

Solarenergieförderverein  
Bayern e.V.

Bavarian Association for the Promotion  
of Solar Energy



# SONNE IN DER SCHULE

Betriebsbericht

2016

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1	Programm „Sonne in der Schule“	3
1.2	Aufbau dieses Berichts	3
<b>2</b>	<b>Auswertung der Betriebsdaten</b>	<b>4</b>
2.1	Datenbasis	4
2.2	Meteorologische Daten des Jahres 2016	5
2.2.1	Charakterisierung	5
2.2.2	Globalstrahlung	6
2.3	Erträge der Photovoltaikanlagen	7
2.3.1	Statistische Verteilung	7
2.3.2	Betriebsstörungen und Nichtverfügbarkeiten	10
2.3.3	Erträge einzelner Schulen	11
<b>3</b>	<b>Betreuung</b>	<b>12</b>
3.1	Durchgeführte Maßnahmen	12
3.2	Defekte Wechselrichter	13
3.2.1	Schulen mit Wechselrichter SPN1000 – in Bayern	13
3.2.2	Schulen mit Wechselrichter Sunny Boy – alle anderen Bundesländer	13
3.2.3	Schulen mit sonstigen Wechselrichtern	14
3.3	Förderung einer Visualisierung	14
3.4	Unterrichtshilfen	14
<b>4</b>	<b>Wettbewerb, Preise und Treffen in München</b>	<b>14</b>
4.1	Wettbewerb „Sonne, Wolken und die PV-Anlage ‚Sonne in der Schule‘“	14
4.2	Abgabe der Messdaten	15
4.3	Treffen von ‚Sonne in der Schule‘-Teilnehmern in München	15
<b>5</b>	<b>Speicher für Photovoltaikanlagen in Haushalten</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>18</b>

## 1 Einleitung

### 1.1 Programm „Sonne in der Schule“



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

Vor über 20 Jahren haben namhafte deutsche Energieversorger Photovoltaik (PV)-Anlagen – Nennleistung etwa 1 kW – an fast 1000 Schulen gespendet. Damit sollte Schülern der Einstieg in die regenerativen Energien nahe gebracht werden, aber Ziel war auch langjährige Betriebserfahrungen über die Anlagen zu gewinnen.

Seit 2001 führt der Solarenergieförderverein Bayern e.V. – kurz SeV – das Programm fort. Um einen kontinuierlichen Betrieb zu gewährleisten, werden die Schulen mit einer PV-Anlage aus „Sonne in der Schule“ betreut. Dies bedeutet, dass bei Defekten an der PV-Anlage Unterstützung gegeben wird. Dies kann ein Zuschuss zur Reparatur und der Austausch eines defekten Wechselrichters sein, es kann auch bedeuten, dass der SeV die Kosten für einen Fachmann vor Ort übernimmt oder telefonische Unterstützung leistet. In allen Fällen wird versucht zu helfen.

„Sonne in der Schule“ hat auch 2016 umfangreiches, nützliches Datenmaterial und zahlreiche Erfahrungen

zum Betrieb von PV-Anlagen geliefert. Das große Engagement der Lehrer und Lehrerinnen, Hausmeister und Schülergruppen der teilnehmenden Schulen hat dies ermöglicht. „Sonne in der Schule“ zeigt, dass PV-Anlagen über Jahrzehnte stabil und zuverlässig betrieben werden können. Die entsprechenden Auswertungen der langjährigen Betriebserfahrungen werden z. B. auf Tagungen präsentiert.

Der SeV bezieht seine finanziellen Mittel aus dem Verkauf der elektrischen Energie, die von der 1-MW-PV-Anlage „Solardach München-Riem“ auf der Messe München erzeugt wird. Die finanziellen Erträge werden zur Unterstützung verschiedenster Projekte, schwerpunktmäßig der Photovoltaik, verwendet. Hierzu gehört auch „Sonne in der Schule“.

### 1.2 Aufbau dieses Berichts

Der Bericht enthält nach dem einleitenden Kapitel 1 folgende Abschnitte:

- In Kapitel 2 werden die übermittelten, aussagekräftigen Betriebsdaten evaluiert und es wird ein Überblick über die meteorologischen Daten wie die Erträge der PV-Anlagen aus „Sonne in der Schule“ des Jahres 2016 gegeben.
- Im Kapitel 3 wird die Betreuung der Anlagen dargestellt. Im Fall von Störungen

können die Schulen Unterstützung durch den SeV erhalten. Zusätzlich werden Informationen über die Förderung der Visualisierung und über Unterrichtshilfen gegeben.

- Im Kapitel 4 werden der Wettbewerb „Sonne, Wolken und die PV-Anlage ‚Sonne in der Schule‘“ beschrieben, die Schulen genannt, die die ausgelobten 100 € für die frühzeitige Datenabgabe erhielten und es wird über das Treffen von rund 50 Teilnehmern aus „Sonne in der Schule“ in München berichtet.
- Kapitel 5 gibt einen Überblick über den neuesten Stand der Speichermöglichkeiten von photovoltaisch gewonnener Energie.
- Kapitel 6 fasst die Ergebnisse zusammen.

## 2 Auswertung der Betriebsdaten

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. 291 Schulen meldeten für das Jahr 2016 die Betriebsdaten der PV-Anlage. Diese Betriebsdaten bilden die Datenbasis für die Auswertungen bezüglich der Erträge und der Ausfälle.

### 2.1 Datenbasis

	Anzahl Schulen		
	Auswertung für 2016	Auswertung für 2015	Änderung
Basisdaten vorhanden von	663	687	- 3,5 %
Messdaten erhalten von	291	309	- 5,8 %
Anlagen ohne Betriebsunterbrechung	184	202	- 8,9 %

Tab. 1: Statistik des Rücklaufs der Betriebsdaten im Jahr 2016 und 2015

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 PV-Anlagen gebaut, die kleinere Anlage aus „Sonne in der Schule“ wurde in diese integriert oder abgebaut.
- Leider mussten auch im Jahr 2016 Schulen aus dem Programm genommen werden, da sie im laufenden Schulbetrieb keine Kapazität für die Betreuung mehr haben.

