

2007

Betriebsbericht

SONNE

IN DER SCHULE

Inhalt

1.	Einleitung	2
1.1	Aktuelle Darstellung „Sonne in der Schule“	2
1.2	Solarenergieförderverein Bayern	3
1.3	Ziel dieses Berichtes	3
2.	Datenbasis	3
3.	Meteorologische Daten des Jahres 2007	4
3.1	Wetterübersicht	4
3.2	Globalstrahlung	5
4.	Erträge	7
4.1	Statistische Verteilung der Erträge	7
4.2	Betriebsstörungen und Nichtverfügbarkeiten	9
4.3	Ermittlung der Ertragsdaten	10
4.4	Unterstützung bei Problemen und Betreuung	11
4.5	Erträge einzelner Schulen	13
5.	Geldpreise und Wettbewerb	14
5.1	Abgabe der Messdaten	14
5.2	Wettbewerb „Präsentation auf der Schulwebsite“	14
6.	Simulation	15
6.1	Simulationssoftware	15
6.2	Betriebserfahrungen	15
6.3	Ergebnisse der Simulation	16
7.	Zusammenfassung und Sonstiges	17
8.	Anhang - Überschlägige Bestimmung des Ertrages	18

1. Einleitung

„Sonne in der Schule“ – das Photovoltaikprogramm, das diese zukunftsweisende Technik an die Schulen gebracht hat, wurde auch im Jahr 2007 vom Solarenergieförderverein Bayern betreut. Der nachfolgende Bericht zeigt alle Bereiche dieser Betreuung auf und, dass viele Schulen – durch engagierte LehrerInnen, Hausmeister und Schüler dazu beitragen, dass die Betriebsergebnisse dieser Photovoltaikanlagen praktisch, aber auch wissenschaftlich genutzt werden können.

Es werden derzeit in Deutschland und zahlreichen anderen Ländern wie zum Beispiel in Spanien und Italien zahlreiche Photovoltaikanlagen gebaut, die möglichst für 20 und mehr Jahre Betrieb machen sollen. Jeder Investor und Bauherr ist an langjährigen Betriebserfahrungen interessiert um abzuschätzen, wie seine Anlage in Zukunft arbeiten wird. Die langjährigen Erfahrungen mit „Sonne in der Schule“ seit über 10 Jahren sind dafür wertvoll.

1.1 Aktuelle Darstellung „Sonne in der Schule“

Derzeit 915 Schulen sind im Programm „Sonne in der Schule“ zusammengefasst. Über 500 Anlagen befinden sich in Bayern, weit über 400 Anlagen an Schulen in Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein und Bremen. Bei diesen Anlagen werden die monatlichen Energieerträge erfasst, die in diesem Bericht veröffentlicht werden. Wegen Schließung von Schulen in einigen geografischen Bereichen ist die Anzahl gesunken.

Bild 1 zeigt die geografische Verteilung aller beteiligten Schulen. Alle diese Schulen werden einmal im Jahr angeschrieben und um die Erträge ihrer Photovoltaikanlage gebeten. Aktuell haben über 54 % geantwortet, was eine sehr gute Rücklaufquote ist, sie sollte aber im Interesse aller Beteiligten noch verbessert werden.

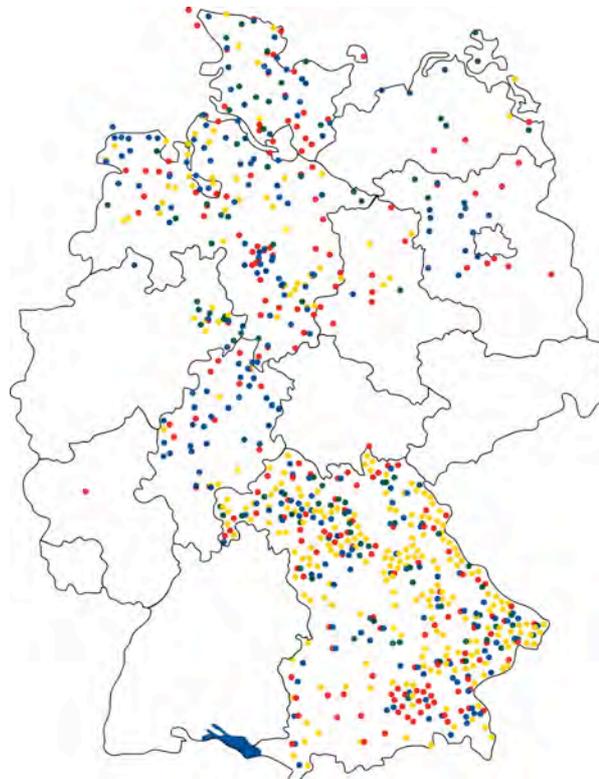


Bild 1: Geografische Lage aller Anlagen „vom hohen Norden Deutschlands bis in den tiefen Süden“

1.2 Solarenergieförderverein Bayern

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.

1.3 Ziel dieses Berichtes

In Abstimmung mit E.ON Bayern führt der gemeinnützige SeV auch für das Jahr 2007 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 eines Projektes zur Simulation

2. Datenbasis

Wie in allen Jahren wurden die Schulen, die am Programm teilnehmen, angeschrieben und gebeten, die monatlichen Energieerträge ihrer Photovoltaikanlagen via Internet oder per Fax an den SeV zu senden. Der Rücklauf war für die lange Laufzeit des Programms sehr gut, doch leider waren es wesentlich weniger Schulen als im vergangenen Jahr. **Tabelle 1** stellt die Zahlen von 2006 und 2007 gegenüber.

Tabelle 1: Statistik des Rücklaufes der Betriebsdaten im Jahr 2007

	Anzahl Schulen		
	Auswertung für 2007	Auswertung für 2006	Änderung
Basisdaten vorhanden von	915	923	-0,9 %
Messdaten erhalten von	496	579	-14,3 %
Zahl der Anlagen ohne Betriebsunterbrechung	407	437	-6,9 %

Anmerkungen

- Die Zahl der teilnehmenden Schulen hat sich geändert. Die Gründe dafür sind, dass im letzten Jahr einige Schulen geschlossen wurden und dadurch aus dem Programm ausgeschieden sind. Zudem kommt es leider immer wieder vor, dass Anlagen gestohlen werden.
- Der Begriff „Zahl der Anlagen ohne Betriebsunterbrechung“ ist zu spezifizieren. 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 oder entsprechende Fehlermeldungen vorlagen.

3. Meteorologische Daten des Jahres 2007

Der Ertrag von Photovoltaikanlagen, also die erzeugte elektrische Energie, ist ganz wesentlich von der eingestrahlten Solarenergie abhängig, die als Globalstrahlung bezeichnet wird. Aber auch die Modultemperatur, die von der Umgebungstemperatur bestimmt wird und der Wind spielen eine Rolle. Während höhere Globalstrahlung den Ertrag steigert wird er durch höhere Temperaturen gemindert. Als Richtwert sind für poly- und monokristalline Module – wie sie bei „Sonne in der Schule“ genutzt werden – etwa 0,4 – 0,5 % weniger Ertrag pro Grad Temperaturzunahme zu nennen.

3.1 Wetterübersicht

Über die Internetseite des Deutschen Wetterdienstes www.dwd.de kann man über den Button „Presse“ Informationen zum Wetter der vergangenen Jahre erhalten. Speziell zur Sonnenscheindauer ist dort für das Jahr 2007 vermerkt: „Trotz der erhöhten Niederschlagsbilanz verzeichnete auch die Sonnenscheindauer 2007 wieder ein Plus. Über alle Regionen Deutschlands gemittelt schien die Sonne rund 1738 Stunden. Das sind 114 Prozent des für Deutschland typischen Klimawertes von 1528 Stunden. Landsberg am Lech in Oberbayern wurde mit rund 2041 Stunden zum sonnenscheinreichsten Ort im Jahr 2007. Am wenigsten zeigte sich die Sonne auf dem Brocken mit etwa 1362 Stunden.“

Über die Wettersituation des Jahres 2007 in Deutschland können quartalsmäßig zusammengefasst folgende Aussagen gemacht werden:

- **Januar, Februar und März** waren zu warm und lagen mit ihren Temperaturen über den langjährigen Mittelwerten. Gerade der Januar war in vielen Gebieten der wärmste seit den regelmäßigen Temperaturaufzeichnungen im Jahre 1901. Auch der Februar war kein Wintermonat. Im März fiel zwar viel Niederschlag, trotzdem schien die Sonne häufiger als sonst.
- **April, Mai und Juni** boten wieder Extremwerte. Der April setzte für Temperatur, Trockenheit und Sonnenscheindauer Höchstmarken. In manchen Gebieten Deutschlands fiel überhaupt kein Regen, die Temperatur lag 4,4 °C über dem langjährigen Mittel. Die Sonnenscheindauer betrug durchschnittlich 283 Stunden – 80% über dem Normalwert. Darauf folgte der nasseste Mai seit der deutschlandweiten Wetterbeobachtung. Die Sonnenscheindauer war aber im Normbereich. Der Juni war sehr nass, aber trotzdem deutlich wärmer als üblich.
- **Juli, August und September** boten kein typisches Sommerwetter. Der Juli war zu nass und sonnenscheinarm. Allerdings war es im Süden sonniger als im Norden. Der August war zwar gegenüber dem langjährigen Mittel um 0,3°C wärmer, es gab aber auch mehr Wolken und Regen als im Durchschnitt. Der September war dann um 0,8°C kühler als im Durchschnitt und beendete die Serie der zwölf deutlich über dem Durchschnitt liegenden warmen Monate.
- **Oktober, November und Dezember** waren nicht durchgängig typische Herbst und- Wintermonate. Der Oktober war sonnenscheinreich und trocken, lag aber mit seinen Temperaturen unter dem langjährigen Mittel. Der November war zu kalt und feucht. Der Dezember war kein „Wintermonat“, die Sonne schien viel mehr als üblich.

3.2 Globalstrahlung

Die monatlichen Mittelwerte der Globalstrahlung sind für verschiedene Standorte im Gebiet von „Sonne in der Schule“ in **Tabelle 2** dargestellt. Die Werte wurden beim DWD gekauft und dürfen in diesem Bericht publiziert werden. Sie ermöglichen eine überschlägige Berechnung des Ertrages einer Photovoltaikanlage, wie im Anhang dargestellt.

