

SONNE

IN DER SCHULE

Betriebsbericht 2005

Inhalt

1.	Einleitung	2
1.1	„Sonne in der Schule“	2
1.2	Ziel dieses Berichtes	2
2.	Datenbasis	3
3.	Verlosung von Geldpreisen für die Teilnahme	3
4.	Angebot an Solarenergie	4
5.	Erträge	7
5.1	Bearbeitung der Betriebsdaten	7
5.2	Statistische Verteilung der Erträge	7
5.3	Betriebsstörungen	9
5.4	Unterstützung bei Problemen und Betreuung	10
5.5	Erträge einzelner Schulen	11
6.	Degradationsmessungen	12
7.	Intensiv vermessene Anlagen	13
7.1	Standorte und Aufbau	13
7.2	Datenverfügbarkeit	13
7.3	Betriebsergebnisse	13
8.	Zusammenfassung und Sonstiges	14
9.	Anhang: Überschlägige Bestimmung des Ertrages	15
10.	Anhang: Wettbewerb „Ertragsoptimierung der PV-Anlage aus Sonne in der Schule“	16

1. Einleitung

1.1 „Sonne in der Schule“

Das Programm „Sonne in der Schule“, das aus den Vorläuferprogrammen „Sonne in der Schule“ und „SONNEonline“ entstand, besteht nun schon im zweiten Jahrzehnt. Im Zusammenwirken von engagierten LehrerInnen und der intensiven Betreuung durch den Solarenergieförderverein Bayern e.V. wurde auch im Jahr 2005 die zukunftsweisende Technik der Photovoltaik wieder vielen SchülerInnen nahe gebracht. Zudem können durch die Langzeitbeobachtung an diesen Photovoltaikanlagen immer wieder wissenschaftliche Arbeiten und Beiträge bei Tagungen mit praktischen Erfahrungen untermauert werden.

Nahezu 1000 Schulen sind im Programm „Sonne in der Schule“ zusammen gefasst. Über 500 Anlagen befinden sich in Bayern, weit über 400 Anlagen Schulen in Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein und Bremen. Bei diesen - als „**Standard vermessene Anlagen**“ - bezeichneten Systemen werden nur die monatlichen Energieerträge erfasst, die in diesem Bericht veröffentlicht werden.

In Beelitz, Hannover, Kassel, Samtens, Oschersleben, Kulmbach und München befinden sich „**Intensiv vermessene Anlagen**“. Bei ihnen werden zusätzlich Größen wie die Globalstrahlung gemessen. Ihre aktuellen, aber auch die archivierten Betriebsdaten, sind unter www.sev-bayern.de → **Sonne in der Schule** im Internet verfügbar.

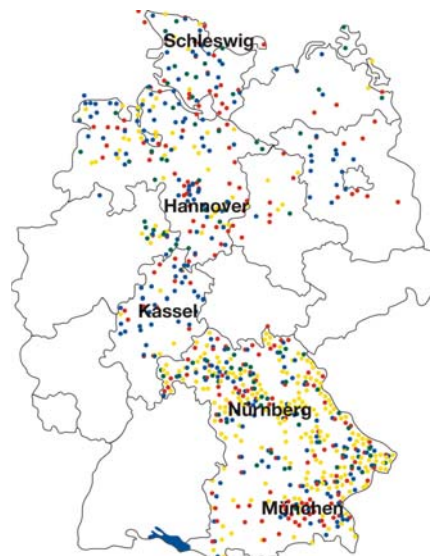


Bild 1: Geografische Lage aller Anlagen

Bild 1 zeigt die geografische Verteilung aller beteiligten Schulen.

Der Solarenergieförderverein Bayern – im Folgenden als **SeV** bezeichnet – bezieht seine Mittel aus dem Verkauf der elektrischen Energie, die von der „1-MW-Solarstrom-Aufdachanlage Neue Messe München“ erzeugt wird. Diese Erträge werden zur Unterstützung verschiedenster Solarprojekte, schwerpunktmäßig der Photovoltaik, verwendet. Bevorzugt wird die technische und finanzielle Unterstützung von innovativen Solarprojekten bei Bildungs- und Forschungseinrichtungen. Hierzu gehört auch das Programm „Sonne in der Schule“, durch das während seiner bisherigen Laufzeit schon weit über 1 Million Schüler an diese moderne Technik der Stromgewinnung herangeführt werden konnten.

1.2 Ziel dieses Berichtes

In Abstimmung mit E.ON-Bayern führt der gemeinnützige SeV auch für das Jahr 2005 wieder die Auswertung der Betriebsdaten des Programms „Sonne in der Schule“ durch. Der nachfolgende Bericht hat folgende Ziele:

- Information über die Auswertung der Betriebsdaten
- Vergleichsmöglichkeiten mit den Erträgen anderer Schulen
- Hinweise auf laufende Betreuung
- Darstellung der „Intensiv vermessenen Anlagen“

2. Datenbasis

Vor den Weihnachtsferien 2005/2006 wurden alle Schulen aus dem Programm angeschrieben und gebeten, die monatlichen Energieerträge ihrer Photovoltaikanlagen via Internet oder per Fax an den SeV zu senden. Wie schon im vergangenen Jahr, war der Rücklauf der Betriebsdaten wieder sehr erfreulich. Die wesentlichen Zahlen darüber sind in **Tabelle 1** dargestellt. Sie enthält auch die Zahlen des Vorjahres und die geringen prozentualen Änderungen.

Tabelle 1: Statistik des Rücklaufes der Betriebsdaten im Jahr 2005

	Anzahl Schulen		
	Auswertung für 2005	Auswertung für 2004	Änderung
Insgesamt am Programm teilgenommen	944	944	---
Basisdaten sind vorhanden von	927	923	---
Messdaten erhalten von	574	576	-0,3 %
Zahl der Anlagen ohne Fehler	464	468	-0,9 %

Anmerkungen

- Wiederum sehr positiv zu vermerken ist mit dem Wert von 574 (61,9 % bezogen auf die Schulen, von denen Basisdaten vorhanden sind) die große Anzahl von Schulen, die ihre Messdaten an den SeV übermittelten.
- Der Begriff „Zahl der Anlagen ohne Fehler“ ist zu erläutern. Der praktische Betrieb der Photovoltaikanlagen zeigt, dass ein gewisser Prozentsatz stets nicht verfügbar ist, etwa wegen Bauarbeiten oder längerfristiger Störungen. Nach einem Zeitraum von ca. 7 – 12 Jahren ab Inbetriebnahme verursachen Ausfälle der Wechselrichter Stillstände. Daher wurden für die statistische Auswertung alle Anlagen nicht berücksichtigt, bei denen erkennbar eine länger als drei Monate andauernde Betriebsunterbrechung vorlag.
- Als ergänzende Information ist hinzuzufügen, dass wie im Vorjahr etwa 390 Schulen ihre Betriebsdaten via Internet übermittelten, dies ist etwa die gleiche Anzahl wie im Vorjahr. Im Jahr 2002 waren es noch ca. 300. Die Summe der Rückmeldungen über Internet und Fax ist größer als die Summe der Zahl aller Messprotokolle, denn oft wurden beide Wege parallel genutzt.