Aktuell hat der SeV von 291 Schulen Messdaten erhalten, was einer Rücklaufquote von 43,9 % entspricht, bezogen auf die 663 Schulen, die sich aktuell in der Datenbank von „Sonne in der Schule“ befinden.

In Zeile 3 der obigen Tabelle sind die „Anlagen ohne Betriebsunterbrechung“ dargestellt:

- Der praktische Betrieb der PV-Anlagen zeigt, dass ein gewisser Prozentsatz stets nicht verfügbar ist, etwa wegen Bauarbeiten oder längerfristiger Störungen.
- Statistisch gesehen, verursachen nach einem Zeitraum von ca. 8 bis 15 Jahren ab Inbetriebnahme besonders viele Wechselrichter aus der Anfangszeit der Photovoltaik zeitweise Stillstände und Ausfälle. Heute installierte Wechselrichter zeigen längere störungsfreie Betriebszeiten.

- Für die Auswertung wurden Anlagen nicht berücksichtigt, bei denen erkennbar eine länger als drei Monate andauernde Betriebsunterbrechung bzw. eine entsprechende Fehlermeldung vorlag oder der spezifische jährliche Ertrag 500 kWh/kW unterschritt.

### 2.2 Meteorologische Daten des Jahres 2016

Der Ertrag von Photovoltaikanlagen, also die erzeugte elektrische Energie, hängt naturgemäß ganz wesentlich von der eingestrahnten Solarenergie, bezeichnet als Globalstrahlung, ab. Aber auch die Modultemperatur, die wesentlich von der Umgebungstemperatur beeinflusst wird und auch 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 – 0,5 % weniger Leistung pro Grad Temperaturzunahme ab. Andererseits steigt der Ertrag bei kühleren Umgebungstemperaturen und entsprechender Globalstrahlung.

#### 2.2.1 Charakterisierung

2016 brachte keine neuen Temperaturrekorde, war aber mit einem Plus von 1,4 °C deutlich zu warm. Im ersten Halbjahr war an zahlreichen Stationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) schon mehr Niederschlag gemessen worden, als im ganzen Jahr 2015. Das zweite Halbjahr war zu trocken.

- Der Januar brachte große Witterungsunterschiede, war insgesamt mild, feucht und sonnig, mit einer Sonnenscheindauer, die mit etwa 48 Stunden um 10 % über ihrem Soll lag. Der Februar wurde wieder mild, brachte viel Regen, aber mit nur rd. 60 Stunden wenig Sonne. Der März begann mit niedrigeren Temperaturen, wurde zum Monatsende aber wärmer. Auch in diesem Monat war die Sonnenscheinbilanz leicht negativ – 100 Stunden.
- Der April wurde „typisch“ – frühlommerliche Temperaturen, aber auch deutlich zu kalt. Die Sonne schien durchschnittlich rd. 155 Stunden. Der Mai brachte im Süden viel Regen, im Nordosten war er sehr trocken. Heftige Gewitter mit Starkregen verursachten örtlich schwere Schäden. Die Sonne überstieg ihr Soll von 196 auf rd. 208 Stunden. Der Juni bot viele Unwetter mit Blitz, Donner und Starkregen auf und wurde erst im letzten Drittel hochsommerlich. Die Sonnenscheinbilanz war im Nordosten leicht positiv, im Süden deutlich negativ, durchschnittlich schien die Sonne 181 Stunden.
- Es folgte ein warmer, zu trockener und durchschnittlich sonniger Juli – 200 Stunden. Der August wurde viel zu trocken, mit einer Hitzewelle am Monatsende. Mit 223 Sonnenscheinstunden lag dieser Wert mit 13 % über dem Soll. Auch der September wurde erneut sehr trocken, extrem warm und sonnenscheinreich. Er gehört zu den vier wärmsten Septembermonaten seit 1881 und zählte mit 210 Stunden zu den sonnenscheinreichsten.
- Im Oktober war die Sonne dann dafür „kraftlos“ und konnte die wolkenreiche und meist kühle Luft nicht verdrängen. Es war der erste zu kalte Monat im Jahr 2016, die Sonne schien nur 109 Stunden. Der November wurde durchschnittlich kühl, aber sonnig. Die Sonnenscheindauer lag mit rund 60 Stunden gut 10 % über ihrem Soll. Das Jahr endete mit einem extrem sonnigen und außergewöhnlich trockenen Dezember. Mit 170 % seines Solls von 38 Stunden brachte es der Dezember auf 65 Sonnenscheinstunden. Am längsten zeigte sich die Sonne im Süden, mit knapp 150 Stunden!

### 2.2.2 Globalstrahlung

Die monatlichen Mittelwerte der Globalstrahlung 2016 wurden ermöglichen eine überschlägige Abschätzung des Ertrages einer PV-Anlage und sind besonders für Vergleiche des Ertrages in verschiedenen Regionen geeignet.

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	2016
Aachen	24	41	74	118	154	137	162	144	120	52	26	25	1076
Augsburg	28	39	89	112	152	162	184	163	118	58	30	24	1160
Berlin	20	34	67	121	175	181	155	142	117	39	25	15	1091
Bonn	22	39	71	109	152	146	156	145	116	49	26	22	1050
Braunschweig	20	37	68	127	170	167	157	141	109	41	24	18	1077
Bremen	18	38	71	115	163	157	161	127	103	45	22	14	1034
Chemnitz	26	38	63	122	158	165	162	154	108	34	30	24	1084
Frankfurt/Main	20	31	70	117	153	156	167	155	112	46	24	14	1066
Gießen	19	32	67	113	150	156	163	153	115	44	23	14	1049
Göttingen	19	35	65	119	162	159	154	146	108	39	22	17	1045
Hamburg	15	33	68	111	170	162	154	135	106	42	23	12	1033
Hannover	17	35	68	123	171	163	162	137	109	40	23	16	1065
Heidelberg	25	33	73	115	154	152	166	153	109	53	28	18	1078
Hof	24	31	65	120	154	152	157	156	109	42	27	22	1059
Kassel	19	34	62	116	158	152	152	144	108	40	23	16	1023
Kiel	15	32	66	107	171	165	150	139	106	42	24	12	1028
List auf Sylt	16	40	73	118	171	170	166	142	107	46	23	12	1083
München	32	44	91	120	155	163	178	160	121	60	35	29	1187
Nürnberg	25	34	77	121	164	161	170	162	116	53	31	20	1133
Regensburg	27	38	82	124	161	161	167	162	120	54	29	18	1145
Rostock	17	36	70	124	178	183	147	144	105	35	24	13	1076
Stralsund	18	37	68	121	191	183	152	139	108	36	25	14	1090
Weihenstephan	29	44	89	122	157	164	177	165	122	61	32	23	1183
Würzburg	23	33	74	126	159	160	167	158	111	51	29	16	1107

