtlich vorgeschrieben ist.

Das Solarprojekt ist heute ein zentraler Identifikationspunkt der Schule. 1997 wurde der gemeinnützige Verein „WentzSolar e.V.“ gegründet, der die Förderung Erneuerbarer Energietechniken und von Energiesparmaßnahmen an den Wentzinger Schulen zum Ziel hat. Weiterhin ist die Schule an der Aktion „Klimafreundliche und energiesparende Schule“ des Landes Baden Württemberg beteiligt. Im Schuljahr

1998/99 wurden hierdurch insgesamt 33.000 DM und in 1999/2000 bereits 43.000 DM Energiekosten eingespart, die zur Finanzierung von zusätzlichen Energiesparmaßnahmen und zur Erweiterung der Photovoltaikanlage (Abb. 5) verwendet werden konnten.

Spendenaufwurf 1997	13.000 DM
Spende Elternfonds	5.000 DM
Schüleraktionen Sportsolartage	40.000 DM
Verein WentzSolar - Beiträge	20.000 DM
Eingesparte Energiekosten	20.000 DM
Diverse Fördergelder (davon „Sonne in der Schule“ 12.000 DM)	40.000 DM
Öffentliche Darlehen und Kredite	112.500 DM
Stromverkauf an Stadtwerke	2.000 DM

Abb. 5 Finanzierung der Anlage der Wentzinger Schulen

PHOTOVOLTAIK IN DER BERUFAUSBILDUNG I

Die Photovoltaikanlage der Beruflichen Schule des Kreises Ostholstein in Eutin wurde im Oktober 1997 auf einem Flachdach (Abb. 6) installiert. Von den 33.750 DM Baukosten hat der Landkreis als Schulträger 27.750 DM und „Sonne in der Schule“ 6.000 DM bezahlt. Die Anlage arbeitet seit Betriebsbeginn störungsfrei und hat in 22.423 Betriebsstunden (Sept. 2000) bisher 5.146 kWh erzeugt. Die guten Ertragsdaten in Eutin zeigen, dass auch in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen überdurchschnittliche Erträge möglich sind. Der Solarstrom wird bislang ins Schulnetz eingespeist; derzeit plant der Schulträger den Anschluß ans öffentliche Stromnetz. Photovoltaik ist Thema in den Berufsschulklassen der Elektroinstallateure und der Gas- und Wasserinstallateure sowie für die Schüler des ebenfalls hier beheimateten Fachgymnasiums. Das Thema Solare Stromerzeugung ist eingebettet in eine Unterrichtseinheit über Erneuerbare Energiequellen. Die PV-Anlage wird zur Vertiefung der theoretischen Kenntnisse

genutzt, um mit Schülerinnen und Schülern den Weg des Solarstroms vom Modul zum Einspeisepunkt zu verfolgen. Hierzu gehören u. a. die Auswertung und grafische Umsetzung der Messwerte.



Abb. 6 Berufsschule Eutin

PHOTOVOLTAIK IN DER BERUFAUSBILDUNG II

Am Beruflichen Schulzentrum in Bietigheim-Bissingen ist die 1,1 kW_p Anlage auf einem Flachdach installiert und verstellbar. Die mechanische Konstruktion wurde unter Anleitung von Lehrern durch Schüler der 1-jährigen und 2-jährigen Berufsfachschule durchgeführt. Dokumentiert sind für die Tragekonstruktion: 100 m Aluminium U-Profil, ca. 530 Bohrungen, 68 gesägte Schrägen und 34 gefräste Schlitzte. Neben der öffentlichen Förderung wurden die Eigenmittel über den Förderverein der Schule, die Elektro-Innung und aus normalen Haushaltsmitteln erbracht.

Im Unterricht der Elektroinstallateure sind der Schaltplan, die Komponenten und die Netzanbindung Thema. Die Leistungsdaten werden kontinuierlich erfasst und grafisch dargestellt. Als reine Schülerarbeiten wurden

noch eine Reihe von photovoltaischen Inselanwendungen, z. B. eine Wetterstation, realisiert. Die Anlage hat bislang bis auf einen

Wechselrichter ausfall zuverlässig funktioniert (Abb. 7) und speist in das öffentliche Netz ein.