Tabelle 2: Globalstrahlungen auf eine waagrechte Fläche für verschiedene Orte im Gebiet „Sonne in der Schule“ 2007 – in kWh/m²

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	2007
AUGSBURG	27	50	100	175	169	179	173	138	91	66	31	25	1.224
BERLIN	18	32	86	151	168	161	144	142	88	55	21	14	1.080
BRAUNSCHWEIG	19	30	83	143	154	152	143	131	88	56	21	14	1.034
BREMEN	16	26	80	141	152	137	139	125	73	53	20	14	976
FICHTELBERG	21	34	82	169	161	145	146	140	76	54	27	24	1.079
FRANKFURT/M.	21	32	90	170	146	155	152	139	92	64	22	17	1.100
GIESSEN	19	30	88	161	143	157	150	135	92	64	19	15	1.073
GOETTINGEN	18	28	86	148	145	146	135	121	82	53	16	13	991
HAMBURG	14	25	80	131	145	135	136	123	81	53	23	11	957
HANNOVER	18	27	82	142	152	148	137	129	84	55	19	13	1.006
HEIDELBERG	21	35	87	176	149	156	155	143	97	68	26	19	1.132
HOF	20	35	88	164	161	156	147	136	83	57	23	19	1.089
HOHENPEIßENBERG	35	55	103	176	166	185	180	137	97	73	37	32	1.276
KASSEL	19	28	88	151	145	148	140	126	84	55	15	14	1.013
KIEL	13	26	87	143	159	147	144	128	87	52	24	10	1.020
LIST AUF SYLT	17	24	96	143	158	161	161	143	97	49	25	11	1.085
MUENCHEN	30	54	101	178	171	187	177	139	92	68	33	27	1.257
NUERNBERG	23	37	85	173	161	165	156	133	93	65	24	19	1.134
REGENSBURG	22	44	92	173	169	177	165	138	88	62	25	19	1.174
ROSTOCK	16	29	83	153	161	150	150	127	85	53	22	9	1.038
SCHLESWIG	14	25	91	144	164	150	152	136	92	51	26	9	1.054
STRALSUND	16	26	83	150	164	155	153	131	86	52	23	9	1.048
WEIHENSTEPHAN	27	52	101	180	177	190	179	138	90	65	30	22	1.251
WUERZBURG	24	36	90	171	162	168	155	142	94	67	25	20	1.154

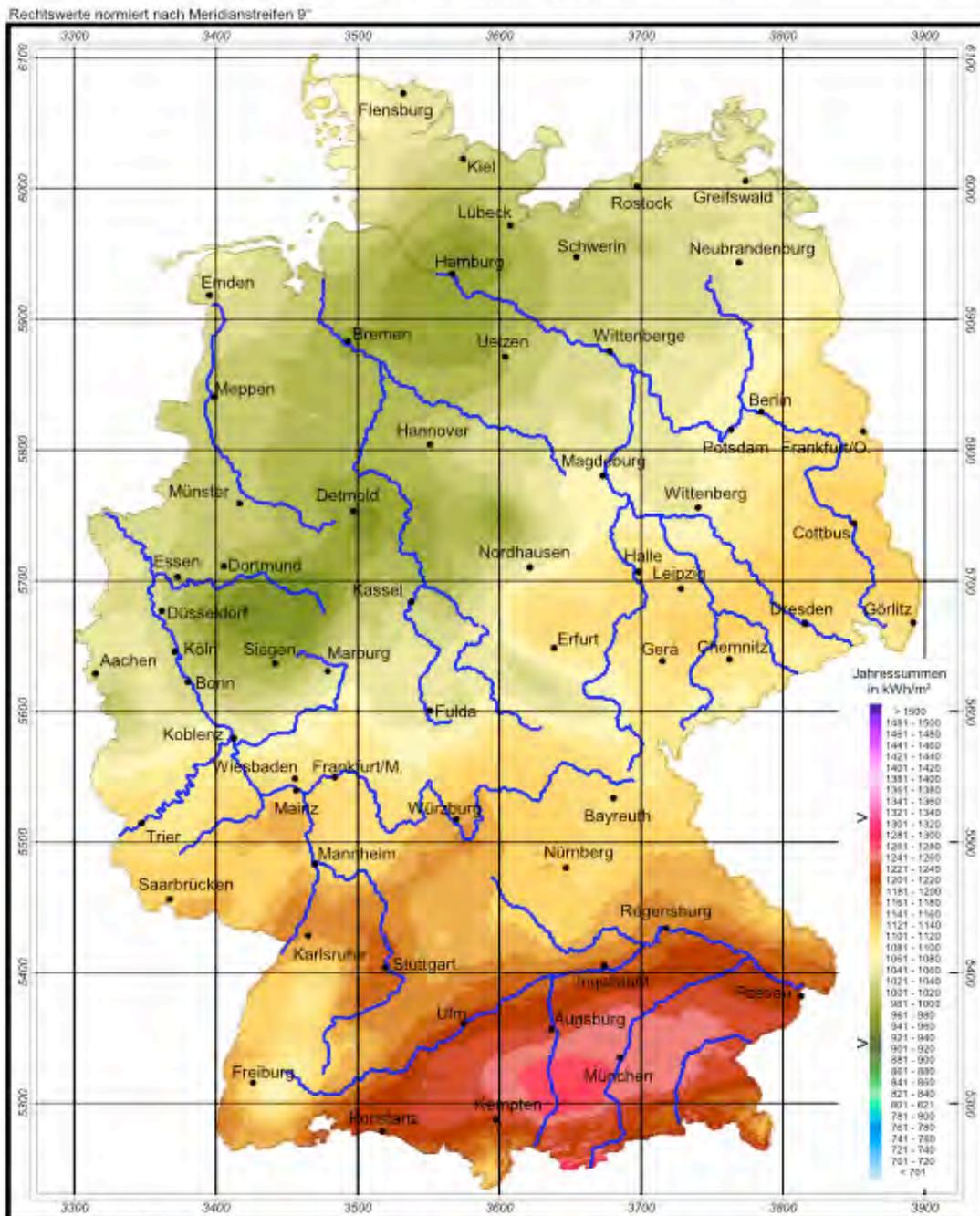
Wie man aus den Werten der Globalstrahlung grob überschlägig den möglichen Ertrag einer Photovoltaikanlage bestimmt, ist im Anhang dargestellt.

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.

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.

Vom Deutschen Wetterdienst DWD erworben wurde die in **Bild 2** auf der **nächsten Seite** dargestellte Karte mit den Globalstrahlungen in der Bundesrepublik Deutschland.

Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland Jahressumme 2007



Wissenschaftliche Bearbeitung:
DWD, Geschäftsfeld Klima- und Umweltberatung, Pf 30 11 90, 20304 Hamburg
Tel.: 040/6690-1922; eMail: klima.hamburg@dwd.de
Diese Karte ist gesetzlich geschützt. Vervielfältigungen
jeder Art sind nur mit Erlaubnis des Herausgebers zulässig.

Deutscher Wetterdienst 

Bild 2: Globalstrahlung in Deutschland 2007

4. Erträge

Die von den Schulen per Internet oder Fax erhaltenen Betriebsdaten zu den Erträgen der Photovoltaikanlagen wurden mit Hilfe entsprechender Software weiterverarbeitet und aufbereitet.

4.1 Statistische Verteilung der Erträge

Der spezifische Ertrag der Anlagen im Gesamtgebiet vom Norden bis in den Süden Deutschlands lag im Jahr 2007 bei durchschnittlich 772 kWh/kW_p. Im Jahr 2006 wurden durchschnittlich 783 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 2007 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.

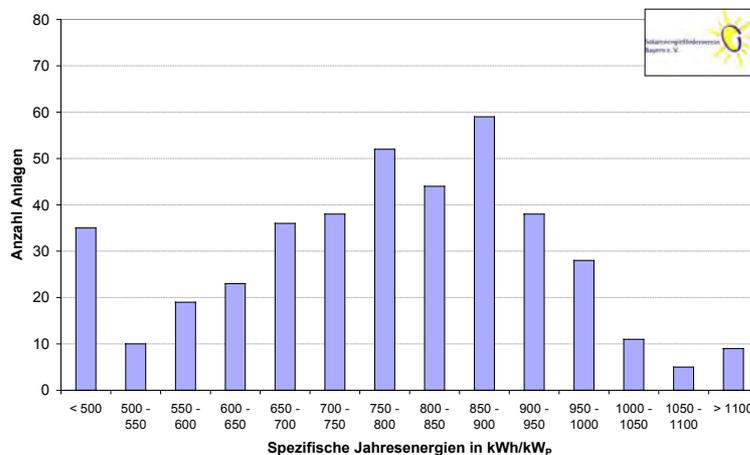


Bild 3: Verteilung des spezifischen Ertrages im Gesamtgebiet 2007
-Basis 407 Anlagen
-Mittelwert 772 kWh/kW_p

Die meisten Anlagen erzielten Erträge im Bereich von 750 - 900 kWh/kW_p. Maximale Erträge reichen über 1100 kWh/kW_p. Gründe, dass Anlagen schlechte Erträge von 0 – 500 kWh/kW_p liefern, 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 – wie dargestellt - mit steigender Temperatur schlechtere Erträge.

Aussagen über die Verteilung der spezifischen Energieerträge in den einzelnen Bundesländern zeigt das unten stehende **Bild 4**. Es ist zu bemerken, dass nur die Verteilung der spezifischen Energieerträge in den Bundesländern dargestellt ist, in denen eine genügend große Anzahl von nutzbaren Messdaten vorhanden war.

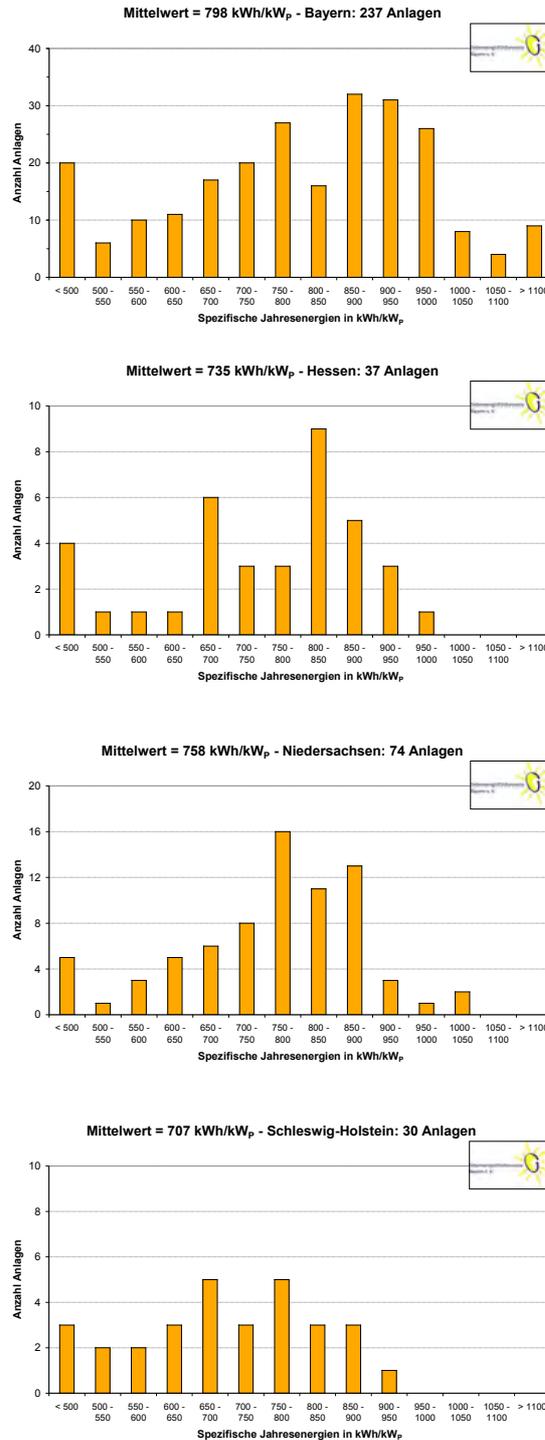


Bild 4: Erträge in den Bundesländern Bayern, Hessen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Dargestellt sind die Anlagen mit nutzbaren Daten, die im Normalbetrieb verfügbar waren. Man beachte die verschieden skalierten Achsen!

Zahlenwerte zur Anzahl aller Anlagen in allen Bundesländern und den Mittelwerte aller Erträge zeigt **Tabelle 3**.

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

Bundesland	Anzahl Anlagen 2007	Mittelwert spezifischer Ertrag in kWh/kW _p 2007	Veränderung des Ertrages gegenüber 2006
Bayern	237	798	-3,2 %
Hessen	37	735	-4,4 %
Niedersachsen	74	758	-1,6 %
Schleswig-Holstein	30	707	+5,5 %
Nordrhein-Westfalen	9	613	-23,6 %
Brandenburg	8	721	+3,0 %
Sachsen-Anhalt	4	802	-4,3 %
Mecklenburg- Vorpommern	4	865	-3,8 %
Bremen	3	699	-8,6 %
Sonstige (Rheinland-Pfalz, Thüringen)	1	676	./.
Gesamtgebiet	407	772	-0,8%

Wie zu erwarten, sind die Erträge wegen der besseren Globalstrahlungsbedingungen im Süden höher. Allerdings sind auch im Norden durchaus ansehnliche Energiemengen durch Photovoltaik zu erzeugen. 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 Mecklenburg-Vorpommern mit 865 kWh/kW_p, aber mit nur vier Anlagen mit „nutzbaren Datensätzen“.