Tab. 2: Monatliche Werte der Globalstrahlung 2016 - auf eine waagrechte Fläche - in kWh/m<sup>2</sup> für verschiedene Orte im Gebiet von **Sonne in der Schule** (Quelle: DWD, aus „Sonnenergie“)

Es sind deutliche Unterschiede zu erkennen. Die höchste Globalstrahlung wurde in München gemessen, der geringste Wert in Kassel. Zwischen beiden Werten liegt eine Differenz von 16 %, bezogen auf den niedrigeren Wert.

In unseren Breiten werden Solarmodule geneigt aufgestellt. Ein der Sonne zugeneigter Solargenerator, der in einem Winkel der Module gegen die Waagrechte von 20 - 40° nach Süden ausgerichtet ist, erhält etwa 10 - 15 % mehr Globalstrahlung als die waagrechte Ebene. Der Aufstellwinkel hängt oft von den lokalen baulichen Gegebenheiten ab.

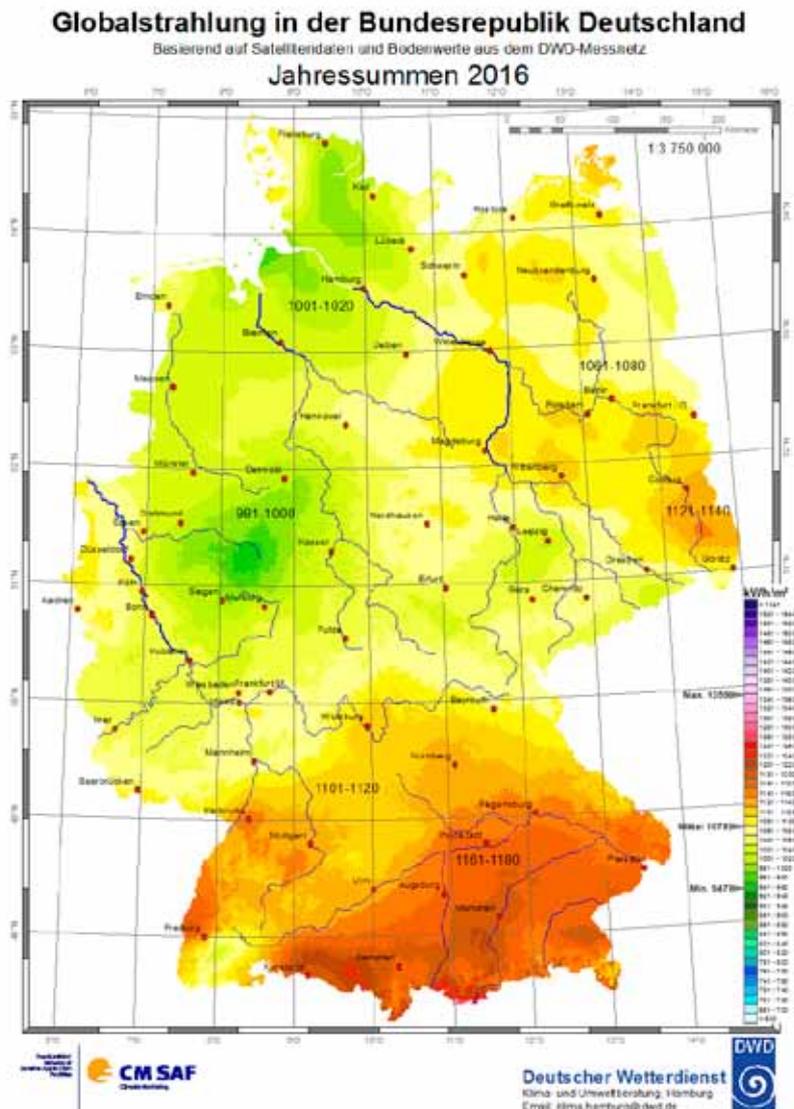


Abb. 2: Globalstrahlung in Deutschland 2016

Vom DWD bereitgestellt wurde Karte mit den Globalstrahlungen für alle Gebiete in Deutschland. Zu erkennen sind die hohen Globalstrahlungen im Süden von Bayern.

### 2.3 Erträge der Photovoltaikanlagen

Die per Internet oder Fax zugestellten Betriebsdaten zu den Erträgen der PV-Anlagen der Schulen wurden mit Hilfe entsprechender Software weiterverarbeitet und aufbereitet.