3. Verlosung von Geldpreisen für die Teilnahme

Um den Anreiz zur Übermittlung der Betriebsdaten der Anlage „Sonne in der Schule“ aus dem Jahr 2005 zu geben, wurden unter den teilnehmenden Schulen, die dem SeV die Erträge ihrer Anlage übermittelt haben, 4 x 500 € verlost. Die glücklichen Gewinner sind:

- Diesterweg Gymnasium, Tangermünde
- Jean-Paul-Schule, Kassel
- Volksschule Simbach
- Volksschule Untergriesbach

4. Angebot an Solarenergie

Der Ertrag von Photovoltaikanlagen, also die erzeugte elektrische Energie, ist ganz wesentlich von der eingestrahnten Solarenergie abhängig, die als Globalstrahlung bezeichnet wird. Bezüglich dieser Globalstrahlung war 2005 eher ein normales Jahr.

Vom Deutschen Wetterdienst DWD erworben wurde die in **Bild 2** auf der **nächsten Seite** dargestellte Karte mit den Globalstrahlungen in der Bundesrepublik Deutschland. Sie ist auch in der Fachzeitschrift „Photon“ vom April 2006 enthalten.

Bezüglich der Witterung insgesamt gilt für die Schulen im Norden:

„Insgesamt war das Jahr zu warm“. In Ostholstein etwa lag die Durchschnittstemperatur um ein halbes Grad höher als im langjährigen Mittelwert, in Rostock-Warnemünde sind es sogar 1,4 Grad mehr als sonst. Die wärmsten Orte in Norddeutschland waren Lingen und Bremerhaven mit jeweils 10,4 Grad. Barth (Mecklenburg-Vorpommern) und Dörmick (Ostholstein) dürfen dagegen mit 8,9 Grad den Titel der kühlestn Orte für sich in Anspruch nehmen.

Die Meteorologen des Deutschen Wetterdienstes registrierten auch die Zahl der Sonnenstunden. Es gab flächendeckend zu viel Sonne. Glücksburg in Schleswig-Holstein zum Beispiel erfüllte 128 Prozent der Norm, Hamburg 116 Prozent. Dort schien die Sonne immerhin 1806 Stunden lang, wobei sich der Herbst besonders sonnenreich zeigte. Am wenigsten ließ sich die Sonne in Bergen (Lüneburger Heide) blicken. Sonnenverwöhnt war unter anderem Kiel im Monat Juni mit 267 Stunden - die Norm sind 237.

Für die Schulen im südlichen Deutschland lässt sich bezüglich der Witterung folgende Aussage machen:

„Das Jahr 2005 war ebenso wie schon 2004 absolut durchschnittlich. Eine Ausnahme bildet die außergewöhnliche gute Sonnenscheinbilanz mit einem Minus in nur vier der zwölf Monate. Die Temperatur war sehr ausgeglichen. Die größten Abweichungen traten mit +1,8 Grad im Juni und mit -3,0 Grad im Februar auf. Je sechs Monate waren zu warm und zu kalt. Jeder der drei Monate des sehr milden Frühlings war übersonnig (insgesamt um mehr als 100 Stunden). Den Sommer haben viele wegen des „miesen“ August und der Hochwassergefahr in schlechter Erinnerung. Trotzdem war der Sommer aber gar nicht so extrem, sondern eher normal. Zu warm und ungewöhnlich sonnig dagegen der Herbst bis zum jähen Wintereinbruch bereits im November. Auch der Dezember mit viel Schnee und Minusgraden ließ mutmaßen, ob nach vielen milden Wintern nun vielleicht wieder mal eine „Kaltserie“ angesagt ist.“ Dies hat sich ja durch den langen und schneereichen Winter bestätigt. Schon bei den Dezemberwerten der bayerischen Schulen hatte der Schneebelag auf den Modulen sinkende Erträge zur Folge.

Die monatlichen Mittelwerte sind für verschiedene Standorte im Gebiet von Sonne in der Schule in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Globalstrahlungen im Gebiet „Sonne in der Schule“ 2005, die Werte wurden beim DWD gekauft und dürfen in diesem Bericht publiziert werden.

Ort	Jan 05	Feb 05	Mrz 05	Apr 05	Mai 05	Jun 05	Jul 05	Aug 05	Sep 05	Okt 05	Nov 05	Dez 05	Jahr 05
Augsburg	38	51	100	122	166	182	156	133	107	65	31	23	1.174
Berlin	19	35	82	140	151	174	148	138	107	68	26	13	1.101
Braunschweig	21	34	78	128	150	174	146	121	109	64	23	15	1.063
Bremen	19	31	69	119	145	170	139	109	107	64	21	14	1.007
Fichtelberg	25	53	105	114	148	171	150	117	101	74	39	22	1.119
Frankfurt	25	43	83	119	157	174	156	132	107	60	26	18	1.100
Gießen	20	38	77	106	142	156	143	121	99	56	22	17	997
Göttingen	20	38	78	106	141	157	144	120	98	57	22	16	997
Hamburg	18	31	70	127	150	175	140	114	101	64	21	14	1.025
Hannover	19	33	74	123	144	168	145	114	109	65	22	14	1.030
Hof	23	42	92	113	158	171	154	122	103	73	31	18	1.100
Hohenpeißenberg	41	55	103	119	162	179	153	124	103	76	37	27	1.179
Kassel	20	35	81	112	144	160	151	115	103	65	23	15	1.024
Kiel	18	32	79	132	156	182	149	127	101	61	22	14	1.073
List	19	34	87	136	170	181	147	115	93	65	19	14	1.080
München	40	57	106	125	169	185	161	126	105	74	35	27	1.210
Nürnberg	28	44	90	103	160	183	156	131	110	71	28	18	1.122
Potsdam	19	35	81	141	153	173	147	137	107	68	27	13	1.101
Regensburg	32	52	95	117	167	180	158	125	107	74	26	22	1.155
Rostock	17	28	79	143	157	176	159	131	100	65	25	12	1.092
Schleswig	18	33	81	133	161	183	148	125	100	62	21	14	1.079
Stralsund	17	27	78	145	151	178	171	137	98	65	26	11	1.104
Weihenstephan	39	54	102	125	175	187	164	132	106	70	31	26	1.211
Würzburg	27	41	83	115	162	178	163	134	107	63	27	18	1.118

