



# SONNE IN DER SCHULE

Betriebsbericht

2013

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1	Allgemeines zum Programm „Sonne in der Schule“	3
1.2	Ziele dieses Berichtes	3
<b>2</b>	<b>Auswertung der Betriebsdaten</b>	<b>4</b>
2.1	Datenbasis	4
2.2	Meteorologische Daten des Jahres 2013	5
2.2.1	Übersicht	5
2.2.2	Globalstrahlung	6
2.3	Erträge	8
2.3.1	Statistische Verteilung	8
2.3.2	Betriebsstörungen und Nichtverfügbarkeiten	10
2.3.3	Erträge einzelner Schulen	11
<b>3</b>	<b>Betreuung</b>	<b>13</b>
3.1	Wechselrichter	13
3.1.1	Schulen mit Wechselrichter SPN1000	13
3.1.2	Schulen mit Wechselrichter Sunny Boy	14
3.1.3	Schulen mit sonstigen Wechselrichtern	14
3.2	Solarsupport für Schulen	14
3.3	Unterrichtshilfen	14
<b>4</b>	<b>Preise für Abgabe der Messdaten</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Untersuchungen zum Langzeitverhalten der Anlagen</b>	<b>15</b>
5.1	Situation vor Ort	15
5.2	Technische Bewertung der Anlagen	17
5.3	Leistungsmessungen	17
5.4	Elektrolumineszenzuntersuchungen	18
5.5	Weiterer Betrieb	18
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>Anhang: Überschlägige Bestimmung des Ertrages</b>	<b>19</b>

## 1 Einleitung

### 1.1 Allgemeines zum Programm „Sonne in der Schule“

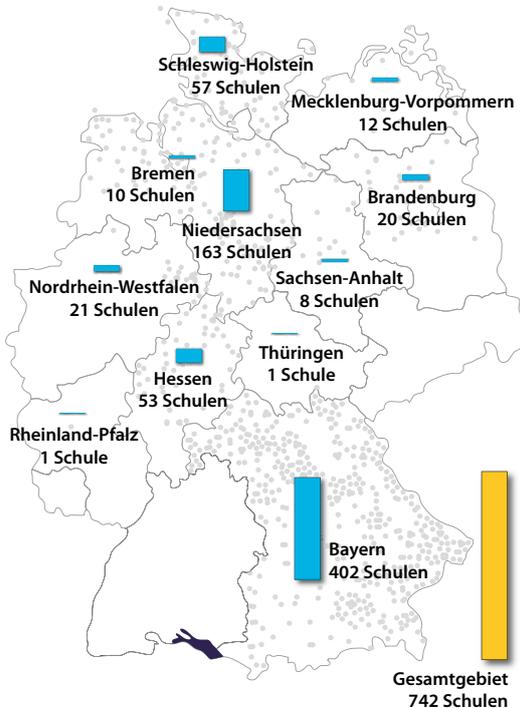


Abb. 1: Verteilung der aktuell registrierten Anlagen auf die Bundesländer

An **Sonne in der Schule** nehmen Schulen aus elf Bundesländern teil, s. Abb. 1. Auch 2013 wurde das Programm wieder durch die Mitarbeit von vielen Schulen – Rücklauf von über 50 % – erfolgreich abgeschlossen. Diese große Unterstützung belegt nach unserer Ansicht, dass das Interesse an der Photovoltaik und damit an den Erneuerbaren Energien weiterhin groß ist und der Wille da wäre, diese Energieform weiter auszubauen und die Energieversorgung damit umweltfreundlicher zu gestalten.

Der Solarenergieförderverein Bayern – nachstehend als SeV bezeichnet – bezieht seine finanziellen Mittel aus dem Verkauf der elektrischen Energie, die von der 1-MW-Photovoltaikanlage **Soldach München-Riem** auf der Messe München erzeugt wird. Diese Erträge werden zur Unterstützung verschiedener Solarprojekte, schwerpunktmäßig der Photovoltaik, verwendet. Hierzu gehört auch **Sonne in der Schule**, das während seiner bisherigen

Laufzeit von 20 Jahren zahlreiche Schüler – geschätzt 1,5 bis 2 Millionen – an diese umweltfreundliche Technik der Stromerzeugung heranführte.

### 1.2 Ziele dieses Berichtes

Der Bericht enthält nach dem einleitenden Kapitel 1 folgende Abschnitte:

- In Kapitel 2 werden die übermittelten und aussagekräftigen Betriebsdaten evaluiert und es wird ein Überblick über die meteorologischen Daten 2013 gegeben.
- Im Kapitel 3 wird die Betreuung der Anlagen dargestellt sowie die Unterstützung durch den SeV bei Störungen.
- Im Kapitel 4 werden die per Los ermittelten Schulen benannt, die ihre Betriebsdaten bis zum 15. Februar 2014 übermittelten und dafür Geldpreise erhalten.
- In Kapitel 5 werden Untersuchungen zum Langzeitverhalten einiger Photovoltaikanlagen aus dem Programm dargestellt.
- Eine Zusammenfassung in Kapitel 6 beendet den Bericht 2013.
- Im Anhang wird zudem die überschlägige Bestimmung des Ertrages dargestellt.

## 2 Auswertung der Betriebsdaten

372 Schulen meldeten für das Jahr 2013 die Betriebsdaten der Photovoltaikanlage oder teilten dem SeV mit, weshalb ihre Anlage keine Erträge liefern konnte.