#### 2.3.1 Statistische Verteilung

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

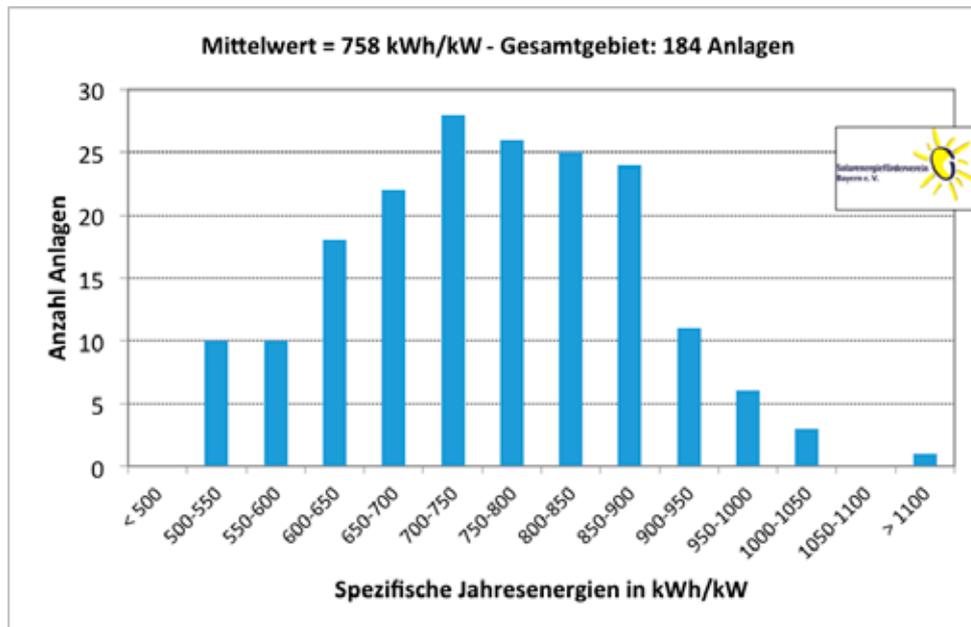


Abb. 3: Verteilung des spezifischen Ertrages im Gesamtgebiet 2016

Der spezifische Ertrag aller Anlagen im Gesamtgebiet vom Norden bis in den Süden Deutschlands lag im Jahr 2016 bei durchschnittlich 758 kWh/kW und damit unter dem Wert von 783 kWh/kW von 2015. Ein Grund ist das im Vergleich zum Vorjahr geringere Globalstrahlungsangebot. Als Vergleich zu erwähnen sind die Spitzenjahre 2003 mit 892 kWh/kW und 2011 mit 806 kWh/kW. 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 Angebots an Globalstrahlung, andere können aus bestimmten Gründen – z. B. Verschattung der Module – schlechter sein.

Bild 3 zeigt für das Gesamtgebiet im Jahr 2016 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. 2.1.

**Es sei nochmals betont, dass die dargestellten Erträge auf die Leistung 1 kW bezogen sind.**

Die meisten Anlagen liegen im Bereich der Erträge von 700 – 900 kWh/kW, maximal werden über 1000 kWh/kW erreicht. Gründe, dass Anlagen schlechte Erträge von 0 bis 500 kWh/kW liefern, sind nach der Erfahrung oft Verschattungen durch Bäume und Sträucher und 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 – wie dargestellt – mit steigender Temperatur schlechtere Erträge.

Aussagen über die Verteilung der spezifischen Energieerträge, beispielhaft in den Bundesländern Bayern, Hessen und Niedersachsen sind in Bild 4, Bild 5 und Bild 6