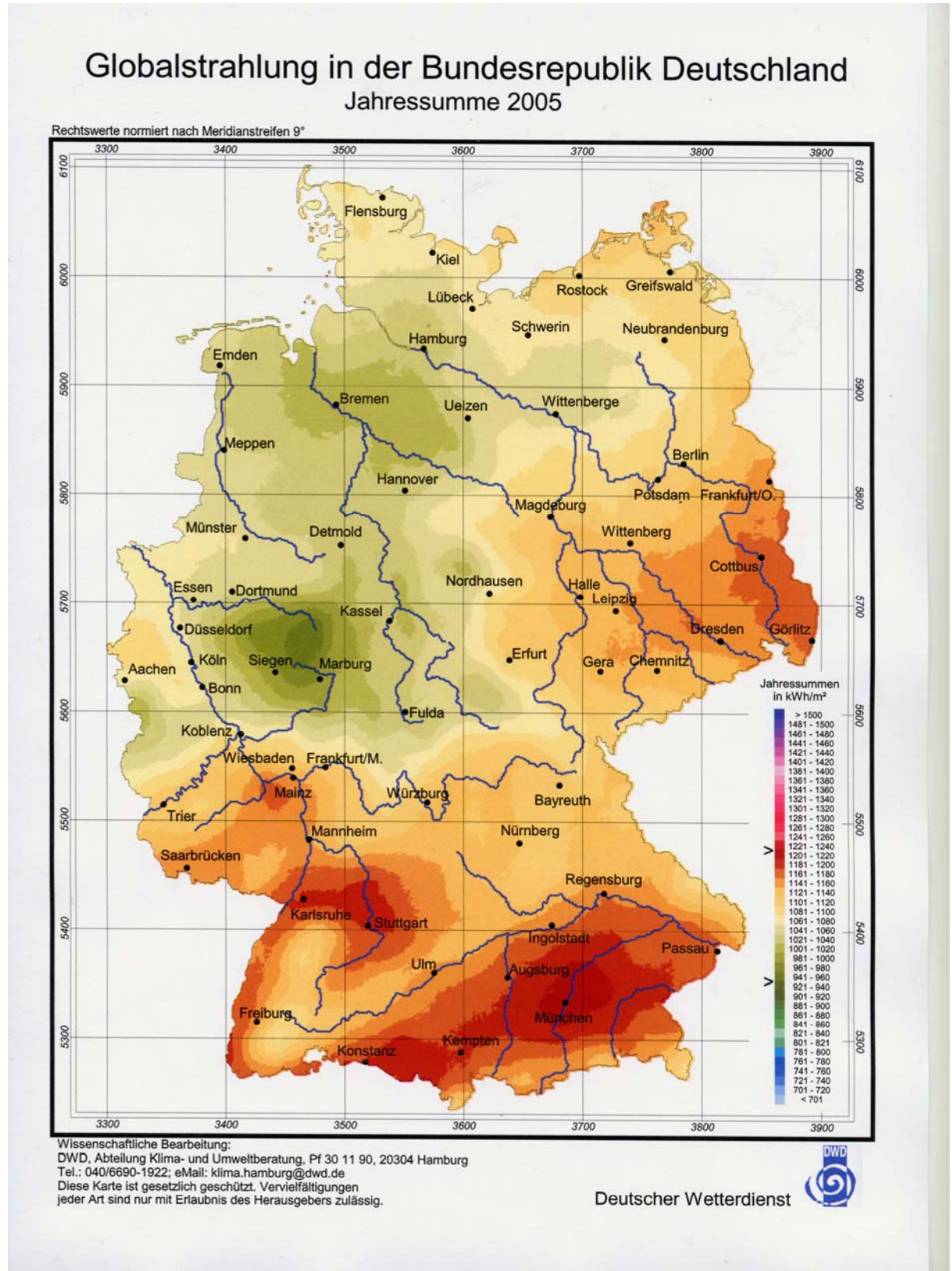
Ein der Sonne optimal zugeneigter Solargenerator, der in unseren Breiten mit einem Winkel der Module gegen die Waagrechte in der Größenordnung 20 – 40° nach Süden ausgerichtet ist, erhält etwa 10 – 15 % mehr Globalstrahlung als die waagrechte Ebene.

In Berlin erhielt eine waagrechte 1-m²-Fläche die Energie von 1101 kWh, in München 1210 kWh.

Wie man aus den Werten der Globalstrahlung grob überschlägig den möglichen Ertrag einer Photovoltaikanlage bestimmt, ist im Anhang dargestellt.

Die Leistung von Photovoltaikanlagen wird in Kilowatt peak (kW_p) angegeben, das ist die Spitzenleistung, die das Modul bei einer Bestrahlungsstärke von 1.000 W/m² und einer Temperatur von 25°C erreicht.

Bild 2: Globalstrahlung in Deutschland 2005



5. Erträge

5.1 Bearbeitung der Betriebsdaten

Die erhaltenen Betriebsdaten zu den Erträgen der Photovoltaikanlagen wurden mit Hilfe entsprechender Software weiterverarbeitet und aufbereitet.

5.2 Statistische Verteilung der Erträge

Der spezifische Ertrag der Anlagen im Gesamtgebiet vom Norden bis in den Süden Deutschlands lag im Jahr 2005 bei durchschnittlich **781 kWh/kW_p**. Im von der Witterung her durchschnittlichen Jahr 2004 wurden durchschnittlich 779 kWh/kW_p erzielt. Wegen der höheren Globalstrahlung lag er im „Spitzenjahr“ 2003 bei 892 kWh/kW_p. Hierunter ist die in das lokale Niederspannungsnetz eingespeiste elektrische Energie zu verstehen. Diese Größe ist ein Mittelwert. Manche Anlagen sind durchaus besser, etwa wegen eines höheren Angebotes an Globalstrahlung, andere können aus bestimmten Gründen – beispielsweise teilweise Verschattung der Module - schlechter sein.

