

Solarenergieförderverein
Bayern e.V.

Bavarian Association for the Promotion
of Solar Energy



SONNE IN DER SCHULE

Betriebsbericht

2021

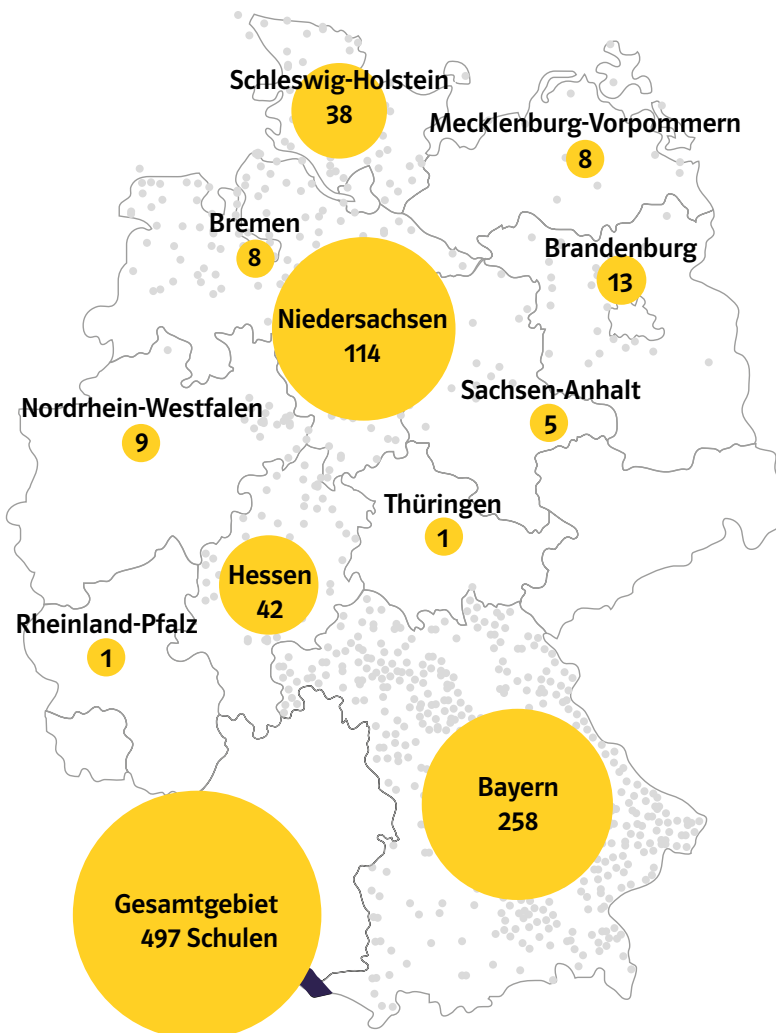
Inhalt

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Programm „Sonne in der Schule“ im Jahr 2021 | 3 |
| 2 | Auswertung der Betriebsdaten | 4 |
| 2.1 | Datenbasis | 4 |
| 2.2 | Meteorologische Daten | 4 |
| 2.2.1 | Charakterisierung des Jahres 2021 | 5 |
| 2.2.2 | Globalstrahlung 2021 | 6 |
| 2.3 | Erträge der Photovoltaikanlagen | 8 |
| 2.3.1 | Statistische Verteilung | 8 |
| 2.3.2 | Betriebsstörungen und Nichtverfügbarkeiten | 11 |
| 2.3.3 | Erträge einzelner Schulen | 13 |
| 3 | Betreuung | 14 |
| 3.1 | Überblick | 14 |
| 3.2 | Module | 14 |
| 3.3 | Defekte Wechselrichter | 14 |
| 3.4 | Förderung einer Visualisierung | 14 |
| 3.5 | Unterrichtshilfen | 14 |
| 4 | Messdatenabgabe | 14 |
| 5 | Schlaglicht: Elektrofahrzeuge – Ladeinfrastruktur – Photovoltaik | 15 |
| 5.1 | Ladeinfrastruktur | 15 |
| 5.2 | Eigene PV-Anlage | 17 |
| 5.3 | Aufbau einer Ladeinfrastruktur | 17 |
| 5.4 | Literatur und Hinweise im Internet | 18 |
| 6 | Zusammenfassung und Ausblick | 19 |

1 Programm „Sonne in der Schule“ im Jahr 2021

2021 war mit den langen, coronabedingten Schulschließungen wieder ein sehr forderndes Jahr für die Betreuerinnen und Betreuer des Projekts „Sonne in der Schule“. Trotzdem können wir auf eine Rückmeldungsquote von 48,1 % der teilnehmenden Schulen zurückgreifen und wieder einen aussagekräftigen Bericht über die langjährigen Erträge kleiner Photovoltaik- (PV-) Anlagen erstellen. Die Ergebnisse dieses Berichts werden in Beiträgen für Fachtagungen einfließen.

Der Solarenergieförderverein Bayern e. V. - nachstehend als SeV bezeichnet - betreut seit 2001 die Schulen, die mit einer PV-Anlage aus „Sonne in der Schule“ ausgestattet sind. Dies bedeutet u. a., dass bei Defekten an der PV-Anlage Unterstützung gegeben wird. Dies kann ein Zuschuss zur Reparatur oder zum Austausch eines defekten Wechselrichters sein. In allen Fällen wird versucht, eine Unterstützung im Sinne von „Hilfe zur Selbsthilfe“ zu geben.



Die 1 MW PV-Anlage „Solar-dach Messe München“ war bis zum 31.12.2016 zum größten Teil Eigentum des SeV. Mit den finanziellen Mitteln aus der EEG-Einspeisevergütung, die bis dahin angesammelt wurden, können verschiedenste Projekte, schwerpunktmäßig in der Photovoltaik unterstützt werden, so auch „Sonne in der Schule“.

Die Anzahl der registrierten PV-Anlagen an Schulen in den einzelnen Bundesländern ist in Abb. 1 dargestellt. 2021 nahmen noch 497 Schulen am Programm teil. Zum Vergleich, ursprünglich waren es 997 Schulen.

Das Sonderthema dieses Berichtes befasst sich mit dem zukunftsweisenden Thema der Elektrofahrzeuge in Verbindung mit der notwendigen Ladeinfrastruktur und Photovoltaik.

Abb. 1: Verteilung der aktuell registrierten **Sonne in der Schule**-PV-Anlagen auf die Bundesländer.

2 Auswertung der Betriebsdaten

Die Schulen, die am Programm teilnehmen, wurden zum Ende des Jahres 2021 angeschrieben und gebeten, die monatlichen Energieerträge ihrer PV-Anlagen dem SeV zu übermitteln. 239 Schulen meldeten für das Jahr 2021 die Betriebsdaten der PV-Anlage. Diese Daten bilden die Basis für die Auswertungen.