### 2.1 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. Tab. 1 stellt die Zahlen von 2012 und 2013 gegenüber.

	Anzahl Schulen		
	Auswertung für 2013	Auswertung für 2012	Änderung
Basisdaten vorhanden von	<b>742</b>	<b>792</b>	<b>- 6,3 %</b>
Messdaten erhalten von	<b>372</b>	<b>437</b>	<b>- 14,9 %</b>
Anlagen ohne Betriebsunterbrechung	<b>270</b>	<b>294</b>	<b>- 8,2 %</b>

**Tab. 1:** Statistik des Rücklaufes der Betriebsdaten im Jahr 2013

#### Anmerkungen:

- Die Anzahl der Schulen, von denen Basisdaten vorhanden sind, hat sich auch im vergangenen Jahr geändert. Die wesentlichen Gründe dafür sind:
  - Wie schon in den vorangegangenen Jahren wurden Schulen geschlossen.
  - Mehrere Schulen haben große Photovoltaikanlagen gebaut, die kleinere Anlage aus „Sonne in der Schule“ wurde in diese integriert oder abgebaut.
  - Leider mussten wieder Schulen aus dem Programm genommen werden, da sie im laufenden Schulbetrieb keine Kapazität für die Betreuung haben.
- Aktuell hat der SeV von 372 Schulen Messdaten erhalten, was einer immer noch sehr guten Rücklaufquote von 50,1 % entspricht.
- Unter dem Begriff „Anlagen ohne Betriebsunterbrechung“ ist Folgendes zu verstehen:
  - Im praktischen Betrieb ist stets ein gewisser Prozentsatz nicht verfügbar, etwa wegen Bauarbeiten oder längerfristiger Störungen.
  - Statistisch gesehen, verursachen nach einem Zeitraum von ca. 8 - 15 Jahren ab Inbetriebnahme viele Wechselrichter zeitweise Stillstände und Ausfälle der Photovoltaikanlage.
  - Daher wurden für die statistische Auswertung alle Anlagen nicht berücksichtigt, bei denen erkennbar eine länger als drei Monate andauernde Betriebsunterbrechung oder eine entsprechende Fehlermeldung vorlag.

### 2.2 Meteorologische Daten des Jahres 2013

Vorausschickend kann gesagt werden, dass der Ertrag von Photovoltaikanlagen, also die erzeugte elektrische Energie, ganz wesentlich von der eingestrahnten Solarenergie, bezeichnet als Globalstrahlung, abhängig ist. Aber auch die Modultemperatur, die wesentlich von der Umgebungstemperatur beeinflusst wird und der Wind spielen eine Rolle.

- Höhere Globalstrahlung steigert den Ertrag. Als Näherung folgt der Wert des Ertrages direkt dem Wert der eingestrahnten Globalstrahlung!
- Der Ertrag wird durch höhere Modultemperaturen gemindert. Ein poly- oder monokristallines Modul – wie bei **Sonne in der Schule** – gibt etwa 0,4 bis 0,5 % weniger Leistung pro Grad Temperaturzunahme ab.

#### 2.2.1 Übersicht

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) stellt auf seiner Internetseite [www.dwd.de](http://www.dwd.de) über den Button „Presse“ Wetterübersichten zur Verfügung. Im Jahresrückblick auf das Wetter von 2013 vermerkte der DWD, dass „das Jahr 2013 bei Temperatur, Niederschlag und Sonnenschein durchschnittlich ausfiel. Die Temperatur lag etwas über dem langjährigen Mittel, Niederschlag und Sonnenschein lagen darunter“.

Die Meteorologen des DWD machen die Aussage, dass Deutschland den dunkelsten Winter seit Beginn der regelmäßigen Sonnenscheinaufzeichnungen vor über 60 Jahren erlebt hat; nie zuvor war ein Winter so dunkel wie der Winter 2012/2013, noch nie gab es so wenig die Sonne zu sehen.

Hier nun die Quartale im Einzelnen:

- Der Januar begann mild und wurde erst in der zweiten Hälfte winterlich. Die Sonnenscheindauer war mit durchschnittlich 22 Stunden mit 50 % unter ihrem Soll von 44 Stunden. Es folgte der sonnenscheinärmste Februar seit 1951 mit neuen Temperaturminusrekorden. Der März begann etwas milder, wurde dann aber bitterkalt, war trotz Schneebedeckung zu trocken und nur die Sonnenscheinbilanz wurde besser als in den beiden vorhergehenden Monaten.
- Mitte April kam es zu frühlingshaften Temperaturen, der Monat blieb aber beim Sonnenschein und beim Niederschlag unterdurchschnittlich. Es folgte ein sehr nasser Mai, der zudem noch sehr trüb war. Der Juni brachte die verheerenden Überschwemmungen an Donau und Elbe, die Sonnenscheindauer war allerdings ausgeglichen.
- Der Juli war ungewöhnlich sonnenscheinreich und kommt daher auf Platz 2 seit der Sonnenscheinmessung ab 1951. Im August kam es anfangs durch schwül-heiße Luft zu schweren Gewittern, es folgten angenehme sommerliche Temperaturen und auch reichlich Sonne. Der September wurde allerdings wieder trüb und nass und die Sonne machte sich rar.
- Im Oktober war es deutlich zu warm, es regnete viel und die Sonnenscheinbilanz blieb unter ihrem Soll. Auch der November war zu mild, nass und hatte wenig Sonnenschein. Das Jahr endete mit einem ungewöhnlichen Dezember. Frühlingshafte Temperaturen, kaum Schnee, nasse, aber keine weiße Weihnachten und viel Sonne, dies mit einem starken Nord-Süd-Gefälle.

## Sonne in der Schule – Betriebsbericht 2013

### 2.2.2 Globalstrahlung

Die monatlichen Mittelwerte der Globalstrahlung – auf eine waagrechte Fläche – des Jahres 2013 sind für verschiedene Standorte im Gebiet von **Sonne in der Schule** in Tab. 2 dargestellt. Die Werte wurden vom DWD bereitgestellt. Sie ermöglichen eine überschlägige Berechnung des Ertrages einer Photovoltaikanlage, wie im Anhang dargestellt.