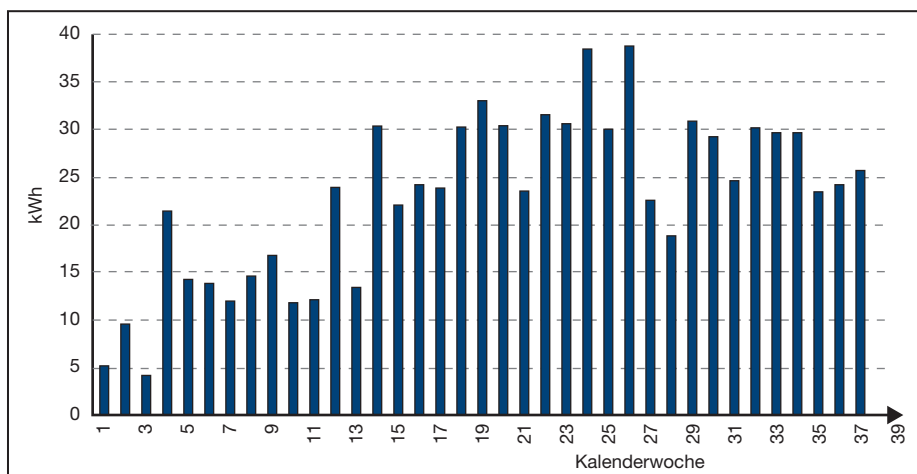


Abb. 7 Wochenenerträge (in kWh/kW_p) der Anlage in Bietigheim-Bissingen

PHOTOVOLTAIK IM UNTERRICHT

Im September 1998 wurde die 1,1 kW_p Anlage des Gymnasium Nepomucenum in Coesfeld in Betrieb genommen. Schülerinnen und Schüler der 10. Klasse haben im Rahmen des Wahlpflichtfachs Naturwissenschaften an der Montage der Trägergestelle und der Module mitgearbeitet. Damit haben sie mit einer Eigenleistung im Wert von ca. 2.000 DM zu den insgesamt 17.000 DM Anlagenkosten beigetragen. Der Rest wurde von der Stadt Coesfeld und dem Förderverein erbracht, der auch Eigentümer der Anlage ist. Abb. 8 zeigt die Monatswerte für das Jahr 1999.

Die Solarstromanlage wird in den naturwissenschaftlichen Unterricht der 9. und 10. Klassenstufe integriert: Hier werden u. a. der Energiebegriff, die Energiegewinnung, die Diode, die Halbleiter, die optimale Ausrichtung der Anlage und die Leistung thematisiert. Experimentell kann u. a. der Wirkungsgrad der Anlage ermittelt sowie die Tages-, Monats- und Jahresmittelwerte bestimmt werden. Ein weiteres Thema ist die Möglichkeit, den Solarstrom zur Erzeugung von Wasserstoff für Brennstoffzellen zu verwenden.

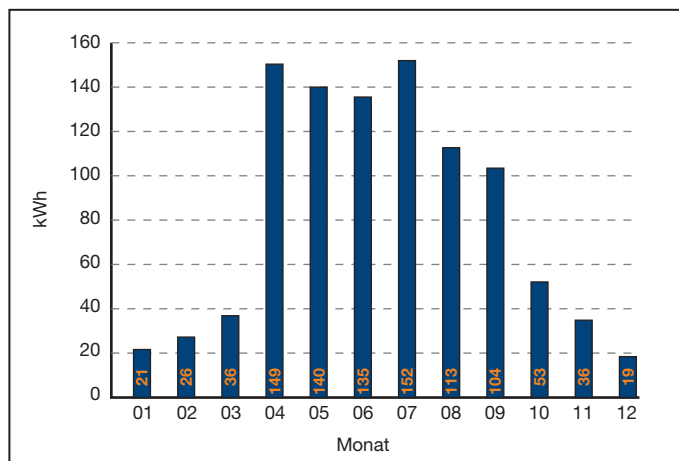


Abb. 8 PV-Anlage Nepomucenum
Monatliche Erträge 1999 (kWh/kW_p)

WEITERE MÖGLICHKEITEN

Die netzgekoppelten, schuleigenen PV-Anlagen bieten, wie auch die Beispiele zeigen, gute Möglichkeiten, den Aufbau, die verschiedenen Komponenten und die Leistung einer Anlage im Unterricht zu thematisieren. Für weitergehende Versuche zu den physikalischen Grundlagen der Photovoltaik bietet der Markt eine Reihe von Experimen-

Kennlinie einer Solarzelle, Messung von Strom und Spannung in Abhängigkeit von:

- der Last (Bestimmung des Punktes maximaler Leistung)
- der Strahlungsintensität
- der Lichtfarbe
- der Zelltemperatur

Einstrahlungsbedingungen, Geometrie

- Einfluss des Einstrahlwinkels auf die Solarzellenleistung
- Direktes und diffuses Licht (Ausblendung einzelner Komponenten, Verschattung)
- Konzentrierende Systeme (Spiegel- und Linsensysteme)