2.1 Datenbasis

| | Anzahl Schulen | | |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|----------|
| | Auswertung für 2021 | Auswertung für 2020 | Änderung |
| Basisdaten vorhanden von | 497 | 544 | - 8,6 % |
| Messdaten erhalten von | 239 | 276 | - 13,4 % |
| Anlagen ohne Betriebsunterbrechung | 121 | 149 | - 18,8 % |

Tab. 1: Statistik des Rücklaufs der Betriebsdaten in den Jahren 2021 und 2020

Die Statistik des Rücklaufs der Betriebsdaten 2021 und 2020 mit den Änderungen zeigt Tab. 1. Die Anzahl der teilnehmenden Schulen (Zeile 1 der obigen Tabelle) hat sich 2021 von 544 auf 497 verringert, da:

- Schulen geschlossen wurden,
- Schulen nach Sanierungen die PV-Anlage nicht mehr montiert bzw. stattdessen größere PV-Anlagen in Betrieb genommen haben,
- im laufenden Schulbetrieb keine Kapazitäten für die Betreuung von „Sonne in der Schule“ vorhanden waren.

Der SeV hat von 239 Schulen Messdaten (Zeile 2 der obigen Tabelle) erhalten, was einer Rücklaufquote von 48,1 % entspricht, bezogen auf die 497 Schulen (Zeile 1), die sich aktuell in der Datenbank von „Sonne in der Schule“ befinden.

In Zeile 3 der obigen Tabelle sind die „Anlagen ohne Betriebsunterbrechung“ dargestellt. Die Erfahrungen zum praktischen Betrieb von zahlreichen kleineren PV-Anlagen zeigen, dass ein gewisser Prozentsatz stets nicht verfügbar ist, etwa wegen Bauarbeiten oder längerfristiger technischer Störungen, hier sind im Besonderen die Wechselrichter zu nennen.

Für die statistische Auswertung wurden alle Anlagen nicht berücksichtigt, bei denen der spezifische jährliche Ertrag 500 kWh/kW unterschritt.

2.2 Meteorologische Daten

Der Ertrag von PV-Anlagen, also die erzeugte elektrische Energie, hängt ganz wesentlich von der eingestrahlten Solarenergie, bezeichnet als Globalstrahlung, ab. Aber auch die Modultemperatur, die von der Umgebungstemperatur beeinflusst wird und der Wind spielen eine Rolle.

Höhere Globalstrahlung steigert den Ertrag. Als Näherung folgt er direkt dem Wert der eingestrahlten Globalstrahlung. Der Ertrag wird aber 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. Andererseits steigt der Ertrag bei kühleren Umgebungstemperaturen und entsprechender Globalstrahlung.

2.2.1 Charakterisierung des Jahres 2021

Das Wetterjahr 2021 war laut Jahresrückblick des Deutschen Wetterdienstes (DWD) insgesamt durchschnittlich, aber mit außergewöhnlichen Wetterextremen und katastrophalen Folgen. Es gab keine neuen Temperaturrekorde und ausreichend Niederschlag, aber die schlimmste Flutkatastrophe seit Jahrzehnten. Tobias Fuchs, Klimavorstand des DWD: „Wir erleben die Folgen des Klimawandel live. Wetterextreme können jeden von uns treffen. Wer das Klima schützt, schützt sich selbst.“

Es werden diesmal noch die vieljährigen Mittelwerte der internationalen Referenzperiode 1961 - 1990 angegeben, ebenfalls vom DWD bereitgestellt. Der Vergleich aktueller mit diesen vieljährigen Werten ermöglicht eine Einschätzung des längerfristigen Klimawandels.

Der Januar wurde grau und nass, Tiefdruckgebiete brachten immer wieder Niederschläge, in den Bergen herrschte bestes Winterwetter, dort war auch die Sonne am häufigsten zu sehen, ansonsten blieb sie mit 30 Stunden unter ihrem Soll (44 h). Im Februar war es anfangs eisig kalt, es kam zu Schneeverwehungen, dann brachte subtropische Luft ungewöhnlich frühlingshafte Temperaturen. Es wurde einer der sonnenscheinreichsten Monate seit 1951, 110 Stunden übertrafen das Soll von 72 h. Der sonnenscheinreiche März aber hatte zu wenig Niederschlag. Wieder überragte die Sonnenscheindauer mit 144 Stunden ihr Soll von 111 h.

Es folgte der kälteste April seit 40 Jahren, was aber nichts an dem Trend ändert, dass sich die Monatsmitteltemperatur im April seit 1881 um knapp 2 °C erhöht hat. 185 Stunden schien die Sonne und übertraf wieder ihr Soll von 154 h. Auch der Mai wurde der kälteste seit 2010, er brachte viel Regen und wenig Sonnenschein. Die Sonne blieb mit 165 Stunden unter ihrem Soll von 202 h. Der Juni wurde der drittwärmste seit 1881, allerdings mit heftigen Gewittern, kräftigen Niederschlägen, Hagel und Sturmböen. Die Sonnenscheindauer betrug 260 Stunden, Soll wäre 203 h.

Die Starkregenperiode hielt auch im Juli an und führte zu den folgenreichen Überflutungen. Der Monat war deutlich zu nass, etwas zu warm und mit 200 Stunden sonnenscheinarm, Soll wären 211 h. Für den August meldet der DWD: „30 % zu nass und die Sonne schien 30 % zu wenig.“ Seit 2014 erstmals wieder ein relativ kühler August. Mit annähernd 155 Stunden unterschritt die Sonnenscheindauer ihr Soll von 200 h. Der September entschädigte dafür und wurde trockener, sonniger und spätsommerlich. Der Sonnenschein war allerdings nicht überall gleich, durchschnittlich übertraf er mit 175 Stunden sein Soll von 150 h, im Süden sogar mit über 230 Stunden.

Es folgte ein sonnenscheinreicher, im Süden zu trockener und im Norden zu milder, goldener Oktober. 130 Stunden schien die Sonne, ihr Soll von 109 h wurde übertroffen. Der November blieb in der Reihe der trockenen Novembermonate der letzten Jahre, gehörte aber zu den sonnenscheinärmsten – 45 Stunden, Soll 53 h – seit 1951. Im Dezember startete der Winter mit z. T. kräftigen Schneefällen, wurde aber in der zweiten Hälfte wolkenreicher und milder. Zum Jahresausklang wurde es frühlingshaft. Die Sonne brachte es auf 40 Stunden und blieb im Bereich ihres Solls von 38 h.