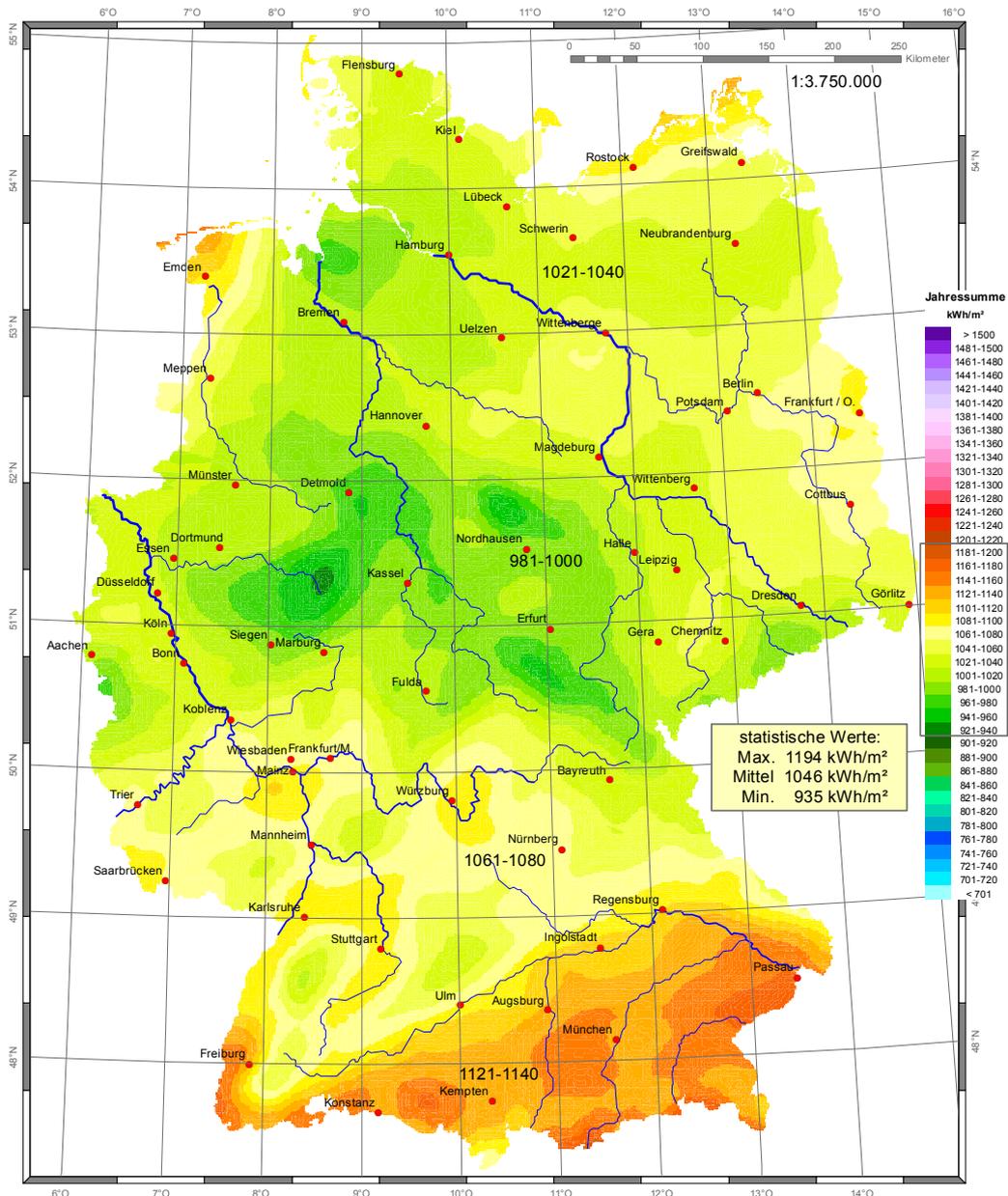
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	2013
AUGSBURG	26	41	85	104	126	162	208	159	95	58	26	29	1119
BERLIN	16	25	85	113	138	170	194	150	80	55	20	16	1062
BRAUNSCHWEIG	18	30	81	117	121	175	189	143	79	50	25	15	1043
BREMEN	16	28	77	113	122	160	184	142	78	52	24	13	1009
FICHTELBERG	25	35	85	107	113	134	179	137	71	62	24	27	1000
FRANKFURT/M.	20	34	82	112	122	171	194	148	92	55	25	18	1073
GIESSEN	19	32	77	115	116	168	188	147	81	51	25	16	1035
GOETTINGEN	17	28	79	106	118	160	181	137	79	49	21	15	990
HAMBURG	14	27	82	113	126	159	192	140	77	52	23	11	1016
HANNOVER	16	30	80	116	119	166	183	144	80	50	24	14	1022
HEIDELBERG	19	32	79	104	118	164	195	148	94	53	25	20	1051
HOF	23	30	79	100	109	149	188	142	78	56	20	20	994
HOHENPEIßENB.	30	45	89	100	123	150	206	155	86	63	31	42	1121
KASSEL	17	27	82	109	113	157	184	138	79	49	21	15	991
KIEL	13	25	81	121	140	161	193	141	80	48	23	9	1035
LIST AUF SYLT	13	23	78	116	139	135	177	133	72	41	Ausf.	9	
MUENCHEN	26	50	89	103	123	157	210	158	94	62	29	35	1136
NUERNBERG	21	37	86	109	121	160	201	147	88	61	24	20	1075
REGENSBURG	25	38	88	111	126	159	202	152	88	59	24	21	1093
ROSTOCK	15	23	84	128	147	175	199	151	86	55	22	11	1096
SCHLESWIG	14	27	82	122	139	158	190	141	80	47	23	9	1031
STRALSUND	14	19	76	123	156	180	194	147	87	53	19	11	1079
WEIHENSTEPHAN	26	44	87	109	129	159	212	149	96	58	27	30	1126
WUERZBURG	20	35	85	112	123	170	193	150	99	60	25	20	1092

**Tab. 2:** Monatliche Werte der Globalstrahlung des Jahres 2013 – auf eine waagrechte Fläche – in der Einheit kWh/m<sup>2</sup> für verschiedene Orte im Gebiet **Sonne in der Schule** (Quelle: Deutscher Wetterdienst).

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. Dieser Winkel hängt oft stark von den lokalen baulichen Gegebenheiten ab.

Vom Deutschen Wetterdienst bereitgestellt wurde auch die in Abb. 2 dargestellte Karte mit den Globalstrahlungen für alle Gebiete in Deutschland. Sie stellt die Aussagen der o. g. Zahlen grafisch dar.

## Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland Jahressummen 2013



Wissenschaftliche Bearbeitung:  
 DWD, Abt. Klima- und Umweltberatung, Pf 30 11 90, 20304 Hamburg  
 Tel.: 069 / 8062 6022; eMail: klima.hamburg@dwd.de



Abb. 2: Globalstrahlung in Deutschland 2013

## 2.3 Erträge

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

### 2.3.1 Statistische Verteilung

Vorauszuschicken ist wieder, dass entsprechend einem Entwurf der Norm „DIN 61836 Photovoltaische Solarenergiesymbole – Begriffe, Definitionen“ die Einheit WP nicht mehr verwendet wird, Leistungen werden in W angegeben.