Bild 3 zeigt für das Jahr 2005 die spezifischen Energieerträge aller Anlagen - für die Messprotokolle vorlagen und für welche sich sinnvolle Werte ergaben – über die Anzahl der Anlagen. Wenn ersichtlich war, dass die Anlage für einen längeren Zeitraum nicht verfügbar war, etwa wegen eines Ausfalles des Wechselrichters oder Bauarbeiten, wurde sie nicht in die Ermittlung des Mittelwertes einbezogen, siehe Kap. 2

Es sei betont, dass die Energiewerte auf die Leistung 1 kW_p bezogen sind. Die Erträge wurden durch den Wert der Nennleistung von beispielsweise 1,1 kW_p dividiert. Dadurch werden die Ergebnisse vergleichbar.

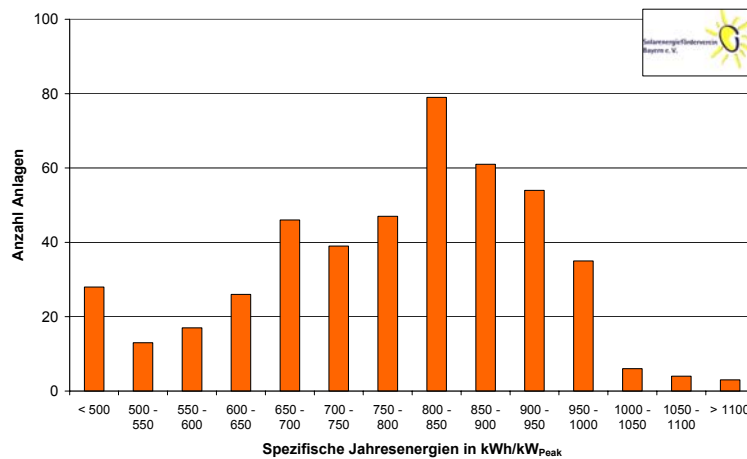


Bild 3: Verteilung des spezifischen Ertrages im Gesamtgebiet
-458 Basis Anlagen
-Mittelwert 781 kWh/kW_{Peak}

Die meisten Anlagen erzielten Erträge im Bereich 800 – 850 kWh/kW_p. Maximale Erträge reichen über 1100 kWh/kW_p. Gründe, dass Anlagen im Bereich 0 – 500 kWh/kW_p liegen sind nach der Erfahrung oft Verschattungen durch Bäume und Sträucher und Defekte der Wechselrichter. Anlagen mit hohen Erträgen über 900 kWh/kW_p sind intensiv betreut, ihr Standort weist gute Globalstrahlungswerte und gute Lüftung für die Solarmodule auf. Letzteres ist wichtig, denn photovoltaische Solargeneratoren zeigen mit steigender Temperatur schlechtere Erträge.

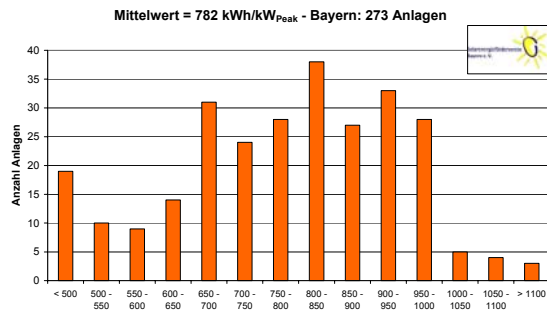
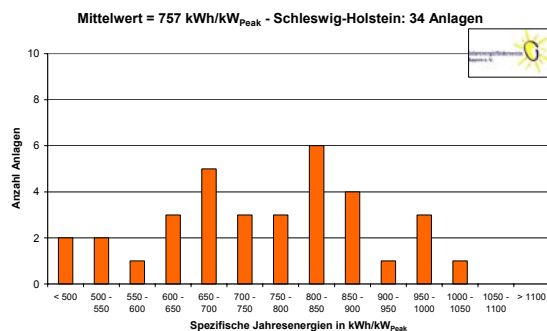
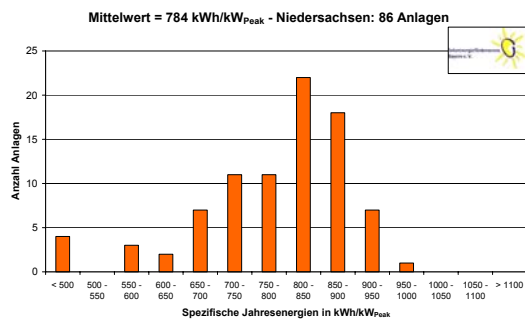
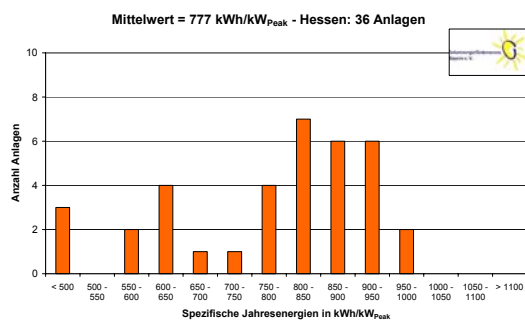


Bild 4: Erträge in den Bundesländern Bayern, Hessen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Dargestellt sind die Anlagen mit nutzbaren Daten, die im Normalbetrieb verfügbar waren. Man beachte die verschieden skalierten Achsen!



Aussagen über die Verteilung der spezifischen Energieerträge in den einzelnen Bundesländern zeigen das auf der vorigen Seite stehende **Bild 4** sowie **Tabelle 3** weiter unten. Es ist zu bemerken, dass in Bild 3 nur die Verteilung der spezifischen Energieerträge in den Bundesländern dargestellt wurde, in denen eine genügend große Anzahl von nutzbaren Messdaten vorhanden war.

Beide Darstellungen geben eine Aussage über die mittleren Erträge in verschiedenen Regionen. Wie zu erwarten, sind die Erträge wegen der besseren Globalstrahlungsbedingungen im Süden höher. Bei der Bewertung der Tabelle ist zu beachten, dass mit wenigen Anlagen in manchen Bundesländern keine allgemeingültigen statistischen Aussagen zu treffen sind. Anders gesagt: Von einer kleinen Anzahl Anlagen kann nicht unbedingt auf das Verhalten aller Anlagen in diesem Gebiet geschlossen werden, etwa in Sachsen-Anhalt mit 812 kWh/kW_p, aber mit nur vier Anlagen.