Sonne in der Schule – Betriebsbericht 2016

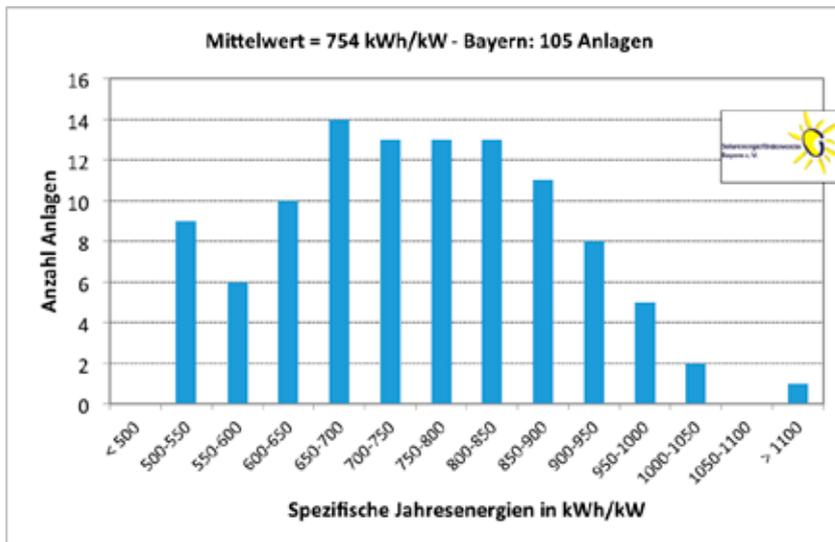


Abb. 4: Spezifische Erträge in Bayern 2016

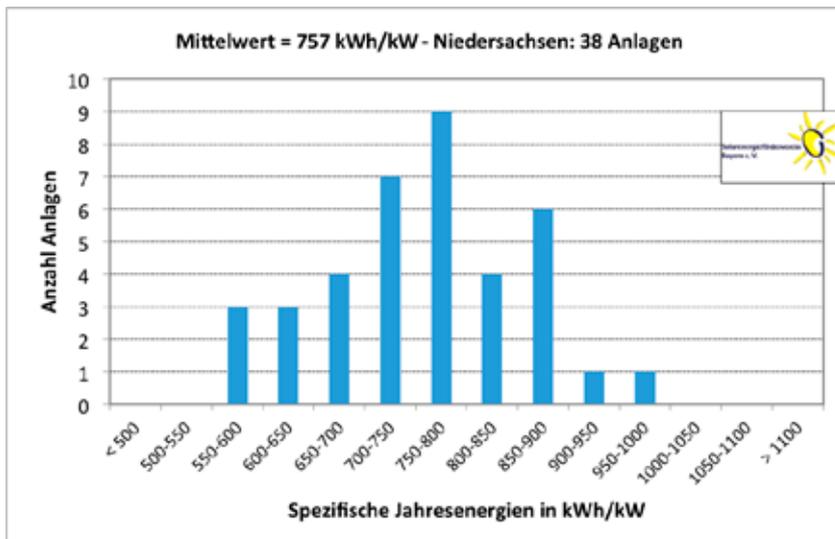


Abb. 5: Spezifische Erträge in Niedersachsen 2016

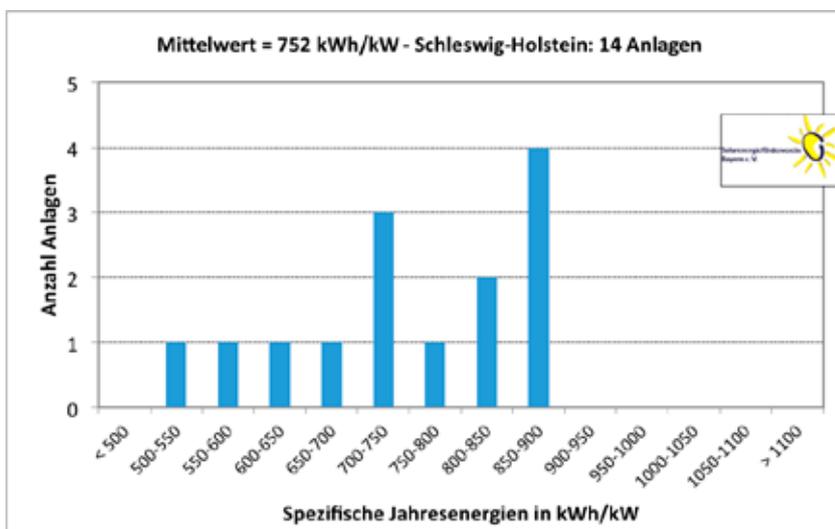


Abb. 6: Spezifische Erträge in Schleswig-Holstein 2016

Bundesland	Anzahl Anlagen mit nutzbaren Datensätzen 2016	Mittelwert spezifischer Ertrag 2016 kWh/kW	Veränderung des Ertrags gegenüber 2015
Bayern	105	754	- 4,1 %
Hessen	14	757	- 4,7 %
Niedersachsen	38	757	- 0,9 %
Schleswig-Holstein	14	752	- 1,6 %
Brandenburg	3	688	- 10,5 %
Mecklenburg- Vorpommern	4	889	5,1 %
Nordrhein-Westfalen	2	865	-3,1 %
Sachsen-Anhalt	2	801	- 7,5 %
Bremen	1	614	- 2,7 %
Thüringen	1	796	./.
<b>Gesamtgebiet</b>	<b>184</b>	<b>758</b>	<b>- 3,2 %</b>

**Tab. 3:** Anzahl der Anlagen mit „nutzbaren Datensätzen“ im Jahr 2016 und Mittelwert des spezifischen Ertrags mit der Veränderung gegenüber dem Vorjahr

dargestellt. Es ist zu bemerken, dass die Verteilung der spezifischen Energieerträge nur in den Bundesländern dargestellt ist, in denen eine größere Anzahl von nutzbaren Messdaten vorhanden war.

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

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, bei denen die Photovoltaikanlage zeitweise nicht verfügbar ist. Tabelle 4 zeigt dazu den langjährigen Verlauf von Störungen.

Tabelle 4 zeigt, dass sich die Störungsmeldungen 2016 weiterhin 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 dem SeV eine Betriebsstörung der PV-Anlage gemeldet, können die notwendigen Schritte zur Beseitigung der Probleme eingeleitet werden. Als Beispiel sind die Maßnahmen zum Austausch defekter Wechselrichter zu sehen – Details im Kapitel 4 „**Betreuung**“.

## Sonne in der Schule – Betriebsbericht 2016

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%
2014	335	225	110	32,8%
2015	309	202	107	34,6%
2016	291	184	107	36,8%

Tab. 4: Langjährige Daten zu Betriebsstörungen und Nichtverfügbarkeiten

### 2.3.3 Erträge einzelner Schulen

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

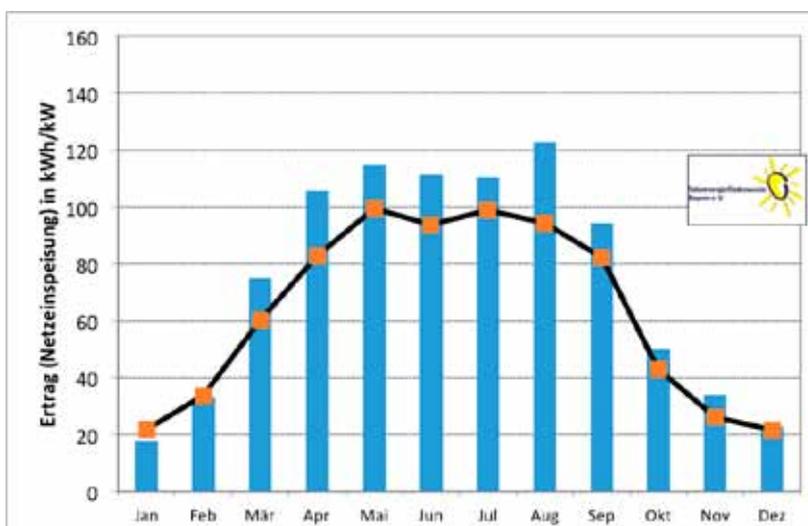


Abb. 7: Schule in Bayern (Franken) – spezifischer Jahresertrag 892 kWh/kW



Abb. 8: Schule in Mecklenburg-Vorpommern – spezifischer Jahresertrag 937 kWh/kW

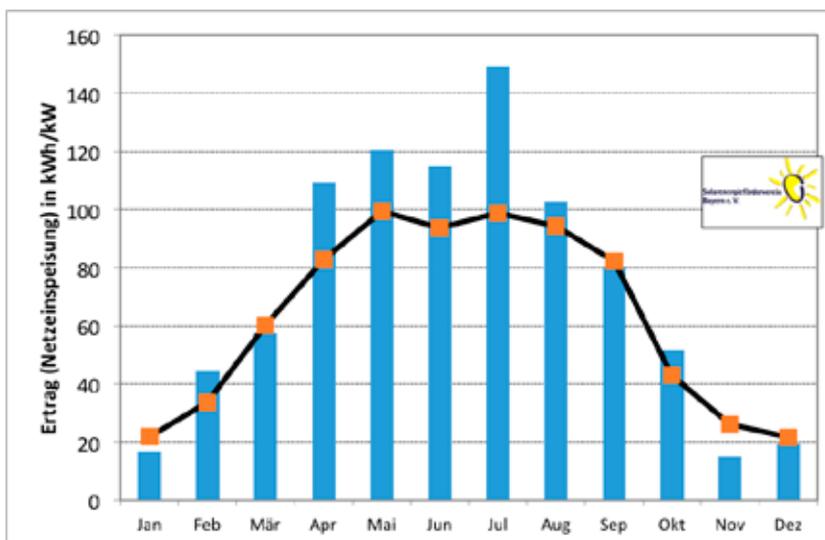


Abb. 9: Schule in Schleswig-Holstein – spezifischer Ertrag 882 kWh/kW

### 3 Betreuung

#### 3.1 Durchgeführte Maßnahmen

99 Schulen haben im Jahr 2016 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, das Fehlen einer geeigneten Software zum Auslesen der Erträge oder die Frage von neuen Betreuern der Anlage, wie die Erträge ausgelesen werden können, schlossen sich an.