4.2 Betriebsstörungen und Nichtverfügbarkeiten

Je länger eine Photovoltaikanlage in Betrieb ist, desto eher kann es natürlich zu Betriebsstörungen kommen. Unabhängig davon werden in Schulen immer wieder Umbauarbeiten durchgeführt, bei der auch die Photovoltaikanlage zeitweise nicht verfügbar ist. **Tabelle 4** zeigt den Verlauf der Betriebsstörungen und Nichtverfügbarkeiten der letzten Jahre.

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 %
2006	579	437	142	24,5 %
2007	496	407	89	17,9 %

Die wichtigsten Gründe für Betriebsstörungen sind wie in den vergangenen Jahren:

- Wechselrichterdefekte
- Umbau des Schulgebäudes oder Sanierungsarbeiten
- Modulbruch
- Probleme mit der Software, wie etwa „Absturz des PC“

Der SeV ist dankbar für die Übermittlung der Störungsmeldung im Messprotokoll. Auf dieser Grundlage können die notwendigen Schritte zur Beseitigung der Probleme eingeleitet werden. Als Beispiel sind die Maßnahmen zum Austausch defekter Wechselrichter zu sehen, Details sind im Kapitel **Unterstützung bei Problemen und Betreuung** zu sehen.

4.3 Ermittlung der Ertragsdaten

Vorab ist auf die ausführliche Broschüre des SeV zu diesem Thema zu verweisen. Sie kann unter www.sev-bayern.de → Sonne in der Schule → Service herunter geladen werden.

Zwei Möglichkeiten – die von der jeweiligen Anlagentechnik abhängen - sind zu nennen, um die in das Netz eingespeiste elektrische Energie (Erträge) zu bestimmen.

- Der Wechselrichter speichert die Erträge
- Die in das Netz eingespeiste Energie ist durch Zählerablesungen zu ermitteln

Zu der ersten Möglichkeit sind folgende weiteren Informationen erforderlich:

- Bei den Schulen im Norden Deutschlands (ehemaliges Programm“ SONNEonline“) werden in der Regel Wechselrichter Sunny Boy 850 des Herstellers SMA verwendet. Hier steht eine grafische Bedienoberfläche unter Windows zum Auslesen der Daten bereit.
- Für die Schulen im Süden Deutschlands (früheres Programm „Sonne in der Schule“) wurden Wechselrichter vom Typ SPN 1000 von Siemens verwendet. Auch hier ist das Auslesen mit dem PC möglich. Ggf. ist Software erforderlich, für die der SeV gerne Bezugsquellen nennt.
- Einige defekte Wechselrichter SPN 1000 wurden mit finanzieller Unterstützung des SeV gegen Geräte des Herstellers Fronius „SUNRISE mini-S“ ausgetauscht. Dieser Wechselrichter verfügt nicht über einen integrierten Datenlogger. Hier zeigt die oben genannte Broschüre Wege auf, die Betriebsdaten aufzuzeichnen. Besonders zu nennen ist der Weg mit „Messwertaufzeichnung mit PC und Fronius-Datenlogger“. Der Datenlogger wird von Fronius allerdings nicht mehr gefertigt.
- Der SeV bietet seit 2007 den Schulen die Möglichkeit, defekte Wechselrichter SPN 1000 reparieren zu lassen und eine entsprechende Auslesesoftware zu erhalten.
- Man kann in der Nähe des Wechselrichters einen „Hutschienenzähler“ – etwa durch einen örtlichen Elektriker – installieren lassen. Dieser verfügt auch über die Möglichkeit, Daten auszulesen. Die Kosten für diesen sollten im Bereich 50 – 100 € liegen.

Unabhängig vom Wechselrichter können über den Zähler die Ertragsdaten bestimmt werden. Diesbezüglich ist auf die oben genannte ausführliche Broschüre des SeV zu verweisen.

4.4 Unterstützung bei Problemen und Betreuung

Das Programm „Sonne in der Schule“ wurde mit dem Ziel gestartet, dass die Technik der Photovoltaikanlage viele Jahre für die Schüler und Schülerinnen erfahrbar ist und zudem durch die Auswertung der Betriebsergebnisse Langzeiterfahrungen gesammelt und wissenschaftlich genutzt werden können. Dies setzt voraus, dass die Anlagen betriebsbereit sind. Der SeV bietet deshalb Unterstützung bei Problemen mit der Anlage an.

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.

Meldet eine bayerische Schule den Defekt eines Siemenswechselrichter SPN 1000, wird durch den SeV der Kontakt zu

Solar- und Elektrotechnik
Ralf Kühlwein
Elektromeister
Solarteur®
80937 München
Josef-Ressel-Str. 16a
www.spn1000.de

hergestellt. Herr Kühlwein setzt sich dann telefonisch oder per Email mit dem/der betreuenden LehrerIn in Verbindung und klärt ab, ob es sinnvoll ist, das Gerät zu reparieren. Sollte dies der Fall sein, schickt die Schule den Wechselrichter an obige Adresse. Die Reparaturkosten übernehmen vorerst der SeV sowie E.ON Bayern, für die Schulen fallen nur die Versandkosten an. Sollte eine Reparatur nicht möglich sein, so wird in Absprache mit dem SeV ein anderer Weg, der in der Regel aufwändiger und teurer ist, gefunden werden.

Erfahrungsgemäß kann die Reparatur einige Zeit in Anspruch nehmen, besonders wenn spezielle elektronische Bauelemente zu beschaffen und auszutauschen 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 300 € 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 das 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 300 €, also 150 € überwiesen. **Diese Zusage einer Kostenbeteiligung gilt für Rechnungen, die bis zum 31. Dezember 2008 beim SeV eingegangen sind.**

Getauscht bzw. repariert wurden seit 2004 mit Unterstützung des SeV 49 Wechselrichter.

Der SeV hilft auch bei anderen technischen Störungen.

Z. B. kam es in den letzten Jahren zu Modulbrüchen (Schneelast, Steinschlag). Da der SeV bei Schulen die geschlossen wurden, die Photovoltaikanlagen abgebaut hat, stehen so Ersatzmodule zur Verfügung, die den Schulen kostenlos zugesandt werden, der Einbau erfolgt dann in Eigenregie.

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 2007 wurden rund 180 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

oder

- Neue Betreuer in das Programm „Sonne in der Schule“ eingewiesen
- Information zur Er- und Übermittlung der Erträge genannt
- Photovoltaikanlagen abgeholt, wenn die Schule geschlossen wurde
- Hilfestellung bei Facharbeiten im Bereich der regenerativen Energien gegeben.

Auch zukünftig hilft der SeV gerne weiter. Wir bitten, das Problem in einer E-Mail an SonneSchule@sev-bayern.de darzustellen, wir werden dann versuchen so schnell als möglich weiterzuhelfen.

Damit ein Defekt der Photovoltaikanlage rasch erkannt wird, ist es wichtig, die Anlage mindestens alle drei Monate, am besten aber monatlich zu kontrollieren. Wenn, wie vorgesehen, die Erträge monatlich erfasst werden, kann am besten eine Störung sichtbar werden und dadurch ein längerer Ausfall der Photovoltaikanlage vermieden werden.

Wir bitten die Schulen, die geschlossen werden, uns dies zu melden. Wie beschrieben ist der SeV durch die abgebauten Anlagen in der Lage, Ersatzteile an andere Schulen zu senden und evt. auch einer neuen Schule eine Photovoltaikanlage zur Verfügung zu stellen.

4.5 Erträge einzelner Schulen

Beispielhaft zeigen Bild 5, 6 und 7 als Balkendiagramm den Verlauf der monatlichen spezifischen Energieerträge von drei Schulen in Brandenburg, Nordbayern/Franken und Bremen. Als Linie ist der monatliche Mittelwert aller Schulen mit nutzbaren Daten dargestellt. Auffallend ist in allen drei Diagrammen der besonders hohe Ertrag im April 2007.

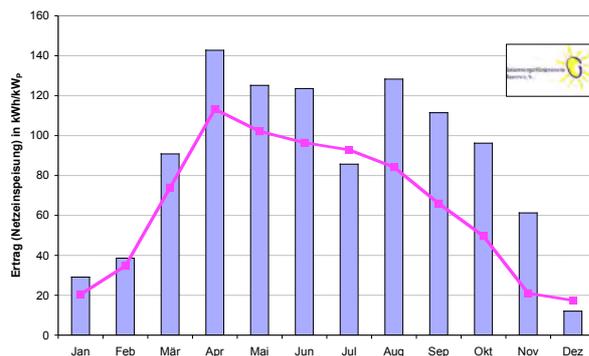


Bild 5: Schule in Brandenburg - spezifischer Jahresertrag 1045 kWh/kW_p

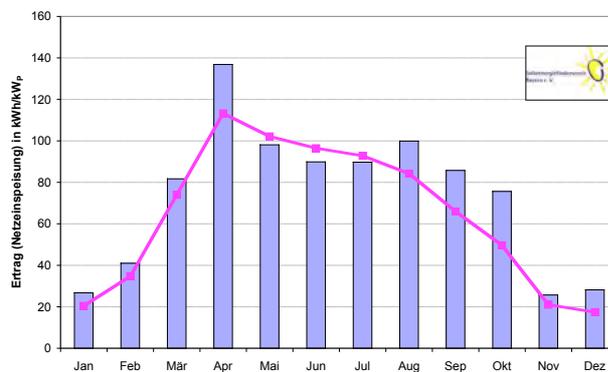


Bild 6: Schule in Nordbayern/Franken - spezifischer Jahresertrag 879 kWh/kW_p

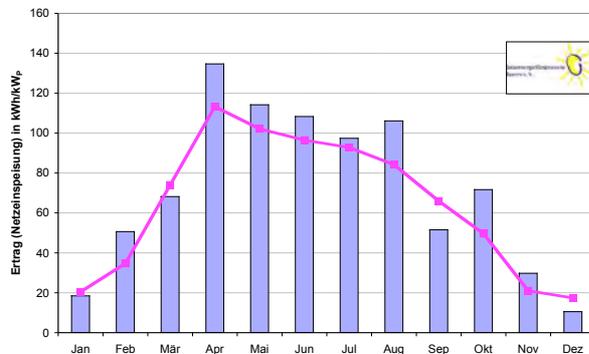


Bild 7: Schule in Bremen - spezifischer Jahresertrag 861 kWh/kW_p

5. Geldpreise und Wettbewerb

5.1 Abgabe der Messdaten

Unter den Schulen die bis zum 15. Februar 2008 ihre Betriebsergebnisse aus „Sonne in der Schule“ aus dem Jahr 2007 übermittelten – etwa 50 % der Rückmeldungen - wurden auch in diesem Jahr 3 x 100 € verlost. Die Gewinner sind:

- Hauptschule Neunkirchen
- Emil-von Behring-Gymnasium Spardorf
- Realschule Tostedt

5.2 Wettbewerb „Präsentation auf der Schulwebsite“

Für das vergangene Betriebsjahr 2007 rief der Solarenergieförderverein Bayern wieder zu einem Wettbewerb auf, diesmal zum Thema:

„Die Präsentation der Photovoltaikanlage auf der Schulwebsite“

Das Internet ist das Forum, in dem und mit dem man heute am schnellsten und effektivsten eine „Nachricht“ verbreiten kann. Die Schul-Webseite wird von Lehrern, Schülern, Eltern und anderen Interessierten gleichermaßen genutzt und bietet somit die Möglichkeit über diesen Weg auf die Photovoltaikanlage der Schule hinzuweisen.