Tabelle 3: Anzahl der Anlagen mit „nutzbaren Datensätzen“ und Mittelwert des spezifischen Energieertrages aufgeteilt nach Bundesländern

Bundesland	Anzahl Anlagen 2005	Mittelwert spezifischer Ertrag in kWh/kW _p 2005	Veränderung des Ertrages gegenüber 2004
Bayern	273	782	-1,0%
Hessen	36	777	+0,4%
Niedersachsen	86	784	+2,9%
Schleswig-Holstein	34	757	-1,2%
Nordrhein-Westfalen	9	812	+1,4%
Brandenburg	9	752	-1,1%
Sachsen-Anhalt	4	812	-3,1%
Mecklenburg-Vorpommern	3	948	+37,6%
Bremen	4	786	+1,4%
Gesamtgebiet	458	781	-0,3%

5.3 Betriebsstörungen

Natürlich kommt es nach dieser schon relativ langen Betriebsdauer der Anlagen immer wieder zu Betriebsstörungen, aber auch zu Umbauten. Beide Maßnahmen führen zu Nichtverfügbarkeiten. In **Tabelle 4** ist die Anzahl der nicht verfügbaren Anlagen – wegen Störungen und Umbauten – im Verlauf der Jahre prozentual und absolut angegeben.

Tabelle 4: Gesamtanzahl der gelieferten Messwerte und der davon genutzten Werte

Jahr	Messwerte geliefert von ... Anlagen	Genutzte Messwerte, d.h. Anlagen ohne Störung	Anzahl der Anlagen mit Störung absolut	Anzahl der Anlagen mit Störung prozentual
2002	460	389	71	15,4 %
2003	512	460	52	10,2 %
2004	576	468	108	18,8 %
2005	574	458	116	20,9 %

Die wichtigsten Gründe für Störungen sind, wie schon in den vergangenen Jahren meist:

- Wechselrichterstörungen, auch Defekt durch Blitzschlag
- Umbau des Schulgebäudes oder Sanierungsarbeiten.
- In zwei Fällen wurden die Anlagen gestohlen
- Gelegentlich gab es Probleme mit der Software

5.4 Unterstützung bei Problemen und Betreuung

Wie in den vorhergehenden Jahren sind dem SeV gut funktionierende Photovoltaikanlagen der Schulen ein wesentliches Anliegen, deshalb soll auch in diesem Bericht auf die Unterstützungsmöglichkeiten hingewiesen werden.

Sind die Erträge einer Anlage schlecht und ist der Wechselrichter erkennbar die Ursache, so können die Schulen bei Austausch oder Reparatur – allerdings im Ermessen des SeV und nach Situation der Mittel – unterstützt werden.

Der SeV will Hilfe zur Selbsthilfe geben. Der häufigste Störfall ist der Ausfall des Wechselrichters. Hier sind zwei Fälle zu unterscheiden.

Für die Schulen in Bayern, die ursprünglich mit dem Wechselrichter Siemens SPN 1000 ausgerüstet waren, empfiehlt der SeV das Gerät „Fronius SUNRISE Mini-S“ zum Preis von ca. 935 € inkl. MwSt. Der Wechselrichter ist über die Firma IBC-Solar (www.ibt-solar.de) zu beziehen. Der Austausch ist ohne Umverkabelung der Module möglich. E.ON-Bayern und der SeV unterstützen den Austausch finanziell gemeinsam. Für die Schulen in Bayern ergeben sich folgende Schritte:

- Wenn der Wechselrichter Siemens SPN1000 defekt ist, kann beim SeV das Informationsheft „Wechselrichter-Austausch“ angefordert werden.
- Zeichnet sich ab, dass ein Austausch erforderlich ist, meldet die Schule den Defekt dem SeV (SonneSchule@sev-bayern.de) und bittet um Prüfung ob ein Zuschuss möglich ist.
- Nach positivem Bescheid bestellt der Schulaufwandsträger den Austauschwechselrichter mit dem Hinweis „Sonne in der Schule“ bei der Firma IBC SOLAR AG. Die Lieferzeit beträgt ca. 5 Wochen. Die Schulen werden ersucht, die Montage in eigener Verantwortung durchführen zu lassen. Eine ausführliche Montageanleitung ist als Download auf der Internetseite des SeV www.sev-bayern.de → Sonne in der Schule → Service verfügbar.
- Nach Abschluss der Aktion erhält der SeV eine Kopie der Rechnung mit der Angabe des Kontos. Der SeV überweist maximal 640 € bzw. zwei Drittel der Kosten des neuen Wechselrichters. **Diese Kostenbeteiligung von E.ON-Bayern und SeV gilt für alle Rechnungen die bis zum 31.12.2006 eingegangen sind.**

Die ehemaligen SONNEonline Schulen sind mit dem Wechselrichter Sunny Boy SWR 850 ausgerüstet. Die Bereitstellung eines Austauschgerätes wird vom SeV finanziell unterstützt. Für diese Schulen ergeben sich folgende Schritte:

- Die Schule meldet den Defekt dem SeV (SonneSchule@sev-bayern.de) und bittet um Prüfung ob ein Zuschuss möglich ist. Nach positivem Bescheid kann der folgende Weg begangen werden.
- Der Wechselrichterhersteller SMA stellt ein Austauschgerät zum Preis von 275 € zzgl. Versand bereit. Zur Abwicklung muss die Schule die folgenden Schritte durchführen:
 1. Bei SMA anrufen und Schaden mit Seriennummer des Gerätes melden (Hotline: 0561/9522-499).
 2. SMA sendet Kostenübernahmeformular, welches unterzeichnet zurückgesendet werden muss.
 3. SMA sendet das Austauschgerät. Nach dem Wechselrichter-Austausch ist das defekte Gerät in der erhaltenen Kiste zu verpacken. Nach genau einer Woche wird diese wieder abgeholt.
- Nach Abschluss des Austausches ist eine Kopie der Rechnung mit Angabe des Kontos an den SeV zu schicken. Daraufhin wird die Hälfte der Kosten von 275 € überwiesen. **Diese Zusage einer Kostenbeteiligung gilt für Rechnungen, die bis zum 31. Dezember 2006 beim SeV eingegangen sind.**

Bei wirklich gravierenden Betriebsstörungen leistet das vom SeV beauftragte Ingenieurbüro für Solartechnik Heri Bettinger ggf. auch vor Ort Hilfestellung.