Zunächst ist der Begriff des spezifischen Ertrages zu erklären. Man erhält ihn ganz einfach, indem man die erzeugte Energie durch den Wert der Nennleistung der Photovoltaikanlage teilt. Wurden beispielsweise 1001 kWh erzeugt und beträgt die Nennleistung 1,1 kW, so bestimmt sich der spezifische Ertrag zu  $1001 \text{ kWh} / 1,1 \text{ kW} = 910 \text{ kWh/kW}$ .

Der spezifische Ertrag der Anlagen im Gesamtgebiet vom Norden bis in den Süden Deutschlands lag im Jahr 2013 bei durchschnittlich 722 kWh/kW und damit nochmals niedriger als schon im Jahr 2012 mit 770 kWh/kW. Das Spitzenjahr 2003 mit 892 kWh/kW wurde somit in den vergangenen 10 Jahren nicht überboten. Unter dem spezifischen Ertrag 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.

Abb. 3 zeigt für das Jahr 2013 die spezifischen Energieerträge aller Anlagen für die Messprotokolle vorlagen und für welche sich sinnvolle Werte ergaben – über die Anzahl der Anlagen. War ersichtlich, 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, s. Kap. 2.1.

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

Die meisten Anlagen liegen im Bereich von 600 - 900 kWh/kW. Maximale Erträge reichen über 1100 kWh/kW. Gründe für schlechte Erträge von 0 - 500 kWh/kW, sind oft Verschattungen oder Defekte der Wechselrichter. Anlagen mit hohen Erträgen über 900 kWh/kW 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.

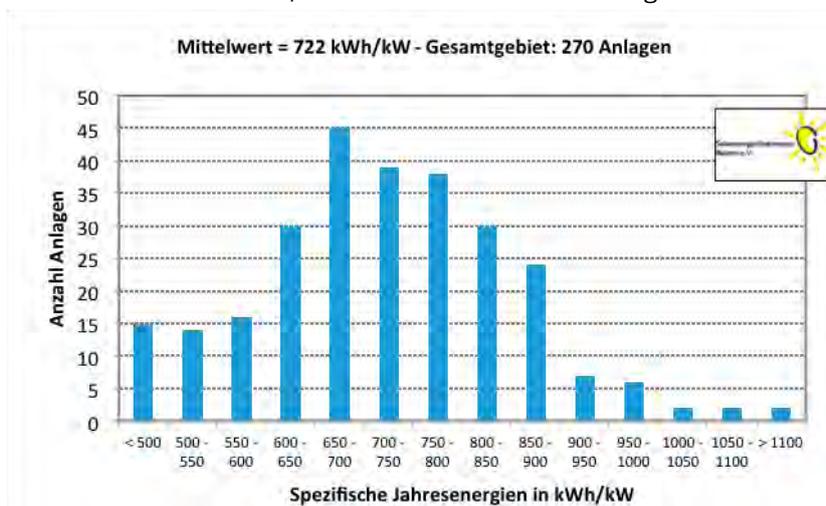


Abb. 3: Verteilung des spezifischen Ertrages im Gesamtgebiet 2013

Sonne in der Schule – Betriebsbericht 2013

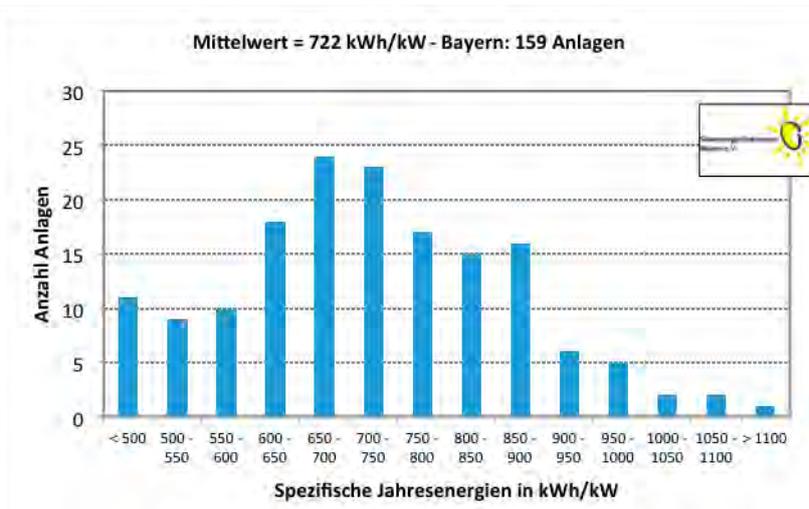


Abb. 4: Spezifische Erträge in Bayern

Aussagen über die Verteilung der spezifischen Energieerträge in den einzelnen Bundesländern zeigen die neben stehenden Abb. 4, 5 und 6. 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.