Viele der am Programm Sonne in der Schule teilnehmenden Schulen haben schon auf der Webseite ihrer Schule einen Hinweis, bzw. eine Präsentation der Photovoltaikanlage mit Erträgen, CO₂-Einsparung und anderen wichtigen Daten.

Durch den Wettbewerb sollten alle Schulen ermutigt werden, die evt. bestehende Webseite zur Photovoltaik zu optimieren oder die Schulanlage neu in die Schul-Webseite mit einzubauen.

Für die Vergabe der Preise waren als wichtigste Kriterien maßgebend:

- Didaktische Aufbereitung
- Optische Darstellung
- Betreuung der Webseite (Aktualisierung u.a.)
- Anregung für die Beschäftigung mit der Photovoltaik

Die Gewinner sind:

- | | |
|----------|---|
| 1. Preis | Gymnasium Königs Wusterhausen (500€) www.etsag.de |
| 2. Preis | Realschule Beverungen (300€) www.realschule-beverungen.de |
| 3. Preis | Schule Wybelsum Emden (100€) www.schule-wybelsum.de |
| 3. Preis | Hankensbüttel (100€) www.gymnasium-hankensbuettel.de |

6. Simulation

Um zu ermitteln, welchen Ertrag eine Photovoltaikanlage nach ihrem Aufbau erbringen wird, greift man in der Planungsphase in der Regel auf die „Simulation“ der zu bauenden Anlage mit Hilfe von geeigneten Programmen zurück. Damit wird für einen gegebenen Standort mit seinen spezifischen meteorologischen Parametern eine bestmögliche Aufstellung der Module sowie optimale Auswahl und Abstimmung der einzelnen Komponenten ermöglicht. Eine wichtige Frage ist dabei, wie genau diese Programme die Wirklichkeit abbilden.

Beim Programm „Sonne in der Schule“ stehen die Erträge von vielen Schulen an zahlreichen Standorten über einen langen Zeitraum zur Verfügung. Der SeV hat deshalb einen Vergleich von Simulation mit realen Ergebnissen durchführen lassen, um zu prüfen, inwieweit die Ergebnisse der Simulationsprogramme der Realität entsprechen. Untersucht wurden drei Schulen für den Zeitraum 1996 – 2006, nachstehend als Schule A, B und C bezeichnet. Es standen nicht für alle Jahre vollständige Daten zur Verfügung.

6.1 Simulationssoftware

In der Praxis oft angewandte Simulationsprogramme sind PVSOL und PVSYSY. Beide bieten eine umfangreiche Datenbank mit Globalstrahlungswerten (auf eine waagrechte Ebene) und Temperaturdaten für verschiedene Standorte an. Für nicht vorhandene Standorte können die meteorologischen Daten mit Hilfe des Programms Meteonorm generiert und dann importiert werden. Meteonorm ist ein bewährtes Standardprogramm zur Bestimmung der meteorologischen Daten für sehr viele Orte der Erde.

Photovoltaische Solarmodule sind in der Regel geneigt, die Globalstrahlung ist aber nur für die horizontale Ebene bekannt. PVSol und PVSYSY bieten verschiedene Möglichkeiten zur Umrechnung der Globalstrahlung von der waagrechten auf die geneigte Ebene an. Die Umrechnung kann nach dem Modell von Hay und Davis oder nach dem von Perez durchgeführt werden.

6.2 Betriebserfahrungen

Die Anlagenbetreiber wurden zu den Betriebserfahrungen mit der PV-Anlage befragt. Folgende Rückmeldungen wurden zu den drei PV-Anlagen gesammelt.

- Sind Ausfälle oder Defekte an der Anlage seit Inbetriebnahme bekannt?
Beim Schule B hängt der Wechselrichter im Gang und wurde bereits öfter von Schülern ausgeschaltet. Im Jahr 2003 kam es durch Umbaumaßnahmen im Gebäude zu einem Netzausfall über mehrere Monate. Die Anlagen der Schule A und Schule C haben bis heute keinen Ausfall oder Defekt.
- Wurden die Module während der Betriebszeit gereinigt?
Alle drei PV-Generatoren wurden seit der Inbetriebnahme noch nicht gereinigt.
- Sind im Moment vorhandene Schäden an der Anlage bekannt?
Alle Anlagenbetreiber geben an, dass Ihnen im Moment keine Schäden an der Anlage bekannt sind.

Bei der Bewertung der Ergebnisse der Simulation sind diese Betriebserfahrungen zu berücksichtigen.

6.3 Ergebnisse der Simulation

Bild 8 zeigt die langjährigen Mittel sowohl der IST-Erträge als auch der realen Erträge der drei Schulen.

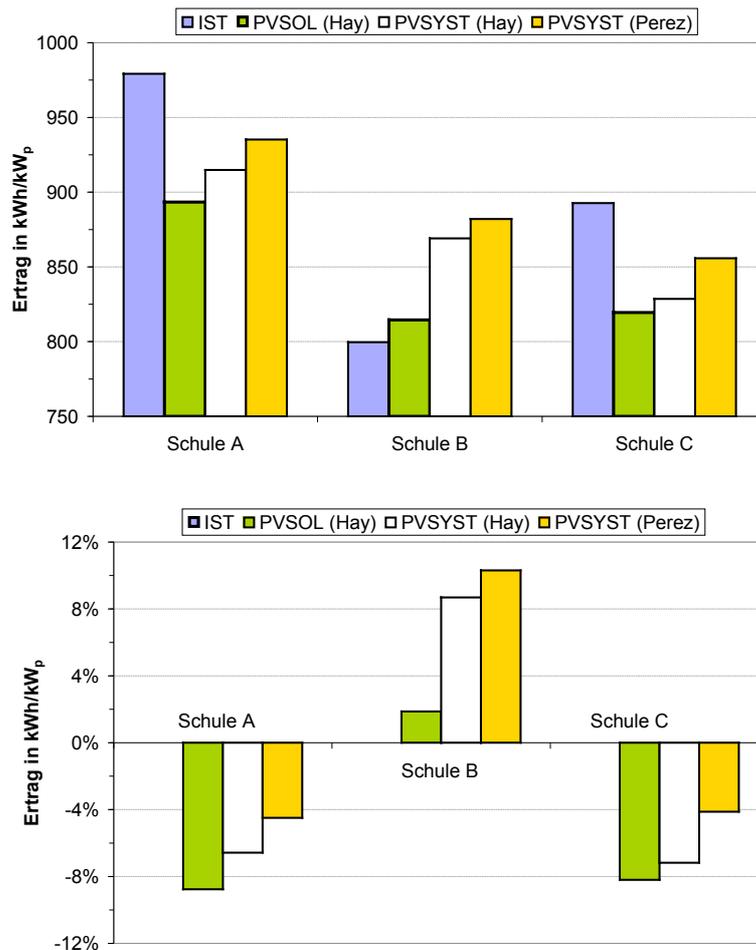


Bild 8: Absolute Werte von IST-Ertrag sowie Simulationsergebnisse mit PVSOL und PVSYST (oberes Diagramm mit unterdrücktem Nullpunkt) sowie prozentuale Abweichung der Simulationsergebnisse vom IST-Ertrag (unteres Diagramm)

Die Simulationsergebnisse liegen bei den PV-Anlagen der Schule A und Schule C etwa 4-8% unter den realen Erträgen. Weiter ist zu beachten, dass die Umrechnung der Einstrahlung auf die geneigte Ebene durch die Modelle nach Hay und Davis und nach Perez zu leicht abweichenden Resultaten führt. Die Simulationsergebnisse der PV-Anlage von Schule B liegen 2-10% über den realen Erträgen.

Es zeigt sich, dass die Simulation ein nützliches Werkzeug ist. Der langjährige Vergleich zwischen praktischem Betrieb und Theorie kann jedoch Abweichungen von bis zu 10 % liefern.

7. Zusammenfassung und Sonstiges

Der erzielte mittlere spezifische Ertrag aller Anlagen ohne wesentliche Betriebsunterbrechungen lag im Jahr 2007 bei 772 kWh/kW_p und damit etwa auf dem Niveau der Vorjahre. Festzustellen ist aber, dass die meisten Anlagen auch nach über 10 Jahren Betrieb gut funktionieren. Gute Betreuung und Unterstützung bei betrieblichen Problemen sollen auch zukünftig dafür sorgen, dass weiterhin gute Erträge erzielt werden.

Das Thema der regenerativen Energien nimmt, bedingt durch die Diskussion um den Klimawandel, einen immer größeren Raum ein. Die Photovoltaik kann auch bei uns in Deutschland einen beachtlichen Beitrag zur Verminderung der Schadstoffemissionen leisten. Nicht vergessen darf man dabei ebenso, dass die Technik der erneuerbaren Energien einen gewaltigen Bedarf an Fachkräften hat. Viele technische Berufe ermöglichen eine Zusatzausbildung in diesem Bereich – beispielsweise Solarteure – und die Universitäten und Fachhochschulen haben sich mit neuen Studiengängen in diesem Bereich bereits auf die Anforderungen der Zukunft eingestellt. Den Schulen kommt damit die Aufgabe zu, die Schüler auf diese Berufswege hin auszubilden. Die Photovoltaikanlagen des Programms „Sonne in der Schule“ helfen dabei.

Sollte die Photovoltaikanlage „Sonne in der Schule“ durch Umbaumaßnahmen, Schließung der Schule oder aus anderen Gründen nicht mehr betreut bzw. aufgebaut werden, so bitten wir, darüber informiert zu werden. Der SeV wird dann die Anlage auf seine Kosten abholen und einer neuen interessierten Schule zur Verfügung stellen.

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass sich der Solarenergieförderverein Bayern auch mit einem weiteren zukunftssträchtigen Thema der Photovoltaik beschäftigt, der Gebäudeintegrierten Photovoltaik GIPV. Zahlreiche Dächer und Fassaden könnten zur Stromerzeugung genutzt werden. Mit einem Wettbewerb will der SeV architektonisch ansprechende Lösungen suchen. Details hierzu finden sich ebenfalls auf der Website www.sev-bayern.de.

8. 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 2007 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 nicht erforderlich.

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

- Die gesamte Globalstrahlung des Jahres 2007 in Würzburg betrug 1154 kWh/m². Wie vorn 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 1292 kWh/m².
- Die Photovoltaikanlage ist aus 20 Modulen Siemens M55 der Nennleistung 55 W_p aufgebaut. Die Fläche eines Moduls beträgt 0,4254 m², die gesamte Fläche aller Module beträgt damit 8,51 m². Die Gesamtleistung liegt damit bei 1,1 kW_p. Die Module seien mit dem Neigungswinkel 30° nach Süden ausgerichtet. Verschattung ist nicht vorhanden, es erfolgt eine gute Lüftung. Wenn man eine gewisse Degradation der Module nach über 10 Jahren Betrieb einrechnet, ist hier mit einem mittleren Wirkungsgrad der Module von 9,5 % 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:
$$W = 1292 \text{ kWh/m}^2 * 8,51 \text{ m}^2 * 9,5 \% * 90 \% = 940 \text{ kWh}$$

Der spezifische Ertrag bestimmt sich zu $940 \text{ kWh}/1,1 \text{ kW}_p = \mathbf{855 \text{ kWh/kW}_p}$
- Wie sieht die Realität aus? Eine Schule in Nordbayern/Franken erzielte nach Bild 6 einen spezifischen Jahresertrag von 879 kWh/kW_p.
- Gründe für Abweichungen sind begründet im Einfluss der Umgebungstemperatur, Verschattung, Neigungswinkel etc. Simulationssoftware wie PVSOL, SOLEM, PVSYSYT ermöglichen eine genauere Bestimmung des zu erwartenden Ertrages.