Bei den Finanzierungsüberlegungen möchten wir daran erinnern, dass die Schule oder ihr Aufwandsträger für den in das Netz des Netzbetreibers eingespeisten Strom eine Vergütung nach dem „Erneuerbare-Energien-Gesetz“ EEG erhalten kann. Nähere Informationen hierzu sind in einer Broschüre zusammengefasst, die über die Geschäftsstelle des SeV erhältlich ist. Eine Photovoltaikanlage mit einem mittleren Ertrag von 800 kWh im Jahr erzielt eine Vergütung von etwa 400 € im Jahr. Hierzu muss allerdings ein geeichter Zähler installiert werden, was mit Kosten verbunden ist.

Im Jahr 2005 wurden rund 110 Schulen auf verschiedene Arten betreut. Wie in den vergangenen Jahren waren die Anfragen meist technischer Art, wie z.B.

- Wechselrichter defekt
- Softwareprobleme
- Module beschädigt
- Kabel durchgebrannt
- Festplatte kaputt

Wie in den Jahren davor, hat der SeV – ggf. nach Einholung weiterer Information etwa von Herstellern – weiter geholfen. Ebenso war er bei folgenden Aufgaben behilflich:

- Einweisung von neuen Lehrern
- Information zur Er- und Übermittlung der Erträge
- Schule wurde geschlossen, Anlage durch den SeV abgebaut und interessierter Schule weiter gegeben

Auch zukünftig hilft der SeV gerne weiter. Wir bitten, das Problem in einer E-Mail an SonneSchule@sev-bayern.de darzustellen, dann wird versucht so schnell als möglich zu helfen.

Empfehlen möchte der SeV allen Schulen folgende Maßnahmen:

- Kontrolle des Ertrages mindestens alle drei Monate, am Besten monatlich.
- Überprüfung der Anlage – dafür wurde auf der Internetseite des SeV www.sev-bayern.de ein Prüfbogen bereitgestellt, der Hilfestellung dafür anbietet.

5.5 Erträge einzelner Schulen

Beispielhaft zeigen **Bild 5, 6 und 7** als Balkendiagramm den Verlauf der monatlichen spezifischen Energieerträge von drei Schulen in Würzburg/Unterfranken, Hannover/Niedersachsen und Sachsen-Anhalt. Als Linie ist der monatliche Mittelwert aller Schulen mit nutzbaren Daten dargestellt.

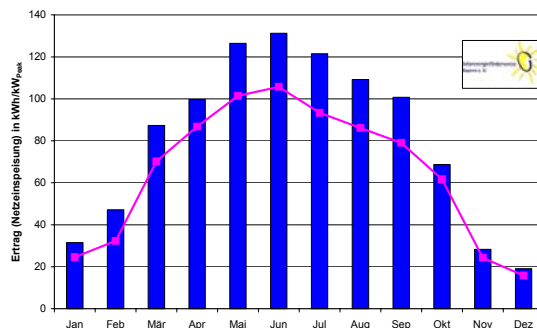


Bild 5: Schule in Würzburg - spezifischer Jahresertrag 971 kWh/kW_p

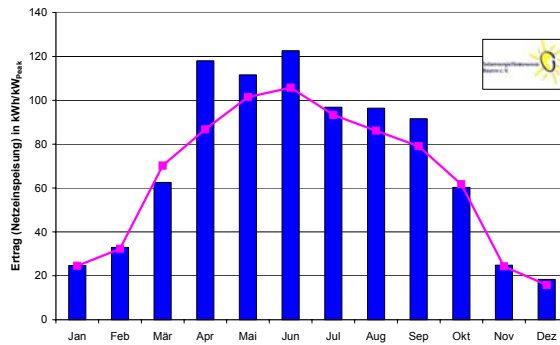


Bild 6: Schule in Leer/Ostfriesland - spezifischer Jahresertrag 861 kWh/kW_p

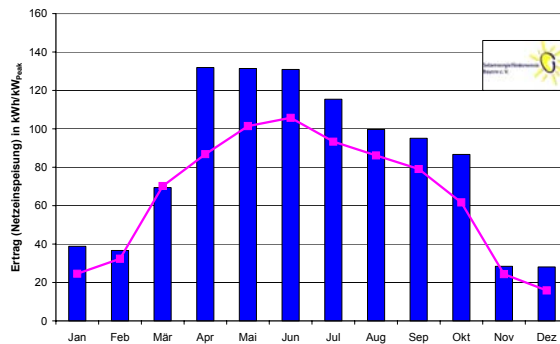


Bild 7: Schule in Samtens/Rügen/Mecklenburg-Vorpommern - spezifischer Jahresertrag 993 kWh/kW_p

6. Degradationsmessungen

Unter Degradation versteht man die Verringerung der abgegebenen Leistung eines Moduls im Lauf seiner Lebensdauer. Degradation hängt von vielen Faktoren ab und ist wissenschaftlich nicht vollständig geklärt. Um Messwerte von länger im Betrieb befindlichen Anlagen zu erhalten, hat der SeV von acht Photovoltaikanlagen aus dem Programm „Sonne in der Schule“ je drei Module abbauen lassen und vom renommierten Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme in Freiburg vermessen lassen, danach wurden sie wieder eingebaut.

Bei den Modulen der bayrischen Schulen zeigte sich gegenüber der Nennleistung zu mindestens ein Trend mit einem Leistungsabfall von -4 % in 10 Jahren. Bei den Modulen im norddeutschen Raum waren die Abweichungen teilweise erheblich höher, die Module waren zum Teil fehlerhaft. Dies führte in zwei Fällen sogar zu einem kostenlosen Austausch der Module durch den Hersteller.

Diese Messungen wurden bei einem Workshop des TÜV Rheinland Anfang Dezember 2005 präsentiert und führten zu interessanten Diskussionen. Der Vortrag mit mehr Informationen steht unter www.sev-bayern.de → Service zum Herunterladen bereit.

Wegen des großen wissenschaftlichen Interesses werden die Messungen zur Degradation in diesem Jahr fortgeführt.

7. Intensiv vermessene Anlagen

Intensiv vermessene Anlagen zeichnen sich dadurch aus, dass ihr Betriebsverhalten im Internet (www.sev-bayern.de → Sonne in der Schule) ersichtlich ist. Auch länger zurückliegende Betriebsdaten sind bei Bedarf verfügbar. Die folgenden Arbeitsergebnisse wurden vom Fraunhofer- Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg im Auftrag des SeV durchgeführt.

7.1 Standorte und Aufbau

In **Tabelle 5** sind die Anlagen aufgeführt, die vom Fraunhofer ISE intensiv vermessen werden. Die Anlagen in Samtens, Hannover und in Beelitz haben als Hauptkomponenten 9 Module Kyocera KC 120-1 und einen Wechselrichter SMA SWR 850. Die Anlage in Kassel besteht aus 10 Module Kyocera KC 110-1 und einem Wechselrichter SMA SWR 850. In Kulmbach und München sind jeweils 20 Module Siemens M 55 mit einem Wechselrichter Siemens SPN 1000 gekoppelt.