Sonne in der Schule – Betriebsbericht 2021

| | Jan | Feb | Mrz | Apr | Mai | Jun | Jul | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez | 2021 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Aachen | 15 | 55 | 89 | 133 | 138 | 166 | 142 | 119 | 114 | 66 | 28 | 15 | 1.081 |
| Augsburg | 27 | 61 | 101 | 139 | 152 | 200 | 157 | 134 | 129 | 72 | 26 | 25 | 1.222 |
| Berlin | 17 | 44 | 84 | 117 | 152 | 186 | 159 | 130 | 91 | 63 | 20 | 14 | 1.077 |
| Bonn | 15 | 55 | 85 | 128 | 135 | 169 | 139 | 121 | 103 | 61 | 25 | 15 | 1.051 |
| Braunschweig | 18 | 44 | 87 | 119 | 147 | 175 | 149 | 124 | 92 | 57 | 20 | 14 | 1.047 |
| Bremen | 19 | 41 | 80 | 130 | 139 | 171 | 158 | 119 | 94 | 54 | 22 | 12 | 1.036 |
| Chemnitz | 23 | 50 | 86 | 116 | 137 | 178 | 159 | 122 | 99 | 72 | 25 | 17 | 1.083 |
| Frankfurt/Main | 16 | 57 | 93 | 134 | 148 | 184 | 156 | 127 | 116 | 57 | 20 | 17 | 1.124 |
| Gießen | 16 | 56 | 88 | 125 | 143 | 179 | 142 | 121 | 106 | 51 | 19 | 15 | 1.063 |
| Göttingen | 16 | 45 | 80 | 112 | 140 | 172 | 137 | 117 | 99 | 59 | 20 | 16 | 1.014 |
| Hamburg | 18 | 41 | 78 | 125 | 128 | 175 | 162 | 112 | 84 | 53 | 19 | 12 | 1.006 |
| Hannover | 18 | 43 | 84 | 123 | 143 | 172 | 147 | 122 | 93 | 54 | 20 | 13 | 1.034 |
| Heidelberg | 19 | 53 | 97 | 139 | 142 | 180 | 161 | 131 | 121 | 64 | 23 | 18 | 1.150 |
| Hof | 21 | 51 | 89 | 122 | 142 | 177 | 151 | 120 | 103 | 66 | 22 | 15 | 1.079 |
| Kassel | 16 | 45 | 80 | 114 | 136 | 174 | 139 | 117 | 98 | 55 | 20 | 16 | 1.012 |
| Kiel | 17 | 43 | 78 | 138 | 128 | 181 | 168 | 127 | 85 | 53 | 18 | 11 | 1.048 |
| List auf Sylt | 18 | 42 | 81 | 149 | 137 | 173 | 176 | 134 | 83 | 48 | 17 | 12 | 1.069 |
| München | 34 | 65 | 105 | 139 | 155 | 210 | 155 | 138 | 127 | 79 | 31 | 28 | 1.265 |
| Nürnberg | 21 | 54 | 95 | 140 | 150 | 200 | 160 | 138 | 124 | 71 | 24 | 18 | 1.195 |
| Regensburg | 26 | 55 | 95 | 138 | 147 | 204 | 161 | 130 | 118 | 75 | 25 | 18 | 1.194 |
| Rostock | 16 | 41 | 84 | 139 | 150 | 202 | 163 | 130 | 86 | 53 | 18 | 11 | 1.092 |
| Stralsund | 15 | 39 | 82 | 135 | 152 | 202 | 159 | 137 | 90 | 53 | 17 | 11 | 1.092 |
| Weihenstephan | 30 | 61 | 103 | 142 | 156 | 212 | 158 | 138 | 126 | 73 | 27 | 23 | 1.251 |
| Würzburg | 18 | 52 | 97 | 135 | 154 | 184 | 163 | 135 | 123 | 63 | 22 | 17 | 1.162 |

Tab. 2: Monatliche Werte der Globalstrahlung 2021 – auf eine waagerechte Fläche – in kWh/m² für verschiedene Orte im Gebiet von **Sonne in der Schule** (Quelle: Deutscher Wetterdienst – DWD)

2.2.2 Globalstrahlung 2021

Die monatlichen Mittelwerte der Globalstrahlung ermöglichen eine Abschätzung des Ertrags einer PV-Anlage und eignen sich für Ertragsvergleiche in verschiedenen Regionen. Es sind deutliche Unterschiede zu erkennen. Die höchste Globalstrahlung wurde mit 1265 kWh/m² in München gemessen, der geringste Wert mit 1006 kWh/m² in Hamburg. Zwischen beiden Werten liegt eine Differenz von 25,7 %, bezogen auf den niedrigeren Wert.

In unseren Breiten werden Solarmodule geneigt aufgestellt. Ein der Sonne optimal zugewandter Solargenerator, der 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 waagerechte Ebene. Ein Vergleich mit dem Vorjahr zeigt für Berlin eine Minderung der Globalstrahlung von fast 9 %, Hamburg fast 11 % und München 1 %.