Verschaltung von Solarzellen

- Parallelschaltung (Addition der Ströme)
- Reihenschaltung (Addition der Spannung, Verschattungseffekte)

Abb. 9 Beispiele für physikalische Experimente

ter- und Lernsystemen an. Diese enthalten sowohl für die berufliche wie gymnasiale Schulausbildung grundlegende Experimente, Anleitungen für eigenständiges Arbeiten der Schüler und Anregungen für Lehrer. Eine Liste der Anbieter steht im BINE-Internetangebot bereit (s. u.). Die Abb. 9 stellt einige typische Effekte vor, die in den Physikunterricht integriert werden können. Schuleigene Photovoltaikanlagen bieten nicht nur viele pädagogische Möglichkeiten, sondern durch das „Erneuerbare Energien Gesetz“ auch eine kleine Einnahmenquelle für Anlagenbetreiber.



Abb. 10 Aufbau der Anlage an den Wentzinger Schulen

HINWEIS

- **Förderanträge** im Rahmen des Programms „Sonne in der Schule“ können Schulen noch bis zum 15. Okt. 2002 stellen. Nähere Informationen zum Programm sind im BINE Internet-Angebot zum Download eingestellt. Desweiteren finden Sie hier eine Liste von Lernsystemen und Unterrichtsmaterialien zum Thema „Photovoltaik“.
- Das **Wentzinger Gymnasium** steht unter <http://www.wentz.fr.schule-bw.de> (Rubrik „Solarprojekt“)
- Das Programm **SONNEonline** steht unter <http://www.SONNEonline.de>
- Ein **basisEnergie-Info** zu den naturwissenschaftlichen und technischen Grundlagen der Photovoltaik ist bereits erschienen. Es ist kostenlos bei BINE erhältlich bzw. kann als Download bezogen werden.

LITERATUR

- Deutsche Gesellschaft für Umwelterziehung – Büro Schwerin (Hrsg.), Sonne in der Schule – Sonne macht Schule – Ein Projektergebnis in Text und Bild, Schwerin 2000
- Staiß, F.; Knaupp, W.: Photovoltaik: Ein Leitfaden für Anwender. Ein BINE-Informationspaket. Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.). Köln: TÜV Verlag. ISBN 3-8249-0519-1

Bildung & Energie im Web

<http://bine.fiz-karlsruhe.de/>

Unsere Informationen für Schule, Beruf und Erwachsenenbildung finden SIE unter: <http://bine.fiz-karlsruhe.de> Dort ist in der Rubrik "Service" (Infoplus) eine aktuelle Linkliste zum Thema eingestellt.

Ergänzende Informationen

Info-Mappen / Download

Zu den behandelten Themen ist jeweils eine kostenlose Mappe mit vertiefenden Informationen bei BINE erhältlich. Alle Abbildungen stehen für Bildungszwecke unter <http://bine.fiz-karlsruhe.de> in der Rubrik "Service" kostenlos zum Download zur Verfügung oder können gegen eine Bearbeitungsgebühr von 30,-DM (V-Scheck) bei BINE angefordert werden.

IMPRESSUM

▼ Herausgeber



**FACHINFORMATIONSZENTRUM
KARLSRUHE**

Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH

76344 Eggenstein-Leopoldshafen

▼ Fachliche Beratung

Deutsche Gesellschaft für Umwelterziehung,
Büro Schwerin, Hagenower Str. 73,
19061 Schwerin

Ulrich Hoffmann, Wentzinger Gymnasium
Freiburg

▼ Redaktion

Uwe Milles

▼ ISSN

1438-3802

▼ Nachdruck

Nachdruck des Textes zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares - Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.

▼ Stand

Dezember 2000

BINE – INFORMATIONEN UND IDEEN ZU ENERGIE & UMWELT

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter Informationsdienst des Fachinformationszentrums Karlsruhe.

BINE informiert über neue Energietechniken und deren Anwendung in Wohnungsbau, Industrie, Gewerbe und Kommunen.

BINE bietet Ihnen folgende kostenfreie Informationsreihen

- Projekt-Infos
- Profi-Infos
- basisEnergie

Nehmen Sie mit uns Kontakt auf,

wenn Sie vertiefende Informationen, spezielle Auskünfte, Adressen etc. benötigen, oder wenn Sie allgemeine Informationen über neue Energietechniken wünschen.



BINE

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe
Büro Bonn
Mechenstr. 57
53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0

Fax: 0228 / 9 23 79-29

eMail: bine@fiz-karlsruhe.de

Internet: <http://bine.fiz-karlsruhe.de>