In den vergangenen Jahren konnte bei defekten Siemens-Modulen auf einen Pool beim SeV zurückgegriffen werden. Diese Module sind inzwischen alle an die Schulen verteilt worden, die einen Moduldefekt gemeldet hatten. Bei Meldung von defekten Modulen wird sich der SeV um eine individuelle Unterstützung bemühen. Bei defekten Kyocera-

Modulen hat sich Kyocera auch im Jahr 2016 kulant gezeigt und einer Schule kostenfrei neue Module überlassen. Auch bei solchen Vorgängen unterstützt der SeV.

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 in diese integriert oder auch demontiert wurde. Diese Schulen nehmen noch teilweise am Programm teil.

### 3.2 Defekte 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 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 wesentliche Fälle zu unterscheiden, je nachdem ob die Anlage aus den früheren Programmen „Sonne in der Schule“ (Siemens SPN1000-Wechselrichter) oder „Sonne-Online“ (SMA SunnyBoy SWR 850-Wechselrichter) stammt.

#### 3.2.1 Schulen mit Wechselrichter SPN1000 – in Bayern

Die allermeisten Photovoltaikanlagen in Bayern sind mit Wechselrichtern Siemens SPN 1000 ausgerüstet. Meldet eine Schule den Defekt eines Siemens SPN 1000, wird durch den SeV der Kontakt zu dem folgendem qualifizierten Unternehmen hergestellt:

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

Herr Kühlwein setzt sich dann mit dem Betreuer 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.

#### 3.2.2 Schulen mit Wechselrichter Sunny Boy – alle anderen Bundesländer

Die ehemaligen „SONNEonline“ Schulen sind i. d. R. mit dem Wechselrichter Sunny Boy SWR 850 des Herstellers SMA ausgerüstet. Da SMA die Herstellung des Sunny Boy SWR 850 eingestellt hat, können diese nicht einfach ausgetauscht werden. Aktuell arbeitet der SeV mit einem Unternehmen zusammen, dass die alten SMA-Wechselrichter repariert. Sollte eine Reparatur nicht möglich sein, wird mit Hilfe des SeV versucht, den Schulen einen neuen Wechselrichter (Fronius Galvo 1.5) 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, von dieser wird dann der Wechselrichtertausch organisiert. Der SeV wird wie bisher auch diesen Austausch bezuschussen.

### 3.2.3 Schulen mit sonstigen Wechselrichtern

In wenigen Fällen sind weitere Fabrikate (z. B. Fronius) eingebaut. Kommt es zu Störungen, so wird der SeV individuell helfen.

### 3.3 Förderung einer Visualisierung

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle – BAFA – fördert die Visualisierung regenerativer Energiesysteme an öffentlichen Gebäuden und auch an verschiedenen Schulen. Unter dem Link:

[http://www.bafa.de/DE/Energie/Heizen\\_mit\\_Erneuerbaren\\_Energien/Visualisierung/visualisierung\\_node.html](http://www.bafa.de/DE/Energie/Heizen_mit_Erneuerbaren_Energien/Visualisierung/visualisierung_node.html)

werden das Programm und die dazu notwendigen Schritte – maximaler Zuschuss von 1200 €, Beginn erst nach Genehmigung durch das BAFA u. a. – für die Förderung angeführt.

### 3.4 Unterrichtshilfen

Das „Unabhängige Institut für Umweltfragen“ in Berlin stellt weiterhin über seine Website Unterrichtshilfen für den Bereich der regenerativen Energien für die verschiedensten Klassenstufen zur Verfügung. Die Downloads sind zu finden unter:

<http://www.ufu.de/de/solarsupport/downloads-solarsupport.html>

## 4 Wettbewerb, Preise und Treffen „Sonne in der Schule“

### 4.1 Wettbewerb „Sonne, Wolken und die PV-Anlage „Sonne in der Schule““

Es sollte der Zusammenhang zwischen Wolken und dem Ertrag der PV-Anlage erläutert werden. Diese Effekte sollten durch ein Video der Wolken und parallel der abgegebenen Leistungen/Energien der Photovoltaikanlage dokumentiert und kommentiert werden. Es sollten die Wolkensituationen mit Beschreibung der Wolkenart (Kumulus, Cirrus etc.) an möglichst drei verschiedenen Tagen mit verschiedenen Wolkensituationen beobachtet und im Video dargestellt werden. Die Interpretation der Beobachtungen sollte ebenfalls durch ein oder mehrere Sprecher im Video präsentiert werden. Am Beginn sollte ein kurzer Blick auf die Photovoltaikanlage stehen.

Eine Jury des SeV wertete die Einreichungen aus, der Rechtsweg ist ausgeschlossen. Leider nahmen an diesem Wettbewerb nur zwei Schulen teil.

Die König-Heinrich-Schule (Gymnasium) in Fritzlarn erhielt den ausgelobten 1. Preis in Höhe von 700 €. Das Humboldt-Gymnasium in Gifhorn erhielt für die zwei eingereichten Beiträge als Anerkennung jeweils 100 €.

Die Videos können unter folgenden Links aufgerufen werden:

[https://youtu.be/pzYSoG\\_6gXw](https://youtu.be/pzYSoG_6gXw)

<https://youtu.be/Lg9EBlymVn0>

<https://youtu.be/IAflaSHVyJA>

#### 4.2 Abgabe der Messdaten

222 Schulen haben bis zum 15. Februar 2017 die Messdaten des Jahres 2016 der Photovoltaikanlage an den SeV übermittelt. Unter diesen Schulen wurden 3 x 100 € verlost.

Folgende Schulen wurden gezogen:

- Georg-Christoph-Lichtenberg Schule, Kassel
- Alte Landesschule, Korbach
- Staatliche Fachoberschule, Straubing

Die Schulen wurden bereits informiert.