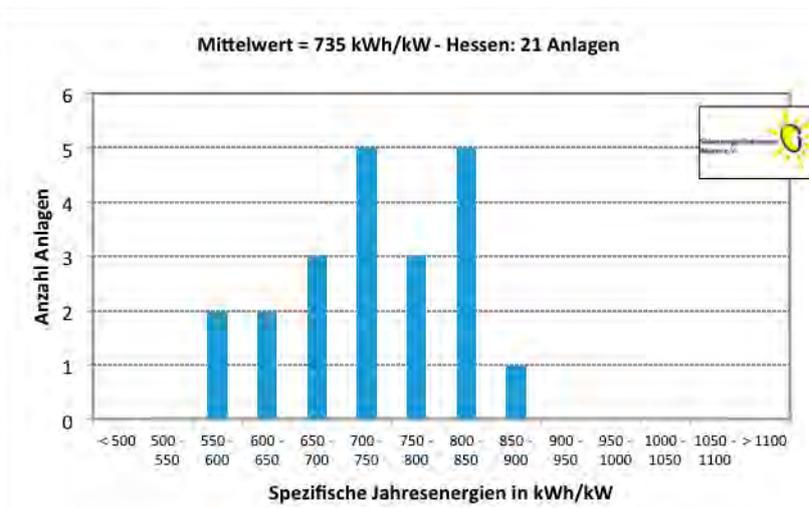


Abb. 5: Spezifische Erträge in Hessen

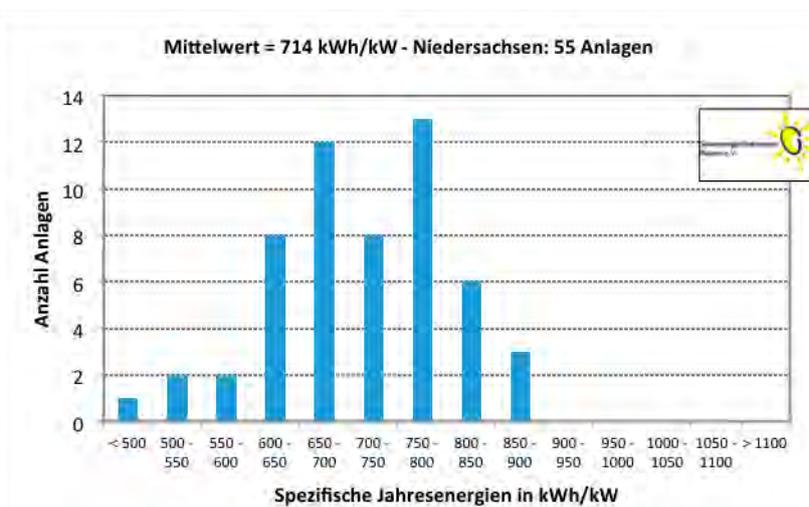


Abb. 7: Spezifische Erträge in Niedersachsen

Zahlenwerte zur Anzahl aller Anlagen in allen Bundesländern und den Mittelwert aller Erträge zeigt Tab. 3.

Bundesland	Anzahl Anlagen mit nutzbaren Datensätzen 2013	Mittelwert spezifischer Ertrag 2013 kWh/kW	Veränderung des Ertrages gegenüber 2012
Bayern	159	722	- 8,6 %
Hessen	21	735	- 5,8 %
Niedersachsen	55	714	- 3,9 %
Schleswig-Holstein	19	713	2,4 %
Brandenburg	4	765	- 7,2 %
Mecklenburg- Vorpommern	4	765	- 8,3 %
Nordrhein-Westfalen	4	702	- 8,6 %
Sachsen-Anhalt	1	689	- 13,8 %
Bremen	2	562	- 8,9 %
Sonstige (Rheinland-Pfalz, Thüringen)	1	0	./..
<b>Gesamtgebiet</b>	<b>270</b>	<b>722</b>	<b>- 6,2 %</b>

**Tab. 3:** Anzahl der Anlagen mit „nutzbaren Datensätzen“ und Mittelwert des spezifischen Ertrages mit der Veränderung gegenüber dem Vorjahr.

Bei der Bewertung der Tabelle ist zu beachten, dass mit wenigen Anlagen in manchen Bundesländern keine allgemeingültigen statistischen Aussagen zu treffen sind. Von einer kleinen Anzahl Anlagen kann nicht unbedingt auf das Verhalten aller geschlossen werden.

### 2.3.2 Betriebsstörungen und Nichtverfügbarkeiten

Nach längerem Betrieb kann es zu Störungen kommen. Zudem werden in Schulen oft Umbauarbeiten durchgeführt, weshalb die Photovoltaikanlage zeitweise nicht verfügbar ist. Tab. 4 zeigt dazu den langjährigen Verlauf von Störungen.

Tab. 4 zeigt, dass sich die Störungsmeldungen auch 2013 auf einem relativ hohen Niveau bewegen. Defekte Wechselrichter, fehlende Auslese-Software und Modulschäden sind die meist genannten Gründe hierfür. Der SeV bietet deshalb auch weiterhin in diesen Bereichen den Schulen Unterstützung an, um die Anlagen wieder ans Netz zu bringen.

Wird eine Störung des Betriebes der Photovoltaikanlage dem SeV gemeldet, können auf dieser Grundlage die notwendigen Schritte zur Beseitigung der Probleme eingeleitet werden. Als Beispiel sind die Maßnahmen zum Austausch defekter Wechselrichter zu sehen – Details im Kap. 4 „Betreuung“.

## Sonne in der Schule – Betriebsbericht 2013

Jahr	Messwerte geliefert von ... Anlagen	Genutzte Messwerte, d. h. Anlagen ohne Störung	Anzahl der Anlagen mit Störung	Anzahl der Anlagen mit Störung
			absolut	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 %
2008	507	390	117	23,1 %
2009	524	370	154	29,4 %
2010	462	321	141	30,5 %
2011	469	309	160	34,1 %
2012	437	295	142	32,5 %
2013	372	270	102	27,4 %

Tab. 4: Langjährige Daten zu Betriebsstörungen und Nichtverfügbarkeiten

### 2.3.3 Erträge einzelner Schulen

Beispielhaft zeigen die Abb. 7, 8, 9 und 10 den Verlauf der monatlichen spezifischen Energieerträge von vier Schulen in Bayern, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg. Als Linie ist der monatliche Mittelwert aller Schulen mit nutzbaren Daten dargestellt.