Globalstrahlung in Deutschland

Basierend auf Satellitendaten und Bodenwerte aus dem DWD-Messnetz

Jahressumme 2021

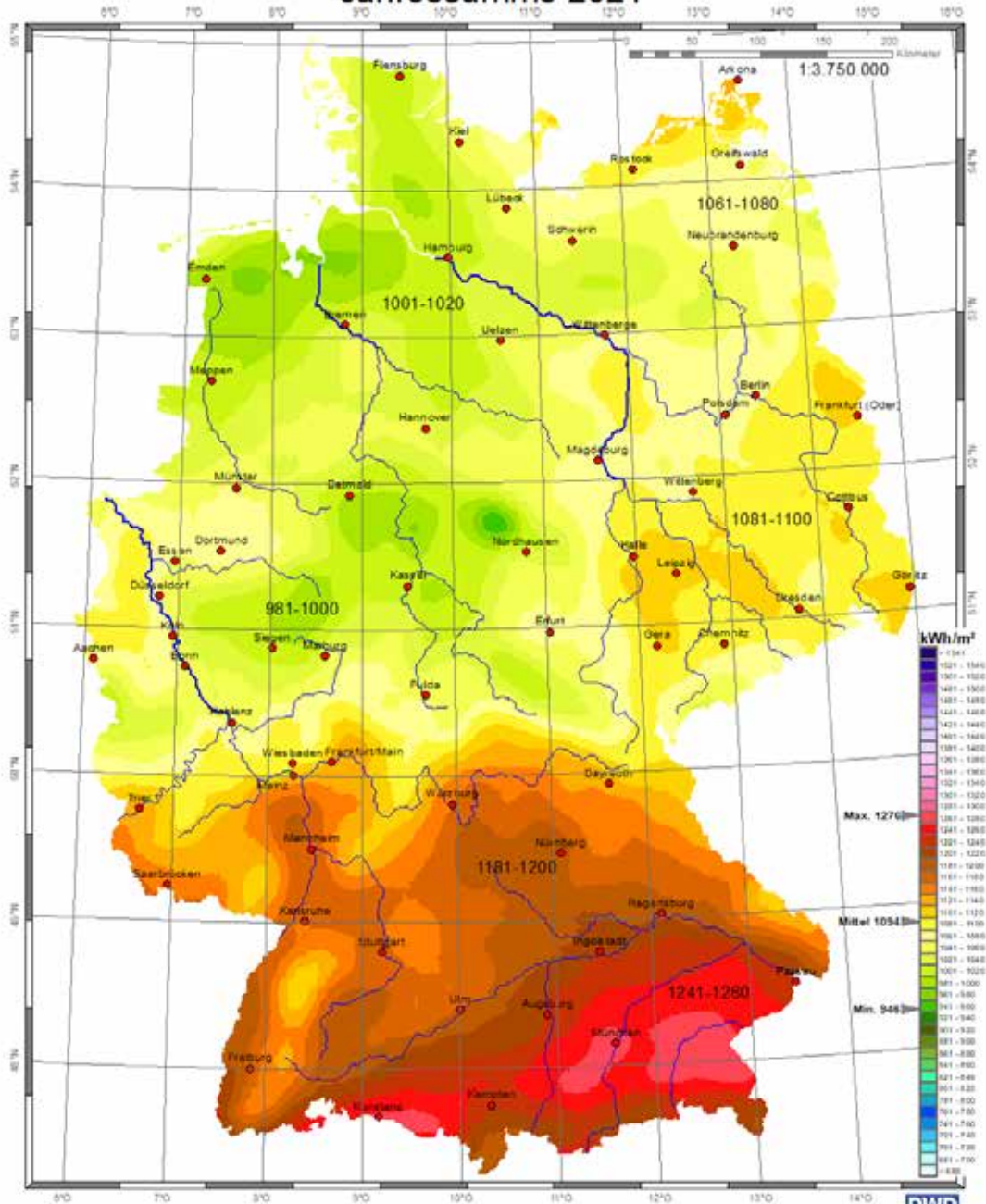


Abb. 2: Globalstrahlung in Deutschland 2021

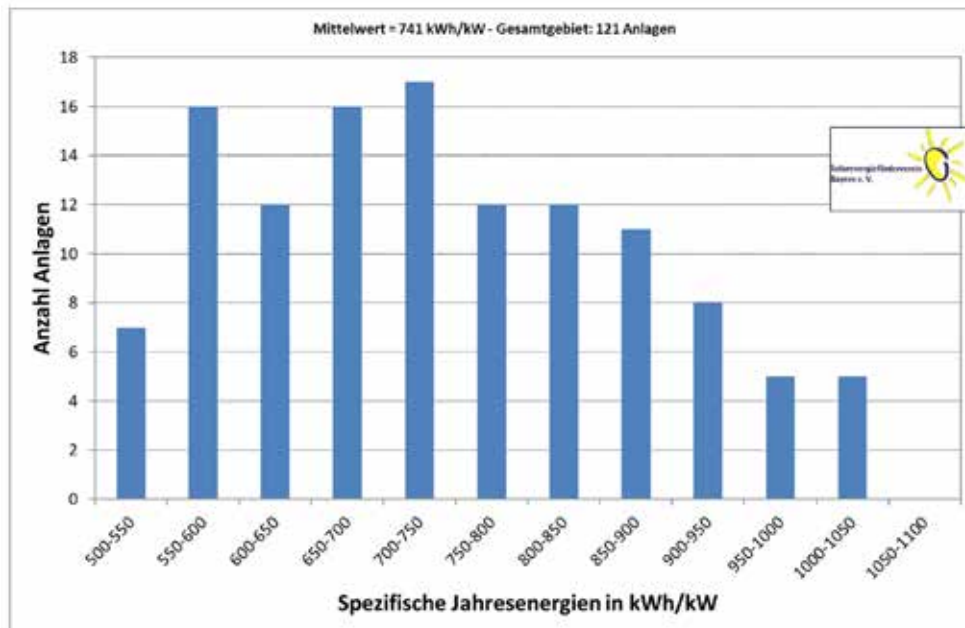


Abb. 3: Verteilung des spezifischen Ertrags im Gesamtgebiet 2021

2.3 Erträge der Photovoltaikanlagen

Die Betriebsdaten mit den Erträgen der PV-Anlagen aus „Sonne in der Schule“ wurden mit Hilfe einer 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 der PV-Anlage 1,1 kW, so bestimmt sich der spezifische Ertrag zu $1001 \text{ kWh} / 1,1 \text{ kW} = 910 \text{ kWh/kW}$.

Der spezifische Ertrag aller berücksichtigten Anlagen im Gesamtgebiet von „Sonne in der Schule“ vom Norden bis in den Süden Deutschlands lag im Jahr 2021 bei durchschnittlich 741 kWh/kW und damit unter dem Wert von 778 kWh/kW von 2020. Hierunter ist die in das lokale Niederspannungsnetz eingespeiste elektrische Energie zu verstehen. Diese Größe ist ein Mittelwert. Manche Anlagen sind besser, etwa wegen eines höheren Angebots an Globalstrahlung, andere können aus bestimmten Gründen – z. B. Verschattung der Module – schlechter sein.

Abb. 3 zeigt für das Gesamtgebiet von „Sonne in der Schule“ im Jahr 2021 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 keinen Ertrag lieferte, etwa wegen eines Ausfalls des Wechselrichters oder Bauarbeiten, wurde sie nicht in die Ermittlung des Mittelwertes einbezogen, siehe Kap. 2.1.