Inhalt

1.	Einleitung	2
1.1	Aktuelle Darstellung „Sonne in der Schule“	2
1.2	Solarenergieförderverein Bayern	3
1.3	Ziel dieses Berichtes	3
2.	Datenbasis	3
3.	Meteorologische Daten des Jahres 2007	4
3.1	Wetterübersicht	4
3.2	Globalstrahlung	5
4.	Erträge	7
4.1	Statistische Verteilung der Erträge	7
4.2	Betriebsstörungen und Nichtverfügbarkeiten	9
4.3	Ermittlung der Ertragsdaten	10
4.4	Unterstützung bei Problemen und Betreuung	11
4.5	Erträge einzelner Schulen	13
5.	Geldpreise und Wettbewerb	14
5.1	Abgabe der Messdaten	14
5.2	Wettbewerb „Präsentation auf der Schulwebsite“	14
6.	Simulation	15
6.1	Simulationssoftware	15
6.2	Betriebserfahrungen	15
6.3	Ergebnisse der Simulation	16
7.	Zusammenfassung und Sonstiges	17
8.	Anhang - Überschlägige Bestimmung des Ertrages	18

1. Einleitung

„Sonne in der Schule“ – das Photovoltaikprogramm, das diese zukunftsweisende Technik an die Schulen gebracht hat, wurde auch im Jahr 2007 vom Solarenergieförderverein Bayern betreut. Der nachfolgende Bericht zeigt alle Bereiche dieser Betreuung auf und, dass viele Schulen – durch engagierte LehrerInnen, Hausmeister und Schüler dazu beitragen, dass die Betriebsergebnisse dieser Photovoltaikanlagen praktisch, aber auch wissenschaftlich genutzt werden können.

Es werden derzeit in Deutschland und zahlreichen anderen Ländern wie zum Beispiel in Spanien und Italien zahlreiche Photovoltaikanlagen gebaut, die möglichst für 20 und mehr Jahre Betrieb machen sollen. Jeder Investor und Bauherr ist an langjährigen Betriebserfahrungen interessiert um abzuschätzen, wie seine Anlage in Zukunft arbeiten wird. Die langjährigen Erfahrungen mit „Sonne in der Schule“ seit über 10 Jahren sind dafür wertvoll.

1.1 Aktuelle Darstellung „Sonne in der Schule“

Derzeit 915 Schulen sind im Programm „Sonne in der Schule“ zusammengefasst. Über 500 Anlagen befinden sich in Bayern, weit über 400 Anlagen an Schulen in Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein und Bremen. Bei diesen Anlagen werden die monatlichen Energieerträge erfasst, die in diesem Bericht veröffentlicht werden. Wegen Schließung von Schulen in einigen geografischen Bereichen ist die Anzahl gesunken.

Bild 1 zeigt die geografische Verteilung aller beteiligten Schulen. Alle diese Schulen werden einmal im Jahr angeschrieben und um die Erträge ihrer Photovoltaikanlage gebeten. Aktuell haben über 54 % geantwortet, was eine sehr gute Rücklaufquote ist, sie sollte aber im Interesse aller Beteiligten noch verbessert werden.

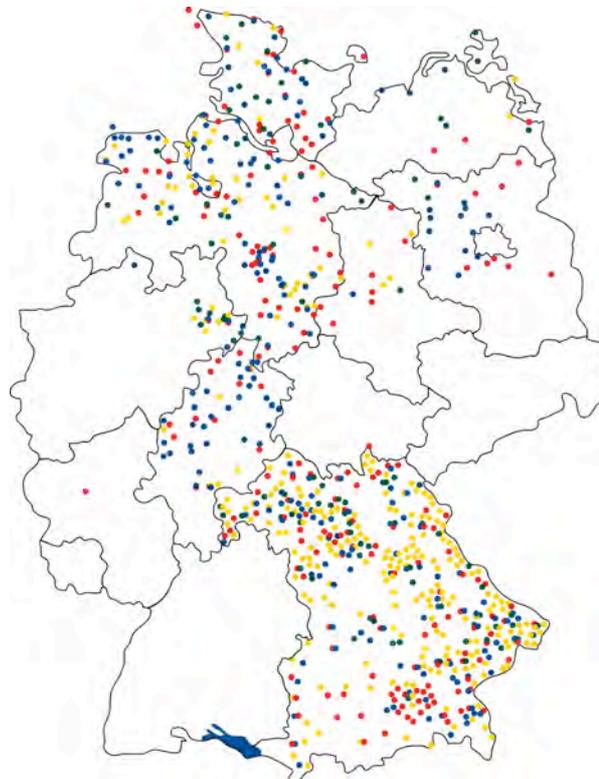


Bild 1: Geografische Lage aller Anlagen „vom hohen Norden Deutschlands bis in den tiefen Süden“

1.2 Solarenergieförderverein Bayern

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.

1.3 Ziel dieses Berichtes

In Abstimmung mit E.ON Bayern führt der gemeinnützige SeV auch für das Jahr 2007 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 eines Projektes zur Simulation

2. Datenbasis

Wie in allen Jahren wurden die Schulen, die am Programm teilnehmen, angeschrieben und gebeten, die monatlichen Energieerträge ihrer Photovoltaikanlagen via Internet oder per Fax an den SeV zu senden. Der Rücklauf war für die lange Laufzeit des Programms sehr gut, doch leider waren es wesentlich weniger Schulen als im vergangenen Jahr. **Tabelle 1** stellt die Zahlen von 2006 und 2007 gegenüber.

Tabelle 1: Statistik des Rücklaufes der Betriebsdaten im Jahr 2007

	Anzahl Schulen		
	Auswertung für 2007	Auswertung für 2006	Änderung
Basisdaten vorhanden von	915	923	-0,9 %
Messdaten erhalten von	496	579	-14,3 %
Zahl der Anlagen ohne Betriebsunterbrechung	407	437	-6,9 %

Anmerkungen

- Die Zahl der teilnehmenden Schulen hat sich geändert. Die Gründe dafür sind, dass im letzten Jahr einige Schulen geschlossen wurden und dadurch aus dem Programm ausgeschieden sind. Zudem kommt es leider immer wieder vor, dass Anlagen gestohlen werden.
- Der Begriff „Zahl der Anlagen ohne Betriebsunterbrechung“ ist zu spezifizieren. 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 oder entsprechende Fehlermeldungen vorlagen.

3. Meteorologische Daten des Jahres 2007

Der Ertrag von Photovoltaikanlagen, also die erzeugte elektrische Energie, ist ganz wesentlich von der eingestrahlten Solarenergie abhängig, die als Globalstrahlung bezeichnet wird. Aber auch die Modultemperatur, die von der Umgebungstemperatur bestimmt wird und der Wind spielen eine Rolle. Während höhere Globalstrahlung den Ertrag steigert wird er durch höhere Temperaturen gemindert. Als Richtwert sind für poly- und monokristalline Module – wie sie bei „Sonne in der Schule“ genutzt werden – etwa 0,4 – 0,5 % weniger Ertrag pro Grad Temperaturzunahme zu nennen.

3.1 Wetterübersicht

Über die Internetseite des Deutschen Wetterdienstes www.dwd.de kann man über den Button „Presse“ Informationen zum Wetter der vergangenen Jahre erhalten. Speziell zur Sonnenscheindauer ist dort für das Jahr 2007 vermerkt: „Trotz der erhöhten Niederschlagsbilanz verzeichnete auch die Sonnenscheindauer 2007 wieder ein Plus. Über alle Regionen Deutschlands gemittelt schien die Sonne rund 1738 Stunden. Das sind 114 Prozent des für Deutschland typischen Klimawertes von 1528 Stunden. Landsberg am Lech in Oberbayern wurde mit rund 2041 Stunden zum sonnenscheinreichsten Ort im Jahr 2007. Am wenigsten zeigte sich die Sonne auf dem Brocken mit etwa 1362 Stunden.“

Über die Wettersituation des Jahres 2007 in Deutschland können quartalsmäßig zusammengefasst folgende Aussagen gemacht werden:

- **Januar, Februar und März** waren zu warm und lagen mit ihren Temperaturen über den langjährigen Mittelwerten. Gerade der Januar war in vielen Gebieten der wärmste seit den regelmäßigen Temperaturaufzeichnungen im Jahre 1901. Auch der Februar war kein Wintermonat. Im März fiel zwar viel Niederschlag, trotzdem schien die Sonne häufiger als sonst.
- **April, Mai und Juni** boten wieder Extremwerte. Der April setzte für Temperatur, Trockenheit und Sonnenscheindauer Höchstmarken. In manchen Gebieten Deutschlands fiel überhaupt kein Regen, die Temperatur lag 4,4 °C über dem langjährigen Mittel. Die Sonnenscheindauer betrug durchschnittlich 283 Stunden – 80% über dem Normalwert. Darauf folgte der nasseste Mai seit der deutschlandweiten Wetterbeobachtung. Die Sonnenscheindauer war aber im Normbereich. Der Juni war sehr nass, aber trotzdem deutlich wärmer als üblich.
- **Juli, August und September** boten kein typisches Sommerwetter. Der Juli war zu nass und sonnenscheinarm. Allerdings war es im Süden sonniger als im Norden. Der August war zwar gegenüber dem langjährigen Mittel um 0,3°C wärmer, es gab aber auch mehr Wolken und Regen als im Durchschnitt. Der September war dann um 0,8°C kühler als im Durchschnitt und beendete die Serie der zwölf deutlich über dem Durchschnitt liegenden warmen Monate.
- **Oktober, November und Dezember** waren nicht durchgängig typische Herbst und- Wintermonate. Der Oktober war sonnenscheinreich und trocken, lag aber mit seinen Temperaturen unter dem langjährigen Mittel. Der November war zu kalt und feucht. Der Dezember war kein „Wintermonat“, die Sonne schien viel mehr als üblich.

3.2 Globalstrahlung

Die monatlichen Mittelwerte der Globalstrahlung sind für verschiedene Standorte im Gebiet von „Sonne in der Schule“ in **Tabelle 2** dargestellt. Die Werte wurden beim DWD gekauft und dürfen in diesem Bericht publiziert werden. Sie ermöglichen eine überschlägige Berechnung des Ertrages einer Photovoltaikanlage, wie im Anhang dargestellt.