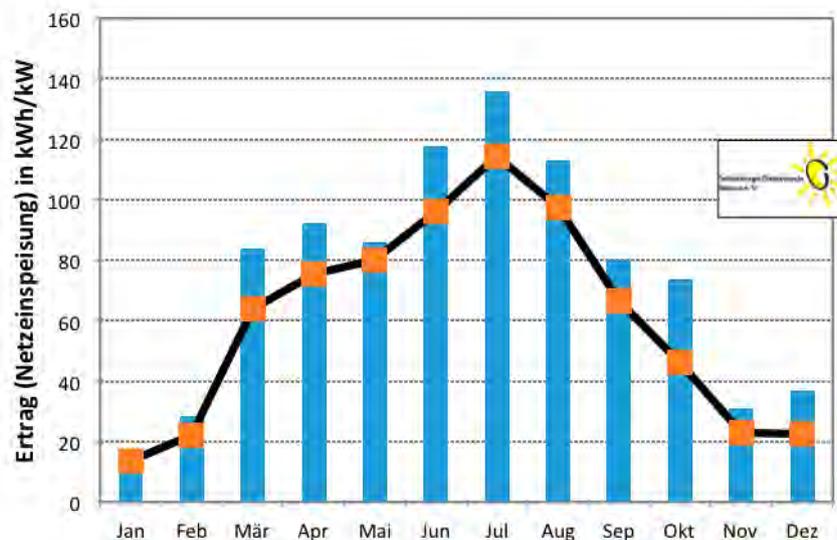


Abb. 7: Schule in Bayern - spezifischer Jahresertrag 895 kWh/kW

Sonne in der Schule – Betriebsbericht 2013

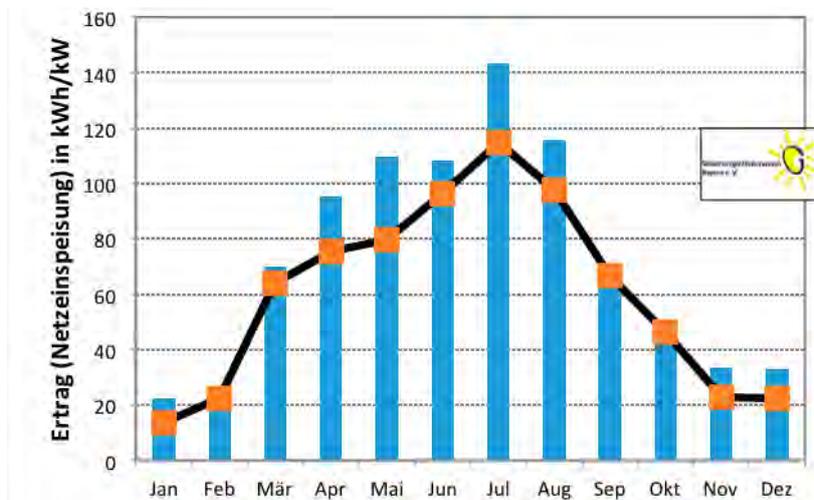


Abb. 8: Schule in Schleswig-Holstein - spezifischer Jahresertrag 869 kWh/kW

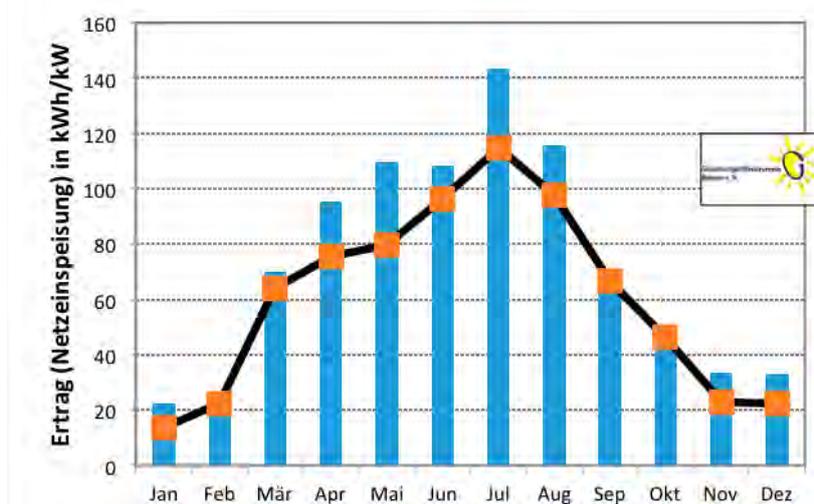


Abb. 9: Schule in Mecklenburg-Vorpommern - spezifischer Ertrag 832 kWh/kW

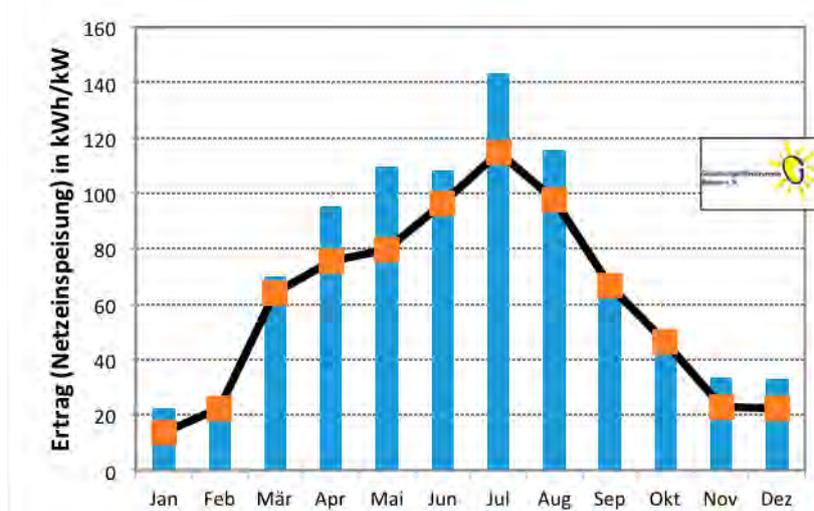


Abb. 10: Schule in Brandenburg - spezifischer Ertrag 819 kWh/kW

### 3 Betreuung

117 Schulen haben im Jahr 2013 den SeV außerhalb der Datenübermittlung kontaktiert um technische Probleme zu lösen oder anderweitige Fragen im Bereich der erneuerbaren Energien zu klären. Ein Defekt am Wechselrichter war die häufigste „Fehlermeldung“. Moduldefekte schlossen sich an oder es fehlte eine geeignete Software zum Auslesen der Erträge.

In all diesen Fällen bot und bietet der SeV seine Unterstützung an. Im Falle von Siemens-Modulen kann meist auf den Modul-Pool des SeV zurückgegriffen werden. Den Schulen werden Ersatzmodule zugeschickt, nur der Einbau muss von der Schule durchgeführt werden, Kosten für die Module entstehen keine. Bei defekten Kyocera-Modulen hat sich Kyocera auch im Jahr 2013 kulant gezeigt und den Schulen kostenfrei neue Module überlassen. Auch bei diesem Vorgang unterstützt der SeV die Schulen.

Neben diesen Problemen gibt der SeV Rat und Tat bei Fragen der Visualisierung, bei Softwareproblemen und was mit der Photovoltaikanlage nach einem Abbau geschehen soll. Bürgerbeteiligungsanlagen oder auch Photovoltaikanlagen von privaten Betreibern werden immer öfter auch auf Schuldächern montiert, so dass die Sonne in der Schule-Anlage manchmal in diese integriert wurde. Diese Schulen nehmen noch teilweise am Programm teil.