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

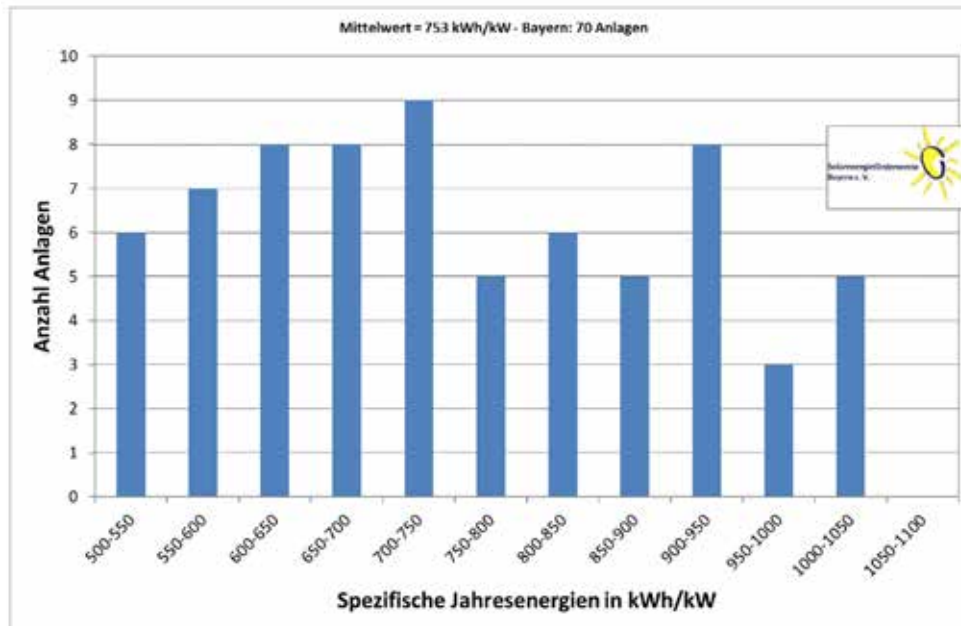


Abb. 4: Spezifische Erträge in Bayern 2021

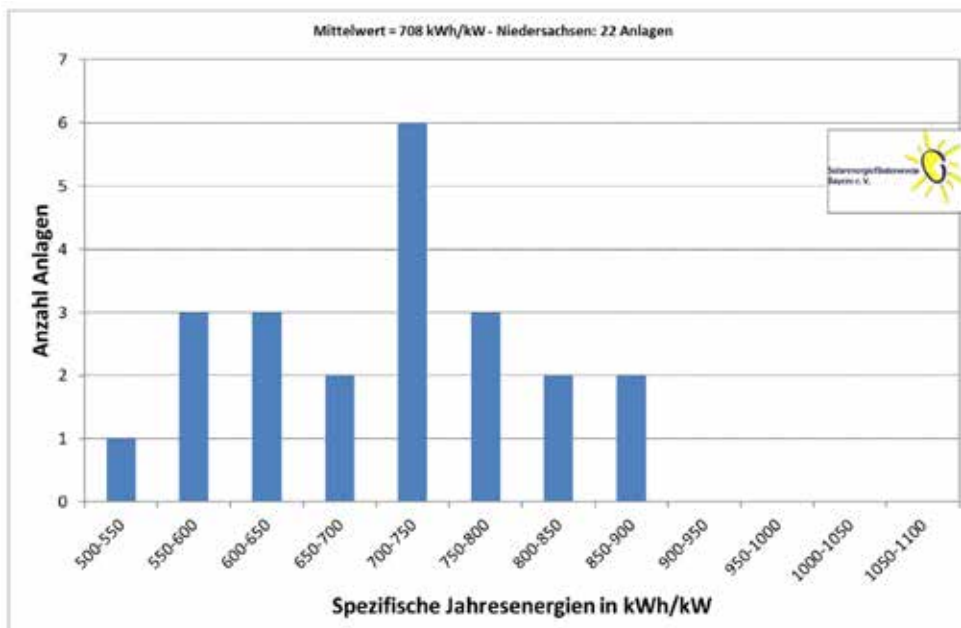


Abb. 5: Spezifische Erträge in Niedersachsen 2021

Die Erträge der meisten Anlagen liegen im Bereich von 550 - 750 kWh/kW. Gründe, dass Anlagen schlechte Erträge von unter 500 kWh/kW liefern, sind oft Verschattungen oder Wechselrichterdefekte. Anlagen mit hohen Erträgen über 900 kWh/kW sind intensiv betreut, ihr Standort weist gute Globalstrahlungswerte und gute Hinterlüftung der Solarmodule auf. Letzteres ist wichtig, denn photovoltaische Solargeneratoren zeigen - wie dargestellt - mit steigender Temperatur schlechtere Erträge. Aussagen über die Verteilung der spezifischen Energieerträge sind beispielhaft durch die Bundesländer Bayern und Niedersachsen dargestellt.

Sonne in der Schule – Betriebsbericht 2021

| Bundesland | Anzahl Anlagen mit nutzbaren Datensätzen 2021 | Mittelwert spezifischer Ertrag 2021 kWh/kW | Veränderung des Ertrags gegenüber 2020 |
|-------------------------|---|--|--|
| Bayern | 70 | 753 | - 2,1 % |
| Hessen | 12 | 720 | - 8,7 % |
| Niedersachsen | 22 | 708 | - 11,1 % |
| Schleswig-Holstein | 7 | 730 | - 4,6 % |
| Brandenburg | 4 | 704 | - 1,8 % |
| Mecklenburg- Vorpommern | 1 | 801 | - 9,4 % |
| Nordrhein-Westfalen | 2 | 808 | - 1,8 % |
| Sachsen-Anhalt | 1 | 892 | - 12,8 % |
| Bremen | 1 | 594 | - 8,3 % |
| Thüringen | 0 | 0 | ./. |
| Rheinland-Pfalz | 1 | 895 | ./. |
| Gesamtgebiet | 121 | 741 | - 4,8 % |

Tab. 3: Anzahl der Anlagen mit „nutzbaren Datensätzen“ im Jahr 2021 und Mittelwert des spezifischen Ertrags mit der Veränderung gegenüber dem Vorjahr

Zahlenwerte zu allen Anlagen in allen Bundesländern und den Mittelwert aller Erträge zeigt Tab. 3. Bei der Bewertung ist zu beachten, dass mit wenigen Anlagen in manchen Bundesländern keine allgemeingültigen statistischen Aussagen zu treffen sind. Von einer kleinen Anzahl Anlagen kann nicht auf das Verhalten aller geschlossen werden.

Betrachtet man die Veränderungen des Ertrags gegenüber dem Vorjahr, so erkennt man überall negative Prozentzahlen, also Minderungen, bedingt durch die geringere Globalstrahlung 2021, in Kap. 2.2.2 beispielhaft für Berlin, Hamburg und München dargestellt.

2.3.2 Betriebsstörungen und Nichtverfügbarkeiten

Nach weit über 20 Jahren Betrieb der PV-Anlagen aus **Sonne in der Schule** kommt es verstärkt zu Störungen. Auch die langen Schulschließungen bedeuteten, dass die Anlagen nicht so intensiv wie in den Vorjahren betreut werden konnten. Die Störungsmeldungen im Jahr 2021 stiegen durch dies und die lange Laufzeit auf einen neuen Spitzenwert von 49 %, siehe Tabelle 4. Trotzdem produzieren viele der in den 1990er Jahren installierten PV-Anlagen immer noch zuverlässig regenerativen Strom.

| Jahr | Messwerte geliefert von ... Anlagen | Genutzte Messwerte, d.h. Anlagen ohne 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 % |
| 2017 | 302 | 172 | 130 | 43,0 % |
| 2018 | 275 | 180 | 95 | 34,5 % |
| 2019 | 264 | 159 | 105 | 39,8 % |
| 2020 | 276 | 149 | 127 | 46,0 % |
| 2021 | 239 | 121 | 118 | 49,0 % |

Tab. 4: Langjährige Daten zu Betriebsstörungen und Nichtverfügbarkeiten

Sonne in der Schule – Betriebsbericht 2021

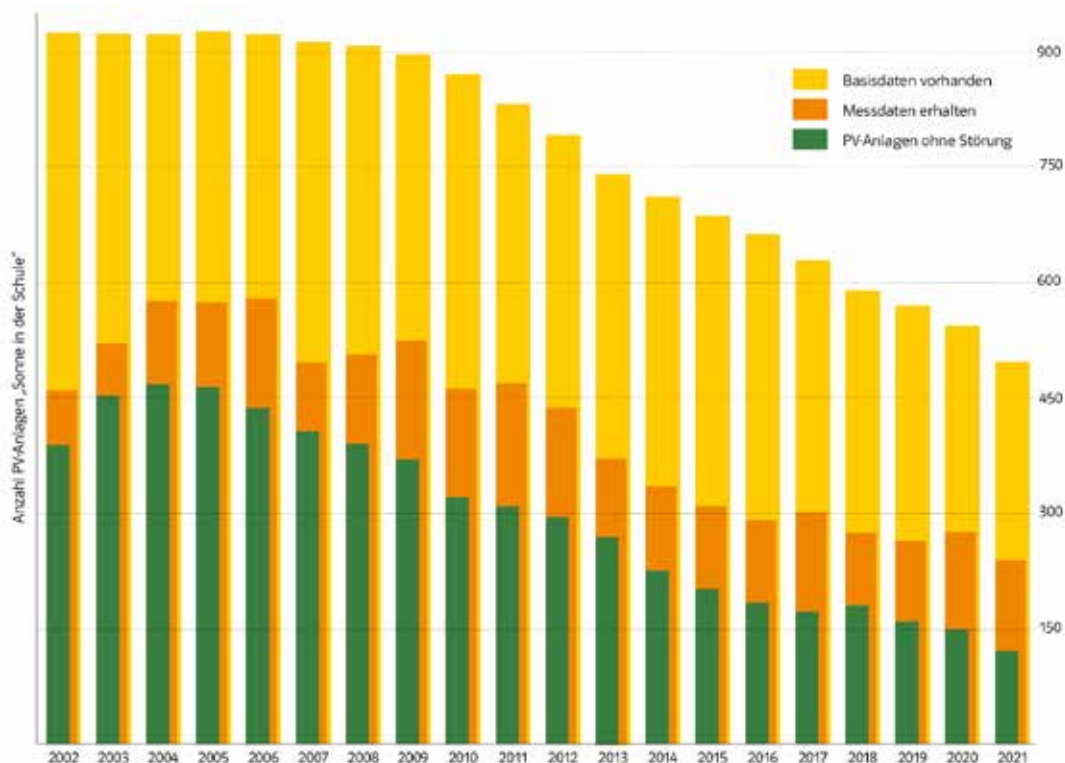


Abb. 6: Entwicklung des Programms **Sonne in der Schule** in den letzten 20 Jahren in Bezug auf die vorhandenen Basisdaten, die erhaltenen Messdaten sowie die Anlagen ohne Betriebsstörung.