Tabelle 2: Globalstrahlungen auf eine waagrechte Fläche für verschiedene Orte im Gebiet „Sonne in der Schule“ 2007 – in kWh/m²

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	2007
AUGSBURG	27	50	100	175	169	179	173	138	91	66	31	25	1.224
BERLIN	18	32	86	151	168	161	144	142	88	55	21	14	1.080
BRAUNSCHWEIG	19	30	83	143	154	152	143	131	88	56	21	14	1.034
BREMEN	16	26	80	141	152	137	139	125	73	53	20	14	976
FICHTELBERG	21	34	82	169	161	145	146	140	76	54	27	24	1.079
FRANKFURT/M.	21	32	90	170	146	155	152	139	92	64	22	17	1.100
GIESSEN	19	30	88	161	143	157	150	135	92	64	19	15	1.073
GOETTINGEN	18	28	86	148	145	146	135	121	82	53	16	13	991
HAMBURG	14	25	80	131	145	135	136	123	81	53	23	11	957
HANNOVER	18	27	82	142	152	148	137	129	84	55	19	13	1.006
HEIDELBERG	21	35	87	176	149	156	155	143	97	68	26	19	1.132
HOF	20	35	88	164	161	156	147	136	83	57	23	19	1.089
HOHENPEIßENBERG	35	55	103	176	166	185	180	137	97	73	37	32	1.276
KASSEL	19	28	88	151	145	148	140	126	84	55	15	14	1.013
KIEL	13	26	87	143	159	147	144	128	87	52	24	10	1.020
LIST AUF SYLT	17	24	96	143	158	161	161	143	97	49	25	11	1.085
MUENCHEN	30	54	101	178	171	187	177	139	92	68	33	27	1.257
NUERNBERG	23	37	85	173	161	165	156	133	93	65	24	19	1.134
REGENSBURG	22	44	92	173	169	177	165	138	88	62	25	19	1.174
ROSTOCK	16	29	83	153	161	150	150	127	85	53	22	9	1.038
SCHLESWIG	14	25	91	144	164	150	152	136	92	51	26	9	1.054
STRALSUND	16	26	83	150	164	155	153	131	86	52	23	9	1.048
WEIHENSTEPHAN	27	52	101	180	177	190	179	138	90	65	30	22	1.251
WUERZBURG	24	36	90	171	162	168	155	142	94	67	25	20	1.154

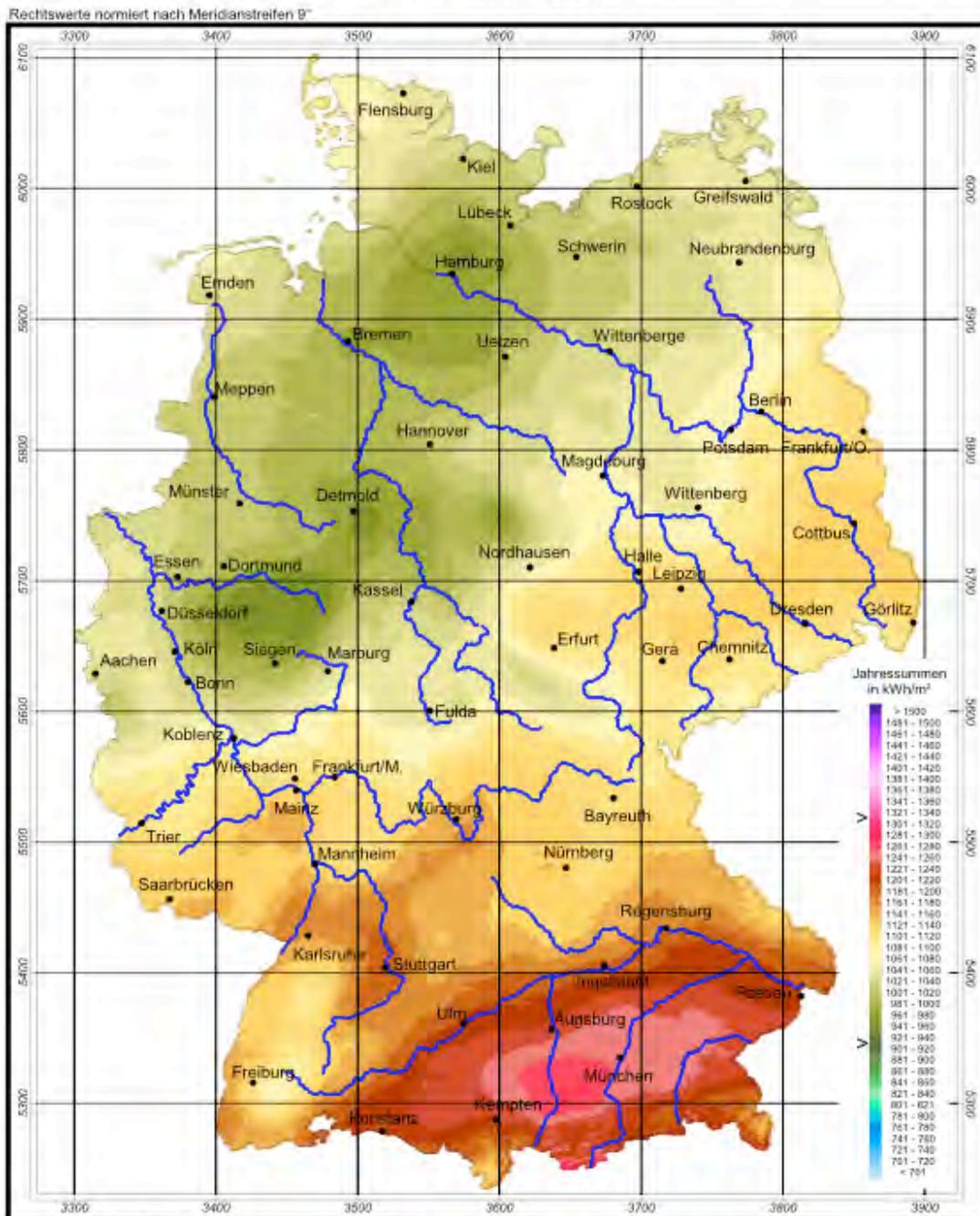
Wie man aus den Werten der Globalstrahlung grob überschlägig den möglichen Ertrag einer Photovoltaikanlage bestimmt, ist im Anhang dargestellt.

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.

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.

Vom Deutschen Wetterdienst DWD erworben wurde die in **Bild 2** auf der **nächsten Seite** dargestellte Karte mit den Globalstrahlungen in der Bundesrepublik Deutschland.

Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland Jahressumme 2007



Wissenschaftliche Bearbeitung:
DWD, Geschäftsfeld Klima- und Umweltberatung, Pf 30 11 90, 20304 Hamburg
Tel.: 040/6690-1922; eMail: klima.hamburg@dwd.de
Diese Karte ist gesetzlich geschützt. Vervielfältigungen
jeder Art sind nur mit Erlaubnis des Herausgebers zulässig.

Deutscher Wetterdienst 

Bild 2: Globalstrahlung in Deutschland 2007

4. Erträge

Die von den Schulen per Internet oder Fax erhaltenen Betriebsdaten zu den Erträgen der Photovoltaikanlagen wurden mit Hilfe entsprechender Software weiterverarbeitet und aufbereitet.

4.1 Statistische Verteilung der Erträge

Der spezifische Ertrag der Anlagen im Gesamtgebiet vom Norden bis in den Süden Deutschlands lag im Jahr 2007 bei durchschnittlich **772 kWh/kW_p**. Im Jahr 2006 wurden durchschnittlich 783 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 2007 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.

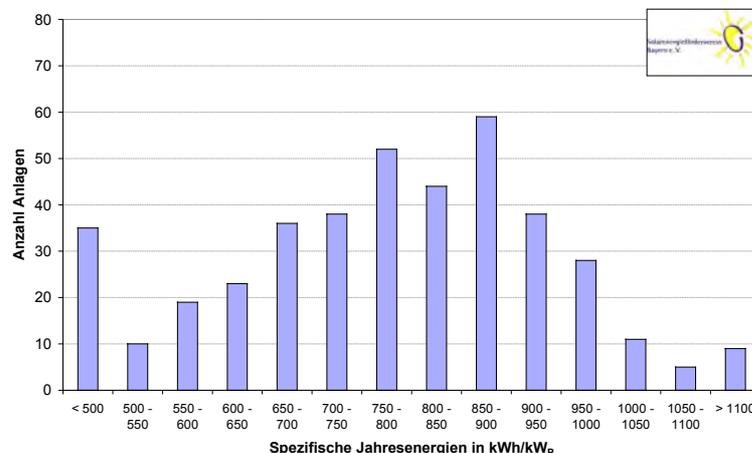


Bild 3: Verteilung des spezifischen Ertrages im Gesamtgebiet 2007
-Basis 407 Anlagen
-Mittelwert 772 kWh/kW_p

Die meisten Anlagen erzielten Erträge im Bereich von 750 - 900 kWh/kW_p. Maximale Erträge reichen über 1100 kWh/kW_p. Gründe, dass Anlagen schlechte Erträge von 0 – 500 kWh/kW_p liefern, 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 – wie dargestellt - mit steigender Temperatur schlechtere Erträge.

Aussagen über die Verteilung der spezifischen Energieerträge in den einzelnen Bundesländern zeigt das unten stehende **Bild 4**. Es ist zu bemerken, dass nur die Verteilung der spezifischen Energieerträge in den Bundesländern dargestellt ist, in denen eine genügend große Anzahl von nutzbaren Messdaten vorhanden war.

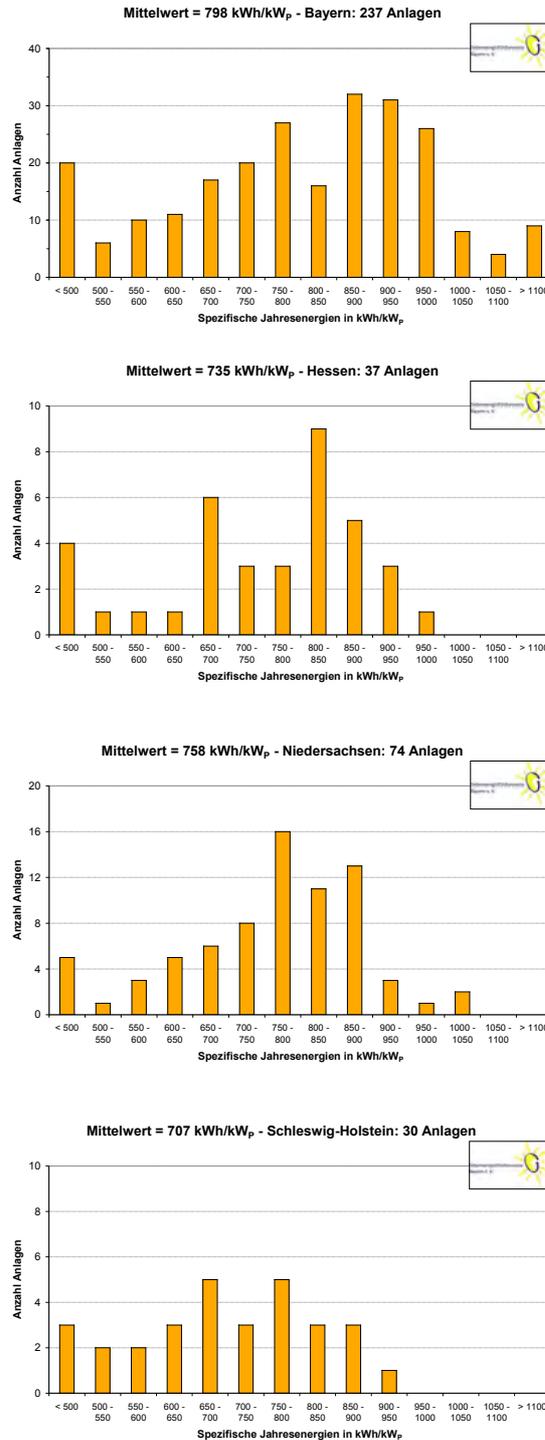


Bild 4: Erträge in den Bundesländern Bayern, Hessen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Dargestellt sind die Anlagen mit nutzbaren Daten, die im Normalbetrieb verfügbar waren. Man beachte die verschieden skalierten Achsen!

Zahlenwerte zur Anzahl aller Anlagen in allen Bundesländern und den Mittelwerte aller Erträge zeigt **Tabelle 3**.

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

Bundesland	Anzahl Anlagen 2007	Mittelwert spezifischer Ertrag in kWh/kW _p 2007	Veränderung des Ertrages gegenüber 2006
Bayern	237	798	-3,2 %
Hessen	37	735	-4,4 %
Niedersachsen	74	758	-1,6 %
Schleswig-Holstein	30	707	+5,5 %
Nordrhein-Westfalen	9	613	-23,6 %
Brandenburg	8	721	+3,0 %
Sachsen-Anhalt	4	802	-4,3 %
Mecklenburg- Vorpommern	4	865	-3,8 %
Bremen	3	699	-8,6 %
Sonstige (Rheinland-Pfalz, Thüringen)	1	676	./.
Gesamtgebiet	407	772	-0,8%

Wie zu erwarten, sind die Erträge wegen der besseren Globalstrahlungsbedingungen im Süden höher. Allerdings sind auch im Norden durchaus ansehnliche Energiemengen durch Photovoltaik zu erzeugen. 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 Mecklenburg-Vorpommern mit 865 kWh/kW_p, aber mit nur vier Anlagen mit „nutzbaren Datensätzen“.