Tabelle 5: Übersicht der intensiv vermessenen Anlagen

PLZ	Ort	Betreiber	Baujahr	PV Leistung
18573	Samtens	Realschule	1998	1,08 kW _P
30457	Hannover	E.ON Energie AG	1998	1,08 kW _P
39387	Oschersleben	BBZ des Bördekreises	1998	1,08 kW _P
34147	Kassel	Städtische Werke A	1998	1,10 kW _P
14547	Beelitz	Sally-Bein-Gymnasium	1998	1,08 kW _P
95326	Kulmbach	Berufsschule	1995	1,10 kW _P
81475	München	Fraunhofer Realschule	1995	1,10 kW _P

7.2 Datenverfügbarkeit

Die Datenverfügbarkeit für die Jahre 1999 bis 2005 ist in **Tabelle 6** aufgeführt. In Samtens ist die Energiemessung seit dem 09.11.2004 wieder in Betrieb, die Einstrahlungsmessung jedoch seit 3.5.05 fehlerhaft. Die Anlage in Oschersleben läuft wieder seit April 2005.

Tabelle 6: Datenverfügbarkeit der intensiv vermessenen Anlagen

Anlage	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Samtens	99,2	100,0	91,7	83,3	95,3	55,3	99,3
Hannover	100,0	100,0	99,7	99,2	99,7	99,4	98,7
Kassel	99,9	100,0	79,6	98,9	99,9	99,4	98,8
Beelitz	98,9	100,0	100,0	87,3	65,4	100,0	96,3
Kulmbach	¹⁾	¹⁾	¹⁾	100,0	98,8	99,6	100
München	¹⁾	¹⁾	¹⁾	¹⁾	95,0	97,0	100

¹⁾ Datenerfassung seit 2002 in Betrieb

7.3 Betriebsergebnisse

Nachfolgend sind die Messergebnisse zusammengefasst und bewertet. Dabei haben wir auch das Langzeitverhalten der Anlage, die schon länger in Betrieb sind betrachtet. Die Jahresauswertungen der einzelnen intensiv vermessenen Anlagen werden den Betreibern in Samtens, Hannover, Kassel, Beelitz, Kulmbach und München per Post übermittelt.

Performance Ratio

Die Performance Ratio (PR) erlaubt eine vom Standort unabhängige Beurteilung von PV-Anlagen. Sie kennzeichnet die Ausnutzung der betreffenden Anlage im Vergleich zu einer verlustfrei unter nominellen Betriebsbedingungen arbeitenden Anlage.

Tabelle 7 zeigt die Jahreswerte für die intensiv vermessenen Anlagen seit Inbetriebnahme. Gute Werte der PR liegen über 70 %. Moderne Großanlagen erreichen sogar PR größer als 80 %.

Tabelle 7: Jahreswerte der PR in Prozent für intensiv vermessene Anlagen

Anlage	1998 ¹⁾	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Samtens	76,7	77,1	77,4	77,0	77,1	77,7	³⁾	³⁾
Hannover	75,9	76,2	74,2	73,5	75,1	71,9	71,9	73,0
Kassel	71,9	72,3	72,5	73,0	72,1	71,9	71,5	70,0
Beelitz		66,1	65,9	64,3	64,1	⁴⁾	63,6	62,6
Kulmbach					63,7 ²⁾	69,3	69,2	68,6
München						72,9	71,1	74,6

¹⁾ Zeitraum Juli bis Dezember 1998

²⁾ Bei Kulmbach Messzeitraum August bis Dezember 2002

³⁾ Datenbasis zu gering im Jahr 2004 und 2005 (Einstrahlungsmessung defekt)

⁴⁾ Datenbasis zu gering im Jahr 2003

Die Performance Ratio ist bei den Anlagen in den letzten fünf Jahren konstant, der Betrieb ist stabil. In Samtens ist wegen der fehlenden Einstrahlungsmessung keine Aussage zu tätigen. Die wichtigsten Jahreswerte aus der Intensivmessung sind für das Jahr 2005 in der **Tabelle 8** zusammengefasst. Die Anlagen in Hannover und in Beelitz werden durch Bäume verschattet. Deshalb liegt die Jahressumme der Einstrahlung deutlich unter den anderen Werten.

Tabelle 8: Energien, Wirkungsgrade und PR 2005 (nur Anlagen mit durchgehendem Betrieb)

Anlage	E_{hor} kWh/m ²	E_{mod} kWh/m ²	η_{SG} %	η_{WR} %	η_{Sys} %	PR %	Ertrag kWh/kW _P
Hannover	814	995	10,3	91,8	9,4	73,0	784
Kassel	958	1220	9,4	88,2	8,3	70,0	854
Beelitz	799	969	8,9	90,5	8,1	62,6	607
Kulmbach	¹⁾	1217	10,1	87,9	8,8	68,6	834
München	¹⁾	1238	11,0	87,9	9,6	74,5	924

Abkürzungen:

E_{hor} = Einstrahlung horizontal

η_{SG} = Wirkungsgrad Solargenerator

E_{mod} = Einstrahlung in Modulebene

η_{WR} = Wirkungsgrad Wechselrichter

η_{Sys} = Systemwirkungsgrad

PR = Performance Ratio

¹⁾ keine Messung der horizontalen Einstrahlung

8. Zusammenfassung und Sonstiges

Das Programm „Sonne in der Schule“ mit nahezu 1000 Photovoltaikanlagen trägt weiterhin dazu bei, dass schon bei den Schülern das Bewusstsein für zukünftige Technologien im Bereich der Erneuerbaren Energien geweckt wird. Gerade in den Zeiten der steigenden Energiekosten ist dies sicher sehr wichtig. Die hohe Zahl an teilnehmenden Schulen (über 60 %) zeigt das große Interesse an dieser Thematik.

Der erzielte mittlere spezifische Ertrag aller Anlagen ohne wesentliche Betriebsunterbrechungen lag im Jahr 2005 bei 781 kWh/kW_P und damit etwa auf dem Niveau des Vorjahres. Dies entspricht der Tatsache, dass das Jahr 2005 klimatisch - ähnlich wie 2004 - eher durchschnittlich war. Festzustellen ist aber, dass die meisten Anlagen auch nach 10 Jahren Betrieb gut funktionieren. Gute Betreuung und Unterstützung bei betrieblichen Problemen sollen auch zukünftig dafür sorgen, dass weiterhin gute Erträge erzielt werden.