#### 3.1 Wechselrichter

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 nach finanziellen Möglichkeiten – unterstützt werden. Der SeV will Hilfe zur Selbsthilfe geben. Der häufigste Störfall ist der Ausfall des Wechselrichters. Hier sind zwei wesentliche Fälle zu unterscheiden, je nachdem ob die Anlage aus den früheren Programmen **Sonne in der Schule** (SPN1000-Wechselrichter) oder **SONNEonline** (SMA-Wechselrichter) stammt.

##### 3.1.1 Schulen mit Wechselrichter SPN1000

Meldet eine bayerische Schule den Defekt eines Wechselrichters Siemens SPN1000, wird durch den SeV der Kontakt zu folgendem Unternehmen hergestellt:

**Solar- und Elektrotechnik Ralf Kühlwein**

Elektromeister - Solarteur\*

80937 München

Josef-Ressel-Str. 16a

[www.spn1000.de](http://www.spn1000.de)

Herr Kühlwein setzt sich dann mit dem betreuenden Lehrer/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 übernimmt der SeV, für die Schulen fallen nur einmal Versandkosten an. Erfahrungsgemäß kann die Reparatur einige Zeit in Anspruch nehmen, besonders wenn spezielle elektronische Bauelemente zu beschaffen und auszutauschen sind. Sollte eine Reparatur nicht möglich sein, so wird in Absprache mit dem SeV ein anderer Weg gefunden werden.

### 3.1.2 Schulen mit Wechselrichter Sunny Boy

Die ehemaligen **SONNEonline**-Schulen sind i.d.R. mit dem Wechselrichter Sunny Boy SWR 850 des Herstellers SMA ausgerüstet. Da die Herstellung dieses Wechselrichtertyps eingestellt wurde und somit keine Austauschgeräte mehr zur Verfügung stehen, wird der SeV versuchen, einen neuen Wechselrichter zur Verfügung zu stellen. Dies ist allerdings in den meisten Fällen mit einer Umverkabelung verbunden. Die Schulen melden den Defekt des Wechselrichters an den SeV. Dieser wird die Verbindung zu einer Fachfirma herstellen, die dann der Wechselrichtertausch organisiert. Der SeV bezuschusst auch diesen Austausch.

### 3.1.3 Schulen mit sonstigen Wechselrichtern

Sind andere Fabrikate (z. B. Fronius) von Wechselrichtern eingebaut und kommt es zu Störungen, so wird der SeV bei Störungen individuell helfen.

## 3.2 Solarsupport für Schulen

Hingewiesen werden soll auf ein Programm außerhalb des SeV. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit fördert weiterhin die Visualisierung regenerativer Energiesysteme an Schulen. Die folgende Website gibt Informationen:

[http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare\\_energien/visualisierung/](http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/visualisierung/)

Der Zuschuss beträgt höchstens 2400 Euro. Der Antrag ist auf einem besonderen Antragsformular (siehe unter Formulare) innerhalb von sechs Monaten nach Inbetriebnahme der Visualisierungsmaßnahme zu stellen.

## 3.3 Unterrichtshilfen

Interessant für die Lehrkräfte, die das Programm **Sonne in der Schule** begleiten könnte weiterhin sein, dass das Unabhängige Institut für Umweltfragen in Berlin auf seiner Internetseite <http://www.ufu.de> Unterrichtshilfen für den Bereich der regenerativen Energien für die verschiedensten Klassenstufen zur Verfügung stellt. Die Downloads sind zu finden unter: <http://www.ufu.de/de/solarsupport/downloads-solarsupport.html>

## 4 Preise für Abgabe der Messdaten

281 Schulen haben bis zum 15. Februar 2014 die Messdaten der Photovoltaikanlage vom Jahr 2013 an den SeV übermittelt. Unter diesen Schulen wurden jeweils 100 EUR, also insgesamt 4 x 100 EUR verlost. Folgende Schulen erhalten diesen Betrag:

- Grundschule Breitenberg
- Paula-Modersohn-Schule Bremerhaven
- Realschule Geisenfeld
- Walther-Rathenau-Gymnasium mit Realschule Schweinfurt

## 5 Untersuchungen zum Langzeitverhalten der Anlagen

Zahlreiche Photovoltaikanlagen aus **Sonne in der Schule** haben 20 Jahre Betriebsdauer erreicht oder werden dies demnächst tun. Um Aussagen zum Langzeitverhalten der Anlagen zu erhalten, hat der SeV das auf Solarenergie spezialisierte Ingenieurbüro BEC-Engineering GmbH beauftragt, Messungen an Photovoltaikanlagen aus **Sonne in der Schule** in Forchheim, Coburg, Würzburg, Bayreuth, Braunschweig und Kassel durchzuführen. Bei den Messungen handelt es sich um Leistungsmessungen sowie Elektrolumineszenzaufnahmen der Einzelmodule mit einem mobilen Testcenter. Außerdem wurden detaillierte visuelle Inspektionen der Anlagenkomponenten durchgeführt.

### 5.1 Situation vor Ort

Die Abb. 11 bis 18 zeigen die vielfältigen Einbausituationen der Module sowie einige Wechselrichter an den besuchten Schulen.



Abb. 11: Module Forchheim



Abb. 12: Module Coburg



Abb. 13/14: Module und Wechselrichter Würzburg



Abb. 15: Module Bayreuth



Abb. 16: Module Braunschweig



Abb. 17/18: Module und WechselrichterKassel

## 5.2 Technische Bewertung der Anlagen

Alle sechs Anlagen und deren Komponenten wie Module, Wechselrichter, Anschlusskästen und Verkabelung wurden visuell inspiziert und mit Fotos dokumentiert. Die Anlagen befinden sich in einem allgemein guten Zustand, werden aber teilweise durch umstehende Bäume, Blitzschutzstangen oder andere Objekte verschattet. Die Montagegestelle sind fachgerecht installiert und angebracht. Verschraubungen sind vereinzelt korrodiert und angerostet. Die Verkabelung ist zumeist sauber angebracht. Eine Anlage steht teilweise in einer kleinen Senke, in der sich Wasser ansammelt, Kabel liegen dadurch teilweise im Wasser. Ein defektes Modul wurde durch ein funktionstüchtiges ersetzt. Oft sind die Module verschmutzt, was nach solch langem Betrieb normal ist.