4.2 Betriebsstörungen und Nichtverfügbarkeiten

Je länger eine Photovoltaikanlage in Betrieb ist, desto eher kann es natürlich zu Betriebsstörungen kommen. Unabhängig davon werden in Schulen immer wieder Umbauarbeiten durchgeführt, bei der auch die Photovoltaikanlage zeitweise nicht verfügbar ist. **Tabelle 4** zeigt den Verlauf der Betriebsstörungen und Nichtverfügbarkeiten der letzten Jahre.

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 %
2006	579	437	142	24,5 %
2007	496	407	89	17,9 %

Die wichtigsten Gründe für Betriebsstörungen sind wie in den vergangenen Jahren:

- Wechselrichterdefekte
- Umbau des Schulgebäudes oder Sanierungsarbeiten
- Modulbruch
- Probleme mit der Software, wie etwa „Absturz des PC“

Der SeV ist dankbar für die Übermittlung der Störungsmeldung im Messprotokoll. Auf dieser Grundlage können die notwendigen Schritte zur Beseitigung der Probleme eingeleitet werden. Als Beispiel sind die Maßnahmen zum Austausch defekter Wechselrichter zu sehen, Details sind im Kapitel **Unterstützung bei Problemen und Betreuung** zu sehen.

4.3 Ermittlung der Ertragsdaten

Vorab ist auf die ausführliche Broschüre des SeV zu diesem Thema zu verweisen. Sie kann unter www.sev-bayern.de → Sonne in der Schule → Service herunter geladen werden.

Zwei Möglichkeiten – die von der jeweiligen Anlagentechnik abhängen - sind zu nennen, um die in das Netz eingespeiste elektrische Energie (Erträge) zu bestimmen.

- Der Wechselrichter speichert die Erträge
- Die in das Netz eingespeiste Energie ist durch Zählerablesungen zu ermitteln

Zu der ersten Möglichkeit sind folgende weiteren Informationen erforderlich:

- Bei den Schulen im Norden Deutschlands (ehemaliges Programm“ SONNEonline“) werden in der Regel Wechselrichter Sunny Boy 850 des Herstellers SMA verwendet. Hier steht eine grafische Bedienoberfläche unter Windows zum Auslesen der Daten bereit.
- Für die Schulen im Süden Deutschlands (früheres Programm „Sonne in der Schule“) wurden Wechselrichter vom Typ SPN 1000 von Siemens verwendet. Auch hier ist das Auslesen mit dem PC möglich. Ggf. ist Software erforderlich, für die der SeV gerne Bezugsquellen nennt.
- Einige defekte Wechselrichter SPN 1000 wurden mit finanzieller Unterstützung des SeV gegen Geräte des Herstellers Fronius „SUNRISE mini-S“ ausgetauscht. Dieser Wechselrichter verfügt nicht über einen integrierten Datenlogger. Hier zeigt die oben genannte Broschüre Wege auf, die Betriebsdaten aufzuzeichnen. Besonders zu nennen ist der Weg mit „Messwertaufzeichnung mit PC und Fronius-Datenlogger“. Der Datenlogger wird von Fronius allerdings nicht mehr gefertigt.
- Der SeV bietet seit 2007 den Schulen die Möglichkeit, defekte Wechselrichter SPN 1000 reparieren zu lassen und eine entsprechende Auslesesoftware zu erhalten.
- Man kann in der Nähe des Wechselrichters einen „Hutschienenzähler“ – etwa durch einen örtlichen Elektriker – installieren lassen. Dieser verfügt auch über die Möglichkeit, Daten auszulesen. Die Kosten für diesen sollten im Bereich 50 – 100 € liegen.

Unabhängig vom Wechselrichter können über den Zähler die Ertragsdaten bestimmt werden. Diesbezüglich ist auf die oben genannte ausführliche Broschüre des SeV zu verweisen.

4.4 Unterstützung bei Problemen und Betreuung

Das Programm „Sonne in der Schule“ wurde mit dem Ziel gestartet, dass die Technik der Photovoltaikanlage viele Jahre für die Schüler und Schülerinnen erfahrbar ist und zudem durch die Auswertung der Betriebsergebnisse Langzeiterfahrungen gesammelt und wissenschaftlich genutzt werden können. Dies setzt voraus, dass die Anlagen betriebsbereit sind. Der SeV bietet deshalb Unterstützung bei Problemen mit der Anlage an.

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.

Meldet eine bayerische Schule den Defekt eines Siemenswechselrichter SPN 1000, wird durch den SeV der Kontakt zu

Solar- und Elektrotechnik
Ralf Kühlwein
Elektromeister
Solarteur®
80937 München
Josef-Ressel-Str. 16a
www.spn1000.de

hergestellt. Herr Kühlwein setzt sich dann telefonisch oder per Email mit dem/der betreuenden LehrerIn in Verbindung und klärt ab, ob es sinnvoll ist, das Gerät zu reparieren. Sollte dies der Fall sein, schickt die Schule den Wechselrichter an obige Adresse. Die Reparaturkosten übernehmen vorerst der SeV sowie E.ON Bayern, für die Schulen fallen nur die Versandkosten an. Sollte eine Reparatur nicht möglich sein, so wird in Absprache mit dem SeV ein anderer Weg, der in der Regel aufwändiger und teurer ist, gefunden werden.

Erfahrungsgemäß kann die Reparatur einige Zeit in Anspruch nehmen, besonders wenn spezielle elektronische Bauelemente zu beschaffen und auszutauschen 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 300 € 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 das 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 300 €, also 150 € überwiesen. **Diese Zusage einer Kostenbeteiligung gilt für Rechnungen, die bis zum 31. Dezember 2008 beim SeV eingegangen sind.**

Getauscht bzw. repariert wurden seit 2004 mit Unterstützung des SeV 49 Wechselrichter.

Der SeV hilft auch bei anderen technischen Störungen.

Z. B. kam es in den letzten Jahren zu Modulbrüchen (Schneelast, Steinschlag). Da der SeV bei Schulen die geschlossen wurden, die Photovoltaikanlagen abgebaut hat, stehen so Ersatzmodule zur Verfügung, die den Schulen kostenlos zugesandt werden, der Einbau erfolgt dann in Eigenregie.

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 2007 wurden rund 180 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

oder

- Neue Betreuer in das Programm „Sonne in der Schule“ eingewiesen
- Information zur Er- und Übermittlung der Erträge genannt
- Photovoltaikanlagen abgeholt, wenn die Schule geschlossen wurde
- Hilfestellung bei Facharbeiten im Bereich der regenerativen Energien gegeben.

Auch zukünftig hilft der SeV gerne weiter. Wir bitten, das Problem in einer E-Mail an SonneSchule@sev-bayern.de darzustellen, wir werden dann versuchen so schnell als möglich weiterzuhelfen.

Damit ein Defekt der Photovoltaikanlage rasch erkannt wird, ist es wichtig, die Anlage mindestens alle drei Monate, am besten aber monatlich zu kontrollieren. Wenn, wie vorgesehen, die Erträge monatlich erfasst werden, kann am besten eine Störung sichtbar werden und dadurch ein längerer Ausfall der Photovoltaikanlage vermieden werden.

Wir bitten die Schulen, die geschlossen werden, uns dies zu melden. Wie beschrieben ist der SeV durch die abgebauten Anlagen in der Lage, Ersatzteile an andere Schulen zu senden und evt. auch einer neuen Schule eine Photovoltaikanlage zur Verfügung zu stellen.

4.5 Erträge einzelner Schulen

Beispielhaft zeigen Bild 5, 6 und 7 als Balkendiagramm den Verlauf der monatlichen spezifischen Energieerträge von drei Schulen in Brandenburg, Nordbayern/Franken und Bremen. Als Linie ist der monatliche Mittelwert aller Schulen mit nutzbaren Daten dargestellt. Auffallend ist in allen drei Diagrammen der besonders hohe Ertrag im April 2007.

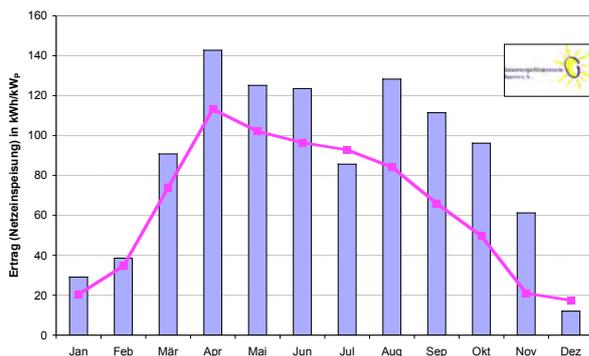


Bild 5: Schule in Brandenburg - spezifischer Jahresertrag 1045 kWh/kW_p

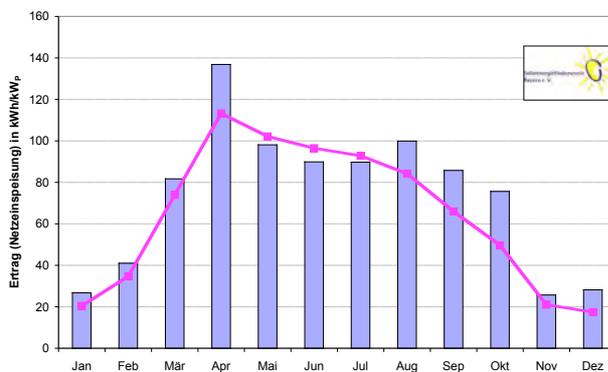


Bild 6: Schule in Nordbayern/Franken - spezifischer Jahresertrag 879 kWh/kW_p

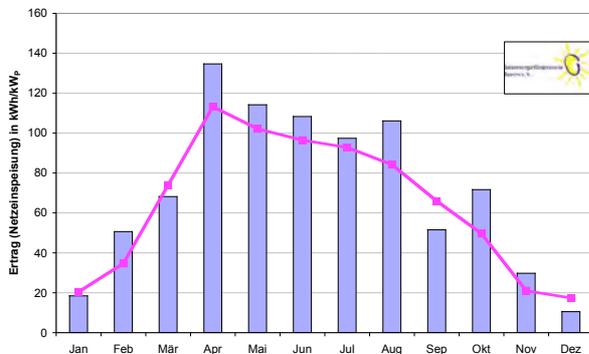


Bild 7: Schule in Bremen - spezifischer Jahresertrag 861 kWh/kW_p

5. Geldpreise und Wettbewerb

5.1 Abgabe der Messdaten

Unter den Schulen die bis zum 15. Februar 2008 ihre Betriebsergebnisse aus „Sonne in der Schule“ aus dem Jahr 2007 übermittelten – etwa 50 % der Rückmeldungen - wurden auch in diesem Jahr 3 x 100 € verlost. Die Gewinner sind:

- Hauptschule Neunkirchen
- Emil-von Behring-Gymnasium Spardorf
- Realschule Tostedt

5.2 Wettbewerb „Präsentation auf der Schulwebsite“

Für das vergangene Betriebsjahr 2007 rief der Solarenergieförderverein Bayern wieder zu einem Wettbewerb auf, diesmal zum Thema:

„Die Präsentation der Photovoltaikanlage auf der Schulwebsite“

Das Internet ist das Forum, in dem und mit dem man heute am schnellsten und effektivsten eine „Nachricht“ verbreiten kann. Die Schul-Webseite wird von Lehrern, Schülern, Eltern und anderen Interessierten gleichermaßen genutzt und bietet somit die Möglichkeit über diesen Weg auf die Photovoltaikanlage der Schule hinzuweisen.