Die Abb. 6 zeigt die Entwicklung des Programms „Sonne in der Schule“ seit der Übernahme der Betreuung auch der Anlagen aus dem ehemaligen Programm „SONNEonline“ durch den SeV im Jahr 2002. 927 Schulen waren zum Start der Betreuung im Datensatz hinterlegt. Dieser Wert blieb acht Jahre weitgehend konstant, ab 2010 ist dann kontinuierlich ein jährlicher Rückgang am Bestand festzustellen. Allerdings sind nach 20 Jahren noch immer mehr als die Hälfte der beteiligten Schulen registriert. Und 2002 war ja nicht der Beginn des Programms. Bei den Schulen in Bayern wurden die PV-Anlagen zwischen 1994 und 1997 montiert, die „SONNEonline“-Anlagen wurden meist zwischen 1997 und 1999 installiert – die PV-Anlagen sind also nochmals 3 - 8 Jahre älter.

Im Schnitt haben etwas mehr als die Hälfte der Schulen, die kontaktiert wurden, Rückmeldungen zum Betrieb der PV-Anlagen gegeben und ihre Messdaten dem SeV zukommen lassen. Durch intensive Kontaktpflege, regelmäßige Erinnerungen aber natürlich auch durch den technischen Service, der zahlreiche Anlagen wieder intakt setzte, konnte die Zahl der Rückmeldungen immer wieder auch gesteigert werden.

Es dürfte kaum ein zweites Programm geben, dass nach bald 30jähriger Projektlaufzeit noch auf so viele engagierte Beteiligte verweisen kann. Aber auch hinsichtlich der eingesetzten technischen Komponenten ist bemerkenswert, dass so viele Anlagen weit über 20 Jahre im Einsatz sind und noch gut funktionieren, wie u. a. die Erträge einiger beispielhafter Schulen im nächsten Kapitel zeigen. Die Zahl der PV-Anlagen, die ohne Störung in Betrieb sind, verringert sich aufgrund des zunehmenden Alters der Komponenten natürlich, aber es ist doch erfreulich, wie viele Anlagen weiterhin problemlos funktionieren.

2.3.3 Erträge einzelner Schulen

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

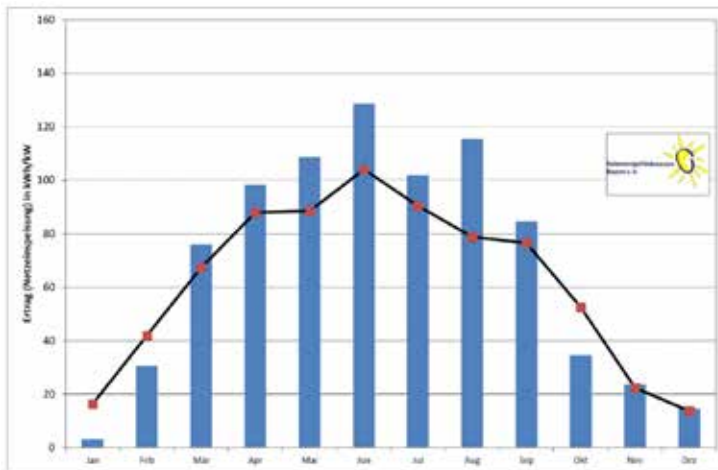


Abb. 7:
Schule in Bayern (Oberbayern) - spezifischer Jahresertrag 820 kWh/kW

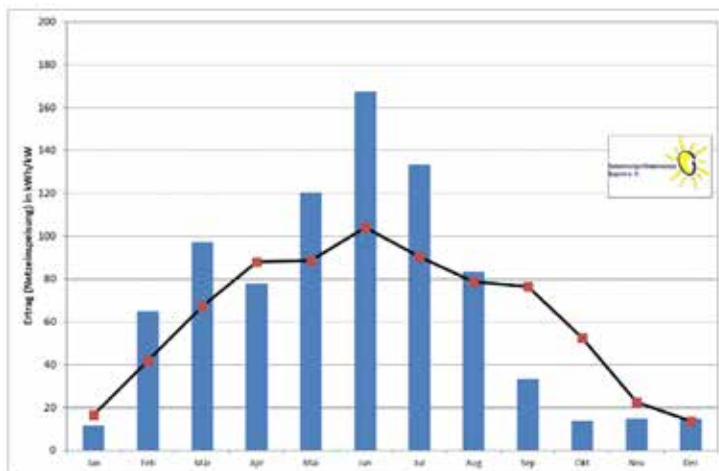


Abb. 8:
Schule in Niedersachsen - spezifischer Jahresertrag 833 kWh/kW

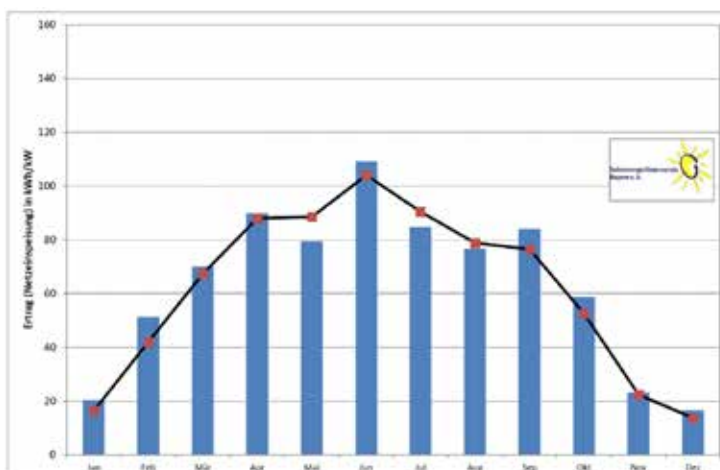


Abb. 9:
Schule in Schleswig-Holstein - spezifischer Jahresertrag 764 kWh/kW

3 Betreuung

3.1 Überblick

Im Laufe des Jahres 2021 wurde der SeV von 99 Schulen kontaktiert, da Probleme mit der PV-Anlage oder beim Auslesen der Erträge auftraten. Zudem baten neue Betreuer um Einweisung, wie die Anlage gewartet und die Werte übermittelt werden können. Neben diesen Fragestellungen steht der SeV weiterhin mit Rat und Tat bei Fragen der Visualisierung und bei Softwareproblemen zur Seite. Auch wurden Fragen beantwortet, was beim Abbau der PV-Anlage zu beachten ist, z. B. weil ein Neubau der Schule ansteht. Größere PV-Anlagen 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 Module

Da der Fundus von Siemens- und Kyocera-Modulen inzwischen aufgebraucht ist, können wir bei defekten PV-Modulen leider keine Unterstützung mehr anbieten.

3.3 Defekte Wechselrichter

Funktioniert die PV-Anlage nicht mehr und ist der Wechselrichter die Ursache, können die Schulen unterstützt werden – allerdings im Ermessen des SeV. Aufgrund des Alters und des Mangels an Ersatzteilen sind leider keine Reparaturen an den Wechselrichtern Siemens SPN 1000 und SMA SunnyBoy 850 mehr möglich. Eine Instandsetzung der PV-Anlage erfordert also die Anschaffung eines neuen Wechselrichters. Dies ist in den meisten Fällen mit einer Umverkabelung und entsprechend hohem Aufwand verbunden. Es wird in jedem Fall geprüft, ob der hohe technische und finanzielle Aufwand ggf. zu rechtfertigen ist.