## 5.3 Leistungsmessungen

Zur Leistungsmessung wurden Kennlinienmessungen mit einem mobilen Testcenter für Photovoltaikmodule durchgeführt. Die Module entstammen aus den sechs unterschiedlichen Photovoltaikanlagen und wurden zuerst aus den bestehenden Anlagen demontiert, weitest möglich gereinigt und dann vermessen, anschließend wieder montiert. Die Ergebnisse der Leistungsvermessung sind in Tab. 5 zusammengefasst.

Modul	Anzahl	Mittlere Leistung /W	Relative Abweichung vom Datenblatt /%
Siemens SM55 53 W	20	47,2	- 10,9
Siemens SM55 53 W	20	47,1	- 11,1
Siemens M110-24	10	97,8	- 11,1
Siemens SM55 55 W	20	43	- 21,8
Kyocera KC 120-1	9	108,7	- 9,4
Kyocera KC 120-1	9	113,6	- 5,3

Tab. 5: Ergebnisse der Leistungsvermessung (Messunsicherheit +/- 5 %)

#### 5.4 Elektrolumineszenzuntersuchungen

Elektrolumineszenzuntersuchungen ermöglichen es, Schäden zu sehen, die mit dem bloßen Auge nicht erkennbar sind. Bereits im Bericht für das Jahr 2012 wurde der Begriff der Elektrolumineszenz erwähnt. Hier nochmals die Erklärung. Eine photovoltaische Solarzelle ist nichts anderes als eine Halbleiter-Diode. Dioden können in „Vorwärtsrichtung“ durch die Absorption des Sonnenlichtes – also der Globalstrahlung – eine elektrische Gleichspannung erzeugen. In „Rückwärtsrichtung“ funktionieren diese Dioden wie eine Leuchtdiode, sie emittieren schwache Strahlung im Nahinfrarotbereich. Alle Zellen, die in Vorwärtsrichtung fehlerhaft sind, sind auch in Rückwärtsrichtung fehlerhaft.

Die Elektrolumineszenz an fehlerhaften Stellen wird mit entsprechenden Sensoren bzw. einer entsprechenden Kamera aufgenommen. Da fehlerhafte photovoltaische Solarzellen nicht leuchten, können diese mit der Aufnahme erkannt werden.

Die Anzahl an Mikrorissen der Module des Herstellers Siemens bewegt sich in normalem bzw. – in Anbetracht des Alters – in sehr gutem Rahmen. Die untersuchten Module des Herstellers Kyocera zeigen eine äußerst hohe Anzahl an Mikrorissen. Dies kann zu einer beschleunigten Alterung, der Ausbreitung von Hotspots bis zum Ausfall einzelner Module führen. Darüber hinaus zeigen die Module des Typs Siemens teilweise Delaminationen und Ablösungen des Lötzinns auf den Zellverbindern.

#### 5.5 Weiterer Betrieb

Die Untersuchungen der beispielhaften sechs Photovoltaikanlagen nach fast 20 Jahren Betrieb zeigen einen guten technischen Zustand. Auch in den nächsten Jahren können sie sicher noch weiter betrieben werden.

### 6 Zusammenfassung und Ausblick

Der erzielte mittlere spezifische Ertrag aller Anlagen ohne wesentliche Betriebsunterbrechungen lag im Jahr 2013 bei 722 kWh/kW und damit wiederum unter dem Niveau des Vorjahres. Der geringere Ertrag ist zum Teil sicher durch die niedrigere Sonnenscheindauer besonders im Süden Deutschlands bedingt.

Wichtig ist aber nach wie vor eine zuverlässige Betreuung der Anlage, um bei Ausfällen von Komponenten der Photovoltaikanlage sofort reagieren zu können und so den Minderertrag zu minimieren. Der Solarenergieförderverein Bayern bietet dafür auch in den kommenden Jahren die Unterstützung an. Nehmen Sie sie in Anspruch! Danke schön!

Die durchgeführten Langzeituntersuchungen an einigen Photovoltaikanlagen aus **Sonne in der Schule** zeigen, dass die Anlagen trotz ihres Alters von demnächst 20 Jahren in einem technisch guten Zustand sind. Daher möchte der SeV **Sonne in der Schule** auch in den nächsten Jahren fortführen und dabei die Schulen bei der Ausbildung im Bereich der erneuerbaren Energien weiterhin unterstützen!

## 7 Anhang: Überschlägige Bestimmung des Ertrages

Tab. 2 gibt die Globalstrahlungen auf eine waagrechte Fläche an verschiedenen Orten im Gebiet **Sonne in der Schule** für das Jahr 2013 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 2013 in Würzburg betrug 1092 kWh/m<sup>2</sup>. Wie oben dargestellt, liegt die Globalstrahlung auf eine nach Süden orientierte und optimal geneigte Fläche der Neigung von 25 - 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 1223 kWh/m<sup>2</sup>.
- Die Photovoltaikanlage ist aus 20 Modulen Siemens M55 der Nennleistung 55 W aufgebaut. Die Fläche eines Moduls beträgt 0,4254 m<sup>2</sup>, die gesamte Fläche aller Module beträgt damit 8,51 m<sup>2</sup>. Die Gesamtleistung liegt bei 1,1 kW. 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 (älteren) Module im Jahr 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 der (älteren) Wechselrichter kann etwa 90 % erreichen. Hierin sind auch sonstige Verluste wie etwa in den Kabeln beinhaltet.
- Damit ergibt sich die in das Netz eingespeiste jährliche Energie mit dem Formelzeichen W:

$$W = 1223 \text{ kWh/m}^2 \cdot 8,51 \text{ m}^2 \cdot 10 \% \cdot 90 \% = 937 \text{ kWh}$$

Der spezifische Ertrag bestimmt sich zu 937 kWh/1,1 kW = 852 kWh/kW. Gründe für Abweichungen sind begründet im Einfluss der Umgebungstemperatur, Verschattung, Neigungswinkel, Einbausituation etc. Simulationssoftware wie PVSOL und PVSYST ermöglicht eine genauere Bestimmung des zu erwartenden Ertrages.