#### 4.3 Treffen von Teilnehmern aus dem Programm „Sonne in der Schule“ in München



Von 11. bis 12. November 2016 trafen sich auf Einladung des SeV wieder rund 50 engagierte Lehrer, Lehrerinnen und Hausmeister aus dem Programm „Sonne in der Schule“ zu einer Fortbildung in Sachen Photovoltaik und Erneuerbaren Energien sowie zum Erfahrungsaustausch. Das Treffen 2016 fand in München statt und begann um 14 Uhr in einem Tagungsraum des Hotels Sofitel, gleich am Hauptbahnhof von München gelegen. Da viele der Teilnehmer eine weite Anreise u. a. bis aus Husum hatten, war auch für das leibliche Wohl bei der Ankunft gesorgt.



Nach der Begrüßung durch den Vorstandsvorsitzenden des SeV, Dr. Bruno Schiebelsberger, berichtete Vorstand Prof. Dr. Gerd Becker über den aktuellen Stand der Photovoltaik und die Perspektiven. Fabian Flade vom Büro des SeV, Christian Vodermayer von ECOLution Engineers und Monika Becker – Organisation der Betreuung) standen für Fragen zur Betreuung des Programms „Sonne in der Schule“ zur Verfügung.



Mit besonders großem Interesse wurde der Vortrag von Prof. Dr. Roland Krippner (Technische Hochschule Nürnberg und Mitglied im SeV) verfolgt. Er berichtete sehr anschaulich und engagiert über die „Gebäudeintegrierte Solartechnik“ und die vom SeV hierzu durchgeführten Wettbewerbe. Die Architektur kann hier durch gelungene Integration der Solar-

Abb. 10 – 12: Impressionen vom „Sonne in der Schule“-Workshop 2016.



**Abb. 13:** Besichtigung des „Solardach München-Riem“ im Rahmen des „Sonne in der Schule“-Workshops 2016.

technik in die Gebäudehülle sehr viel zur Akzeptanz dieser Technik beitragen. Nach einer kurzen Kaffeepause wurde von den Anwesenden noch eine lebhaft Diskussions um die Weiterführung und Verbesserung des Programms „Sonne in der Schule“ geführt.

Nach dem Check in im Hotel Mercure trafen sich alle an der Münchner Feldherrnhalle, um an einer Stadtführung teilzunehmen. Diese endete am Restaurant Franziskaner in der Nähe der Oper und dort klang der gelungene Tag mit einem bayerischen Essen und vielen Gesprächen aus.

Am nächsten Tag trafen sich die Teilnehmer an der Messe München. Prof. Dr. Gerd Becker führte bei kühlem, aber trockenem Wetter über die PV-Anlage auf den Dächern der Messe Riem, deren Erträge u. A. das Programm „Sonne in der Schule“ finanziert. Zum Abschluss gab es ein gemeinsames Weißwurstfrühstück, bei diesem wurde das gelungene Treffen gelobt und die Hoffnung ausgesprochen, dass „Sonne in der Schule“ noch weitere Jahre besteht und noch weitere Workshops stattfinden können.

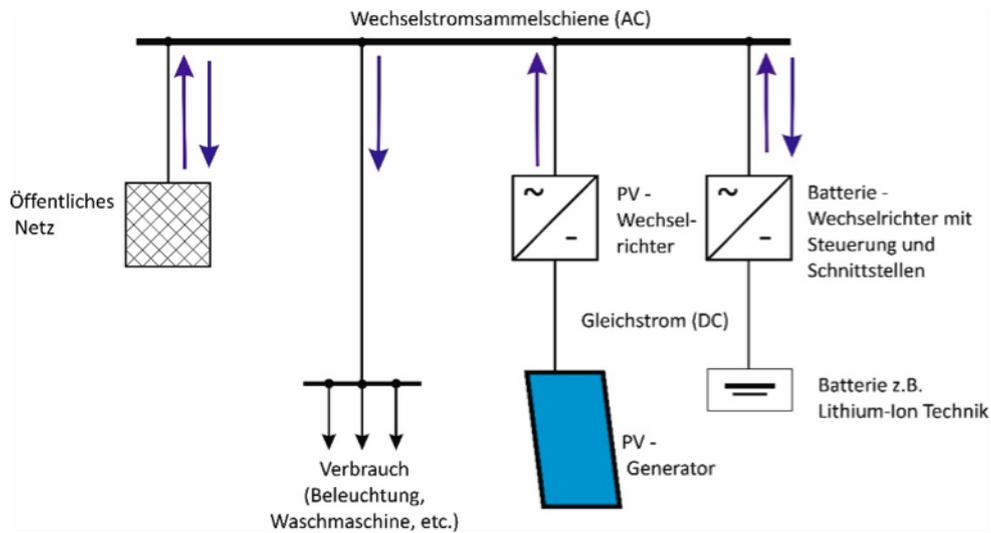
## 5 Speicher für Photovoltaikanlagen in Haushalten

Ein besonders zukunftssträchtiges Thema soll nachstehend behandelt werden.

Mit Hilfe von Speichersystemen lässt sich einerseits der Eigenverbrauch der solar erzeugten Energie steigern und zusätzlich das Netz entlasten. Daher werden in zunehmenden Maße Photovoltaikanlagen zusammen mit elektrischen Energiespeichern installiert. Der Markt wächst rasant, derzeit wird bereits jede zweite Photovoltaikanlage in Deutschland mit einem Speichersystem, dessen Kern eine Batterie ist, ausgestattet. Speicher können zudem mehr Unabhängigkeit vom Versorger geben, indem eine ausfallsichere Stromversorgung installiert wird.

Blei-Säure-Batterien sind seit langem bekannt, u. a. als Autobatterien. Sie können jedoch nicht vollständig entladen werden, die Entladetiefe liegt bei etwa 50 %, bei einer Lebensdauer von etwa 10 Jahren. Da Blei-Akkus ausgasen, müssen sie in einem belüfteten Raum untergebracht werden. Lithium-Ionen-Batterien erreichen eine Entladetiefe von bis zu 100 %. Eine Lebensdauer von etwa 15 Jahren ist derzeit bei normalem Betrieb mit keiner zu hohen Entladetiefe zu erwarten, denn die genutzte Entladetiefe beeinflusst die Lebensdauer maßgeblich. Eine Belüftung des Raumes mit der Batterie ist bei Lithium-Ionen-Technologie nicht erforderlich.