Natürlich sind auch die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu erwähnen. Die in diesem Bericht genannten Untersuchungen zur Degradation im Programm „Sonne in der Schule“ werden wegen des großen Interesses fortgeführt.

Auch beim Programm „Sonne in der Schule“ ist zu vermerken, dass in einigen Regionen Schulen geschlossen werden müssen, da die Schülerzahlen stark rückläufig sind. Mit manchen betroffenen Schulen wurde deshalb schon Kontakt aufgenommen, um über die weitere Nutzung der Photovoltaikanlagen zu diskutieren. Sollten Schulen von Schließung bedroht sein, so bitten wir, mit uns Kontakt aufzunehmen, damit wir die Anlagen anderen interessierten Schulen zukommen lassen können. Die Kosten werden vom SeV übernommen.

9. Anhang: Überschlägige Bestimmung des Ertrages

Tabelle 2 gibt die Globalstrahlungen auf eine waagrechte Fläche an verschiedenen Orten im Gebiet „Sonne in der Schule“ für das Jahr 2005 an. Mit Hilfe einfacher Betrachtungen lässt sich hieraus grob näherungsweise der Ertrag einer Photovoltaikanlage bestimmen. Ein Rechenbeispiel soll dies erläutern. Zum Verständnis des Berichtes ist dieses Rechenbeispiel nicht erforderlich.

In Würzburg werde eine Anlage von „Sonne in der Schule“ betrieben.

- Die gesamte Globalstrahlung des Jahres 2005 in Würzburg betrug 1118 kWh/m^2 . Wie vorrn dargestellt, liegt die Globalstrahlung auf eine optimal geneigte Fläche von 30° höher, hier wird von einer Erhöhung von 12 % ausgegangen. Der Wert der Globalstrahlung ist also mit 1,12 zu multiplizieren, um die Globalstrahlung auf die geneigte Modulfläche zu erhalten. Damit hat diese den Wert 1252 kWh/m^2 .
- Die Photovoltaikanlage ist aus 20 Modulen Siemens M55 der Nennleistung 55 W_p aufgebaut. Die Fläche eines Moduls beträgt $0,4254 \text{ m}^2$, die gesamte Fläche aller Module beträgt damit $8,51 \text{ m}^2$. Die Gesamtleistung liegt damit bei $1,1 \text{ kW}_p$. Die Module seien mit dem Neigungswinkel 30° nach Süden ausgerichtet. Verschattung ist nicht vorhanden, es erfolgt eine gute Lüftung. Bei diesen Bedingungen ist mit einem mittleren Wirkungsgrad der Module von 10 % zu rechnen.
- Der Wechselrichter wird zur Umwandlung des von den Modulen erzeugten Gleichstromes in Wechselstrom – dem Standard im öffentlichen Netz - benötigt. Der mittlere Wirkungsgrad kann etwa 90 % erreichen.

- Damit ergibt sich die in das Netz eingespeiste jährliche Energie mit dem Formelzeichen W:

$$W = 1252 \text{ kWh/m}^2 * 8,51 \text{ m}^2 * 10 \% * 90 \% = 959 \text{ kWh}$$

Der spezifische Ertrag bestimmt sich zu $959 \text{ kWh}/1,1 \text{ kW}_p = \mathbf{872 \text{ kWh/kW}_p}$

- Gründe für Abweichungen sind begründet im Einfluss der Umgebungstemperatur, Verschattung, Neigungswinkel etc. Simulationssoftware wie PVSOL, SOLEM, PVSYSY ermöglichen eine genauere Bestimmung des zu erwartenden Ertrages.

10. Anhang: Wettbewerb „Ertragsoptimierung der PV-Anlage aus Sonne in der Schule“

Um die Einbindung der Photovoltaik in den Unterricht zu fördern, richtet der SeV Wettbewerbe im Kontext der „Sonne in der Schulen-Anlagen aus. 2005 lautete das Thema „Ertragsoptimierung der PV-Anlage“. Es wurden Arbeiten von Schulen aus dem ganzen Bundesgebiet eingereicht. Da die Qualität durchwegs sehr hoch war, vergab der SeV neben den zwei ausgeschriebenen Hauptpreisen noch vier Anerkennungspreise. Die Hauptpreise gingen an das Energie-Team des Friedrich-Wilhelm-Gymnasiums in Königs Wusterhausen und die Johannes-Scharrer-Realschule in Hersbruck. Anerkennungspreise erhielten die Haupt- und Realschule Cappeln, das Deutschhaus-Gymnasium Würzburg, das Gymnasium Neutraubling, das Lessing-Gymnasium Braunschweig und die Technikerschule in München. Die Beiträge brachten zum Ausdruck, dass die Schüler die Anlagen mit großem Engagement pflegen und z.T. Laborversuche durchgeführt wurden, um belastbare Ergebnisse zu ermitteln.

Nachstehend eine Zusammenfassung der dargestellten Ideen und realisierten Vorschläge. Schon im Vorfeld der Planung einer Solarstromanlage kann man durch die Wahl der Technologie und des Standortes die späteren Erträge beeinflussen. Eine der Sonne nachgeführte Anlage liefert mehr Energie als eine, die mit einem festen Neigungswinkel aufgebaut ist. Photovoltaikanlagen liefern im Betrieb höhere Erträge, wenn sie gewartet werden. Der Aufwand ist gering - und er lohnt sich. Besonders zu empfehlen sind folgende Maßnahmen:

- Verunreinigungen können bis zu 7% Minderertrag verursachen, dies wurde von einem Teilnehmer gemessen. Reinigung liefert also Mehrertrag!
- Schnee auf den Modulen mindert die Erträge. Schneefegen kann einen leichten Mehrertrag bringen - ist jedoch nur sinnvoll, wenn die Anlage einfach und sicher zugänglich ist.
- Verschattete Module liefern weniger Energie. Man prüft daher, ob die Module im Laufe des Tages verschattet sind. Ggf. sind Bäume und Sträucher zu beschneiden.
- Kontrolle, ob alle Kabel in Ordnung sind, und ob der Wechselrichter läuft.
- Regelmäßige Überprüfung der Energieerträge, aus ihnen sieht man am besten ob die Anlage gut funktioniert.

Die Präsentationen sind unter www.sev-bayern.de → Sonne in der Schule → Sonne in der Schule aktuell einsehbar.