Viele der am Programm Sonne in der Schule teilnehmenden Schulen haben schon auf der Webseite ihrer Schule einen Hinweis, bzw. eine Präsentation der Photovoltaikanlage mit Erträgen, CO₂-Einsparung und anderen wichtigen Daten.

Durch den Wettbewerb sollten alle Schulen ermutigt werden, die evt. bestehende Webseite zur Photovoltaik zu optimieren oder die Schulanlage neu in die Schul-Webseite mit einzubauen.

Für die Vergabe der Preise waren als wichtigste Kriterien maßgebend:

- Didaktische Aufbereitung
- Optische Darstellung
- Betreuung der Webseite (Aktualisierung u.a.)
- Anregung für die Beschäftigung mit der Photovoltaik

Die Gewinner sind:

- | | |
|----------|---|
| 1. Preis | Gymnasium Königs Wusterhausen (500€) www.etsag.de |
| 2. Preis | Realschule Beverungen (300€) www.realschule-beverungen.de |
| 3. Preis | Schule Wybelsum Emden (100€) www.schule-wybelsum.de |
| 3. Preis | Hankensbüttel (100€) www.gymnasium-hankensbuettel.de |

6. Simulation

Um zu ermitteln, welchen Ertrag eine Photovoltaikanlage nach ihrem Aufbau erbringen wird, greift man in der Planungsphase in der Regel auf die „Simulation“ der zu bauenden Anlage mit Hilfe von geeigneten Programmen zurück. Damit wird für einen gegebenen Standort mit seinen spezifischen meteorologischen Parametern eine bestmögliche Aufstellung der Module sowie optimale Auswahl und Abstimmung der einzelnen Komponenten ermöglicht. Eine wichtige Frage ist dabei, wie genau diese Programme die Wirklichkeit abbilden.

Beim Programm „Sonne in der Schule“ stehen die Erträge von vielen Schulen an zahlreichen Standorten über einen langen Zeitraum zur Verfügung. Der SeV hat deshalb einen Vergleich von Simulation mit realen Ergebnissen durchführen lassen, um zu prüfen, inwieweit die Ergebnisse der Simulationsprogramme der Realität entsprechen. Untersucht wurden drei Schulen für den Zeitraum 1996 – 2006, nachstehend als Schule A, B und C bezeichnet. Es standen nicht für alle Jahre vollständige Daten zur Verfügung.

6.1 Simulationssoftware

In der Praxis oft angewandte Simulationsprogramme sind PVSOL und PVSYSY. Beide bieten eine umfangreiche Datenbank mit Globalstrahlungswerten (auf eine waagrechte Ebene) und Temperaturdaten für verschiedene Standorte an. Für nicht vorhandene Standorte können die meteorologischen Daten mit Hilfe des Programms Meteonorm generiert und dann importiert werden. Meteonorm ist ein bewährtes Standardprogramm zur Bestimmung der meteorologischen Daten für sehr viele Orte der Erde.

Photovoltaische Solarmodule sind in der Regel geneigt, die Globalstrahlung ist aber nur für die horizontale Ebene bekannt. PVSol und PVSYSY bieten verschiedene Möglichkeiten zur Umrechnung der Globalstrahlung von der waagrecht auf die geneigte Ebene an. Die Umrechnung kann nach dem Modell von Hay und Davis oder nach dem von Perez durchgeführt werden.

6.2 Betriebserfahrungen

Die Anlagenbetreiber wurden zu den Betriebserfahrungen mit der PV-Anlage befragt. Folgende Rückmeldungen wurden zu den drei PV-Anlagen gesammelt.

- Sind Ausfälle oder Defekte an der Anlage seit Inbetriebnahme bekannt?
Beim Schule B hängt der Wechselrichter im Gang und wurde bereits öfter von Schülern ausgeschaltet. Im Jahr 2003 kam es durch Umbaumaßnahmen im Gebäude zu einem Netzausfall über mehrere Monate. Die Anlagen der Schule A und Schule C haben bis heute keinen Ausfall oder Defekt.
- Wurden die Module während der Betriebszeit gereinigt?
Alle drei PV-Generatoren wurden seit der Inbetriebnahme noch nicht gereinigt.
- Sind im Moment vorhandene Schäden an der Anlage bekannt?
Alle Anlagenbetreiber geben an, dass Ihnen im Moment keine Schäden an der Anlage bekannt sind.

Bei der Bewertung der Ergebnisse der Simulation sind diese Betriebserfahrungen zu berücksichtigen.

6.3 Ergebnisse der Simulation

Bild 8 zeigt die langjährigen Mittel sowohl der IST-Erträge als auch der realen Erträge der drei Schulen.

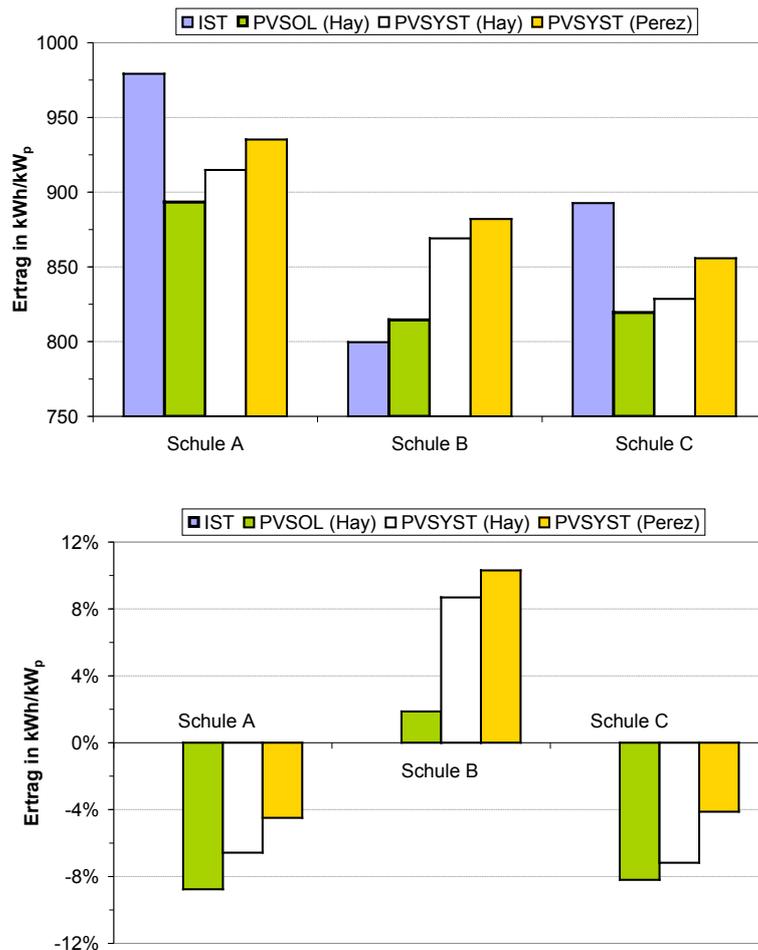


Bild 8: Absolute Werte von IST-Ertrag sowie Simulationsergebnisse mit PVSOL und PVSYST (oberes Diagramm mit unterdrücktem Nullpunkt) sowie prozentuale Abweichung der Simulationsergebnisse vom IST-Ertrag (unteres Diagramm)

Die Simulationsergebnisse liegen bei den PV-Anlagen der Schule A und Schule C etwa 4-8% unter den realen Erträgen. Weiter ist zu beachten, dass die Umrechnung der Einstrahlung auf die geneigte Ebene durch die Modelle nach Hay und Davis und nach Perez zu leicht abweichenden Resultaten führt. Die Simulationsergebnisse der PV-Anlage von Schule B liegen 2-10% über den realen Erträgen.

Es zeigt sich, dass die Simulation ein nützliches Werkzeug ist. Der langjährige Vergleich zwischen praktischem Betrieb und Theorie kann jedoch Abweichungen von bis zu 10 % liefern.

7. Zusammenfassung und Sonstiges

Der erzielte mittlere spezifische Ertrag aller Anlagen ohne wesentliche Betriebsunterbrechungen lag im Jahr 2007 bei 772 kWh/kW_p und damit etwa auf dem Niveau der Vorjahre. Festzustellen ist aber, dass die meisten Anlagen auch nach über 10 Jahren Betrieb gut funktionieren. Gute Betreuung und Unterstützung bei betrieblichen Problemen sollen auch zukünftig dafür sorgen, dass weiterhin gute Erträge erzielt werden.

Das Thema der regenerativen Energien nimmt, bedingt durch die Diskussion um den Klimawandel, einen immer größeren Raum ein. Die Photovoltaik kann auch bei uns in Deutschland einen beachtlichen Beitrag zur Verminderung der Schadstoffemissionen leisten. Nicht vergessen darf man dabei ebenso, dass die Technik der erneuerbaren Energien einen gewaltigen Bedarf an Fachkräften hat. Viele technische Berufe ermöglichen eine Zusatzausbildung in diesem Bereich – beispielsweise Solarteure – und die Universitäten und Fachhochschulen haben sich mit neuen Studiengängen in diesem Bereich bereits auf die Anforderungen der Zukunft eingestellt. Den Schulen kommt damit die Aufgabe zu, die Schüler auf diese Berufswege hin auszubilden. Die Photovoltaikanlagen des Programms „Sonne in der Schule“ helfen dabei.

Sollte die Photovoltaikanlage „Sonne in der Schule“ durch Umbaumaßnahmen, Schließung der Schule oder aus anderen Gründen nicht mehr betreut bzw. aufgebaut werden, so bitten wir, darüber informiert zu werden. Der SeV wird dann die Anlage auf seine Kosten abholen und einer neuen interessierten Schule zur Verfügung stellen.

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass sich der Solarenergieförderverein Bayern auch mit einem weiteren zukunftssträchtigen Thema der Photovoltaik beschäftigt, der Gebäudeintegrierten Photovoltaik GIPV. Zahlreiche Dächer und Fassaden könnten zur Stromerzeugung genutzt werden. Mit einem Wettbewerb will der SeV architektonisch ansprechende Lösungen suchen. Details hierzu finden sich ebenfalls auf der Website www.sev-bayern.de.

8. 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 2007 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 nicht erforderlich.

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

- Die gesamte Globalstrahlung des Jahres 2007 in Würzburg betrug 1154 kWh/m². Wie vorn 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 1292 kWh/m².
- Die Photovoltaikanlage ist aus 20 Modulen Siemens M55 der Nennleistung 55 W_p aufgebaut. Die Fläche eines Moduls beträgt 0,4254 m², die gesamte Fläche aller Module beträgt damit 8,51 m². Die Gesamtleistung liegt damit bei 1,1 kW_p. Die Module seien mit dem Neigungswinkel 30° nach Süden ausgerichtet. Verschattung ist nicht vorhanden, es erfolgt eine gute Lüftung. Wenn man eine gewisse Degradation der Module nach über 10 Jahren Betrieb einrechnet, ist hier mit einem mittleren Wirkungsgrad der Module von 9,5 % 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:
$$W = 1292 \text{ kWh/m}^2 * 8,51 \text{ m}^2 * 9,5 \% * 90 \% = 940 \text{ kWh}$$

Der spezifische Ertrag bestimmt sich zu $940 \text{ kWh}/1,1 \text{ kW}_p = \mathbf{855 \text{ kWh/kW}_p}$
- Wie sieht die Realität aus? Eine Schule in Nordbayern/Franken erzielte nach Bild 6 einen spezifischen Jahresertrag von 879 kWh/kW_p.
- Gründe für Abweichungen sind begründet im Einfluss der Umgebungstemperatur, Verschattung, Neigungswinkel etc. Simulationssoftware wie PVSOL, SOLEM, PVSYSYT ermöglichen eine genauere Bestimmung des zu erwartenden Ertrages.