3.4 Förderung einer Visualisierung

Wie auch in den vergangenen Jahren macht der SeV darauf aufmerksam, dass das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle – BAFA – die Visualisierung regenerativer Energiesysteme an öffentlichen Gebäuden fördert. Allerdings wurde die Förderung nun der „Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen“ (BEG EM) zugeordnet. Unter dem Link, aufgerufen am 29.03.2022, https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/effiziente_gebaeude_node.html wird das Programm vorgestellt.

3.5 Unterrichtshilfen

Ebenso stellt das **Unabhängige Institut für Umweltfragen** in Berlin weiterhin über seine Website Unterrichtshilfen im Bereich der regenerativen Energien für die verschiedensten Klassenstufen zur Verfügung. Die Downloads, aufgerufen am 23.03.2022, sind zu finden unter: <http://www.ufu.de/service/downloads/>

4 Messdatenabgabe

179 Schulen haben bis zum 15. Februar 2022 die Messdaten der PV-Anlage des Jahres 2021 an den SeV übermittelt. Unter diesen Schulen wurden 3 x 100 € verlost. Folgende Schulen erhielten das Preisgeld:

Vogelsbergschule, Lauterbach / Otto-Wels-Mittelschule, Mitterteich / Eichenschule, Scheeßel

5 Schlaglicht: Elektrofahrzeuge –Ladeinfrastruktur –Photovoltaik

Wie in den vergangenen Jahren enthält der Jahresbericht „Sonne in der Schule“ ein „Schlaglicht“, das sich im weiteren Bereich mit Photovoltaik beschäftigt. Elektromobilität wurde bereits im Betriebsbericht 2019 behandelt. Nachstehend soll nach einer kurzen Einführung besonders die erforderliche Ladeinfrastruktur im privaten Bereich und an Schulen mit einer Photovoltaikanlage betrachtet werden.

In diesem Bereich findet derzeit eine rasante Entwicklung statt. Mit Stand vom 01. Oktober 2021 betrug die Anzahl der zugelassenen Elektroautos (BEV = Battery Electric Vehicle) in Deutschland rund 517.000, es handelt sich hierbei nur um reine Elektrofahrzeuge. Im ersten Quartal des Jahres 2022 lag die Zahl aller dazu gehörigen Ladestationen in Deutschland bei rund 28.100.

Elektrofahrzeuge haben hocheffiziente Motoren mit Wirkungsgraden von über 90 % und können Bremsenergie zu einem großen Teil zurückgewinnen/rekuperieren. Zudem können sie als Verbraucher zum Lastmanagement beitragen, wenn die Beladung ihrer Batterie – soweit es die Fahrzeugnutzung zulässt – entsprechend der Belastung des öffentlichen Stromnetzes erfolgt. In Tab. 5 sind beispielhaft und wertungsfrei die technischen Daten von fünf verschiedenen Elektrofahrzeugen aufgeführt. Zu vermerken ist, dass hier beim Verbrauch nicht die Herstellerangaben genutzt wurden, sondern die vom realistischeren ADAC-Test, siehe Literatur und Hinweise im Web.

| Elektrofahrzeug | Preis (€) | Leistung (kW) | Batteriekapazität (kWh) | Verbrauch lt. ADAC (kWh/100 km) | Reichweite (km) |
|-------------------------|-----------|---------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------|
| BMW i3 (120 Ah) | 39.000 | 125 | 42 | 17,9 | 307 |
| Renault Zoe R110.Z.E.40 | 29.900 | 80 | 44 | 20,3 | 316 |
| Tesla Model 3 | 46.560 | 239 | 60 | 24,0 | 491 |
| VW ID.3 Pro S (77 kWh) | 42.460 | 150 | 82 | 22,8 | 555 |
| Mini Cooper SE | 32.500 | 135 | 33 | 17,6 | 234 |
| Hyundai Ioniq Electro | 35.530 | 100 | 38 | 16,3 | 311 |

Tab. 5: Herstellerangaben (außer Verbrauch) verschiedener Elektrofahrzeuge (Stand: Frühjahr 2021)

5.1 Ladeinfrastruktur

Die Batterie des Elektrofahrzeugs muss immer wieder aufgeladen werden. Dies wird beispielsweise daheim, in Unternehmen und in Schulen durchgeführt. Es ist eine Ladeinfrastruktur mit Ladestation, Kommunikation, Ladedose, Kabeln und Steckern erforderlich. Elektrofahrzeuge können natürlich auch an öffentlichen Ladeeinrichtungen geladen werden.

Das wichtigste Bindeglied zwischen dem Netz des Netzbetreibers, der eigenen PV-Anlage und dem Elektroauto ist die Ladestation. Je nachdem, ob man daheim oder an einer externen Ladestation lädt, unterscheidet man verschiedene Ladebetriebsarten, s. Tab. 6.

| Ladebetriebsart | Kurzbeschreibung |
|-----------------|--|
| 1 | Haushaltssteckdose ohne Kommunikation |
| 2 | Haushaltssteckdose/Industriesteckdose mit Kommunikation |
| 3 | Wallbox mit Wechselstrom und Sicherheitsfunktionalität und mit Kommunikation |
| 4 | Gleichstromladen Sicherheitsfunktionalität und mit Kommunikation |

Tab. 6: Ladebetriebsarten

Zu den einzelnen Punkten von Tab. 6:

1. Haushaltssteckdosen (Ladebetriebsart 1) sind nicht für stundenlange Dauerbelastung unter hohen Strömen ($> 10 \text{ A}$) ausgelegt und sollten deshalb nur im Notfall für das Laden von Elektrofahrzeugen genutzt werden.
2. Bei Ladebetriebsart 2 können wie auch bei der Ladebetriebsart 1 Haushalts- oder Industriesteckdosen mit Wechselstrom genutzt werden. Im Unterschied zur vorherigen Betriebsart befindet sich in dem Ladekabel des Fahrzeugs eine Steuer- und Schutzeinrichtung.
3. Die Ladebetriebsart 3 wird für das ein- bzw. dreiphasige Laden mit Wechselstrom bei fest installierten Ladestationen genutzt. Die Sicherheitsfunktionalität, inklusive Fehlerstrom-Schutzeinrichtung, ist in die Gesamtinstallation integriert, sodass nur ein Ladekabel mit zweckgebundenem Stecker auf der Infrastrukturseite notwendig ist.
4. Ladebetriebsart 4 ist für das Laden mit Gleichstrom an fest installierten Ladestationen vorgesehen. Das Ladekabel ist immer fest an den Ladestationen angeschlossen.



Abb. 10: Wallbox zum Laden mit größeren Leistungen (Foto: Alfen)

Abb. 10 zeigt eine Wallbox – sie entspricht den Anforderungen der Ladebetriebsart 3 und ist speziell für den Ladebetrieb von Elektrofahrzeugen ausgelegt. Die üblichen Ladeleistungen liegen zwischen 1,4 kW und 22 kW (für den Heimbedarf). Daraus ergeben sich durchschnittliche Ladezeiten von 2 bis

6 Stunden, was jedoch nicht nur von der Leistung der Wallbox, sondern auch von der Ladeleistung des Elektrofahrzeuges abhängig ist.