Lithium-Ionen-Technik ist jetzt praktisch Standard bei Photovoltaikanlagen. Die Endkundenpreise für die dezentrale Solarstromspeicher mit dieser Technik sind in letzten Jahren kräftig gesunken, von über 3000 €/kWh im ersten Halbjahr 2013 bis auf 1500 €/kWh im zweiten Halbjahr 2016. Der Systemwirkungsgrad – also das Verhältnis der dem Speichersystem zugeführten zu der ihm entnommenen elektrischen Energie – erreicht bei



**Abb. 14:** Beispielhafte Verschaltung einer Photovoltaikanlage mit Wechselstromsammelschiene

Lithium-Ionen-Akkus ca. 70 – 90 %, bei Blei-Batterien weniger. Die Verluste treten bei der Umwandlung der elektrischen Energie von Gleichstrom zu Wechselstrom und umgekehrt auf, hinzu kommen Stand-by-Verluste der Batterie.

Marktgängige Speichersysteme (die Batterie arbeitet mit Gleichspannung) können auf verschiedenste Arten mit der Photovoltaikanlage (Gleichspannung) und dem Netz (Wechselspannung) verschaltet werden, je nach Konzept muss die zwischengespeicherte photovoltaische Kilowattstunde einige Wandlungsschritte durchlaufen. Je nach Anwendung ergeben sich unterschiedliche Systemtopologien. Das System in Bild 14 besteht aus einer Wechselstromsammelschiene, einem handelsüblichen PV-Wechselrichter und einem separaten Batteriewechselrichter mit Batterie. Ebenso sind Systeme mit Gleichstromsammelschiene möglich. Die Pfeile zeigen die möglichen Richtungen der Energie.

Die Auslegung des Speichers – also die Bestimmung der speicherbaren elektrischen Energie – sollte so erfolgen, dass bei minimaler Größe möglichst viel des von der Photovoltaikanlage erzeugten Stroms im Hause verbraucht wird. Die Auslegung hängt ganz wesentlich von der Charakteristik des zeitlichen Verlaufs der benötigten Energie im Hause ab, aber natürlich auch von dem Angebot an Sonnenenergie. Ist der Speicher zu klein, so wird nur wenig von der von der Photovoltaikanlage erzeugten elektrischen Energie gespeichert werden können. Ist er zu groß, so wird der Speicher zu teuer und zu unwirtschaftlich. Daher ist für jede Anlage eine individuelle Auslegung erforderlich. Ein grobes Beispiel soll die Größenordnungen zeigen: Für einen Haushalt mit einer Photovoltaikanlage der Nennleistung 5 kW und 4000 kWh Jahresstromverbrauch in Deutschland empfiehlt sich ein Speicher mit einer Größe von 5 kWh, damit wird eine solare Deckung des Haushaltsstromverbrauchs von 60 % erreicht. Wählt man eine doppelt so große Batterie, steigt die solare Deckung nur auf etwa 65 %.

Speichersysteme für Photovoltaikanlagen müssen zukünftig stärker so betrieben werden können, dass sie die Niederspannungsnetze entlasten, dies bezeichnet man als Netzdienlichkeit. Netzdienliche Speicher speichern die photovoltaisch erzeugte Energie dann, wenn es zur Entlastung der Stromnetze am sinnvollsten ist und geben sie zeitversetzt wieder ab und glätten so die Einspeisespitzen. Damit erhöhen sie die Aufnahmefähigkeit

bestehender Netze ganz erheblich. Allerdings passen die Ziele der Netzdienlichkeit und der Erhöhung des Eigenverbrauches nicht immer vollständig zusammen.

Dazu sollten Speichersysteme über eine entsprechende Anzahl von offenen Schnittstellen verfügen, damit bietet sich die Möglichkeit, sie zu virtuellen Kraftwerken zu bündeln, zusätzliche Speicherdienstleistungen können damit angeboten werden. So können Speichernutzer sich zu einem größeren virtuellen Speicher zusammenschließen und etwa ein Stromguthaben aufbauen.

Das KfW-Programm Erneuerbare Energien „Speicher“ unterstützt die Nutzung von stationären Batteriespeichersystemen in Verbindung mit einer Photovoltaikanlage, die an das elektrische Netz angeschlossen sind. Verfügbar sind zinsgünstige Darlehen der KfW und Tilgungszuschüsse, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) finanziert werden. Die geförderten Speicher sollen netzdienlich sein, die maximale Leistungsabgabe am Netzanschlusspunkt beträgt 50% der installierten Leistung der Photovoltaikanlage.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass in Zukunft die allermeisten PV-Anlagen in Haushalten mit Speichern ausgerüstet sein werden. Der Zusammenschluss von zahlreichen Speichern über entsprechende Schnittstellen bietet eine Grundlage für viele neue Geschäftsideen im Bereich der Photovoltaik.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Jahresbericht „Sonne in der Schule“ für 2016 stellt nach einer Einleitung die Auswertung der Betriebsdaten dar. 291 Schulen meldeten diese für das Jahr 2016. Der erzielte mittlere spezifische Ertrag aller Anlagen ohne wesentliche Betriebsunterbrechungen lag im Jahr 2016 bei 758 kWh/kW und damit unter dem Niveau des Vorjahres, in dem er 783 kWh/kW erreichte. Ein Grund ist das im Vergleich zum Vorjahr geringere Globalstrahlungsangebot.

Dem großen Engagement der teilnehmenden Schulen mit ihren engagierten Lehrern, Lehrerinnen, Hausmeistern und Schülergruppen ist zu danken, dass auch nach weit über 20 Jahren durch „Sonne in der Schule“ gezeigt werden kann, dass die Photovoltaik einen sicheren und zuverlässigen Beitrag im Bereich der Erneuerbaren Energien leistet. Sie stehen dafür, dass die Betreuung der Anlagen gewährleistet wird, bei Ausfällen von Komponenten der PV-Anlage und der Benachrichtigung davon an den SeV dieser sofort reagieren kann und mit seiner Hilfe so den Minderertrag minimiert. Der SeV bietet dafür auch weiterhin diese Unterstützung an.

Der Solarenergieförderverein Bayern e.V. geht davon aus, dass das Programm „Sonne in der Schule“ noch einige Jahre betrieben und er die Schulen weiterhin unterstützen wird. Nehmen Sie diese Hilfe in Anspruch!