Die elektrische Ladeenergie beim Laden zu Hause oder in der Schule aus dem Netz des Netzbetreibers ist entsprechend den Kosten des normalen Haushaltsstroms zu bezahlen. Bei öffentlichen Ladestationen sind größere Ladeleistungen üblich, welche die Ladezeiten stark verkürzen, allerdings sind die Kosten höher als beim Laden daheim. Je nach Batteriekapazität und Ladeleistung ergeben sich für jedes Elektrofahrzeug unterschiedliche Ladedauern. Grob reichen die Ladezeiten von bis zu 14 Stunden an einer Haushaltssteckdose und 2 bis 6 Stunden an einer Wallbox. An einer öffentlichen Ladesäule mit größerer Leistung kann man für eine Normalladung 30 bis 60 Minuten rechnen. Beim Schnellladen verkürzt sich diese Zeit. Ziel ist hier ein Ladevorgang von 10 auf 80 % Ladezustand (State of Charge/SOC) in weniger als 20 Minuten. Neben der Leistungsfähigkeit der Ladestationen spielt dazu auch das Batteriemangement der Elektrofahrzeuge eine Rolle.

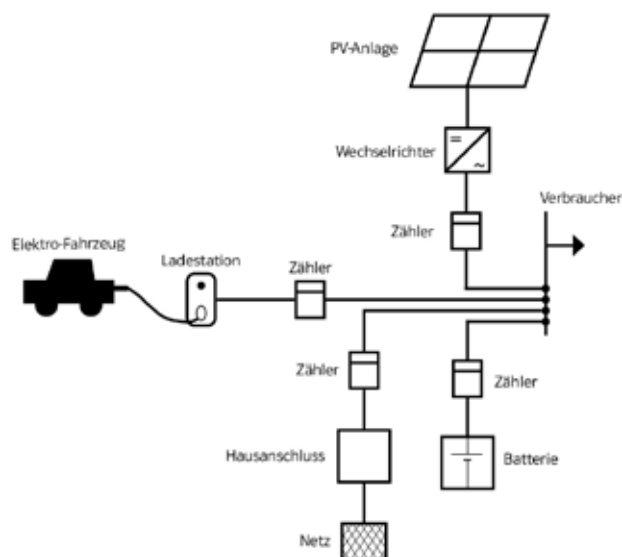
Es ist darauf hinzuweisen, dass Ladeverluste anfallen, d. h. es muss mehr Energie getankt werden, als aus der Batterie entnehmbar ist.

5.2 Eigene PV-Anlage

Eine PV-Anlage mit einer Leistung von 5 kW kann in Deutschland an einem guten Standort jährlich etwa 5.000 kWh an nachhaltiger elektrischer Energie liefern. Damit kann man theoretisch bei ausschließlicher Ladung über die PV-Anlage – bei einem Verbrauch von ca. 18 kWh/100 km fast 27.000 km/Jahr emissionsfrei fahren. Derzeit kann man für den Strom aus einer neuen PV-Anlage einen Preis von 0,10 €/kWh ansetzen, für den Haushaltsstrom sicher über 0,30 €/kWh. Am günstigsten ist somit das Laden daheim oder in der Schule mit Nutzung des Stroms einer Photovoltaikanlage. Elektromobilität kombiniert mit Photovoltaik hat positive wirtschaftliche Effekte und macht sich positiv bei den Umweltbelastungen bemerkbar.

5.3 Aufbau einer Ladeinfrastruktur

Abb. 11 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Ladeinfrastruktur, um elektrische Energie aus dem Netz zu beziehen, aber auch um die eigene PV-Anlage zu nutzen. Es sind einige Zähler eingezeichnet. Welche davon benötigt werden, hängt auch von den gesetzlichen Regelungen ab, die derzeit überarbeitet werden – zudem kann der Netzbetreiber gewisse Vorgaben machen. Der untenstehende Schaltplan enthält zudem einen Speicher für



photovoltaisch erzeugten Strom, um den Eigenverbrauch zu erhöhen, d. h. Solarstrom auch in Zeiten ohne Sonnenschein zur Verfügung zu haben. Dies erhöht die Nachhaltigkeit der Elektromobilität, ist aber nicht zwingend erforderlich.

Abb. 11: Schema Ladeinfrastruktur

Ladestationen dürfen nur von einem Elektro-Fachbetrieb installiert werden und müssen vorher beim Netzbetreiber angemeldet oder ggf. genehmigt werden. Am besten lässt man die vorhandene Elektroinstallation im Vorfeld überprüfen.

Es sind einige Kriterien abzufragen und einzuhalten. Die Auswahl der Örtlichkeit hat so zu erfolgen, dass alle Handhabungen rund um das Laden immer sicher möglich sind. Der Hausanschluss ist auf die neue gleichzeitig benötigte Leistung zu überprüfen. Die notwendigen Angaben erhält der Netzbetreiber durch den Antrag des Elektroinstallateurs zur Inbetriebnahme. Eine Anmeldung beim Netzbetreiber ist in jedem Fall erforderlich. Nur Elektrofachkräfte dürfen mit Aufgaben rund um Bewertung, Planung, Errichtung, Erweiterung, Änderung und Instandhaltung von Ladeinfrastruktur betraut werden.

5.4 Literatur und Hinweise im Internet

Zahlreiche Hinweise und Unterlagen sind im Internet verfügbar. Beispielhaft sind die folgenden zu nennen, die allerdings oft aktualisiert werden. Falls der direkte Link also nicht funktioniert, bitte auf der jeweiligen Website nachsehen.

1. ADAC-Test Elektrofahrzeuge

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/kaufen/elektroautos-uebersicht/>

2. Die Anschaffung von Elektrofahrzeuges wird bezuschusst,

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/kaufen/foerderung-elektroautos/>

3. Stromverbrauch von Elektroautos

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>

4. Förderung und Beschaffung und Errichtung einer Ladestation für Elektroautos im nicht öffentlichen Bereich ist möglich

[https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Förderprogramme-\(Inlandsförderung\)/PDF-Dokumente/6000004534_M_440_Ladestationen_Elektroautos.PDF](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Förderprogramme-(Inlandsförderung)/PDF-Dokumente/6000004534_M_440_Ladestationen_Elektroautos.PDF)

5. Broschüre „Photovoltaik und Elektromobilität sinnvoll kombinieren“

https://www.pvp4grid.eu/wp-content/uploads/2019/08/1905_PVP4Grid_Bericht_Deutschland_RZ_web_BSW.pdf

6. Technischer Leitfaden LADEINFRASTRUKTUR ELEKTROMOBILITÄT Version 4

<https://www.vde.com/resource/blob/988408/87ed1f99814536d66c99797a4545ad5d/technischer-leitfaden-ladeinfrastruktur-elektromobilitaet--version-4-data.pdf>

6 Zusammenfassung und Ausblick

2021 war durch die langen, coronabedingten Schulschließungen wieder eine Herausforderung für die Schulen. Der SeV konnte sich aber auf das große Engagement der Betreuerinnen und Betreuer der PV-Anlagen aus dem Programm „Sonne in der Schule“ verlassen, die damit weiterhin dazu beitragen, dass sich das Bewusstsein für die regenerativen Energien in der jungen Generation verfestigt.

Meteorologisch war 2021 ein „durchschnittliches Jahr“, allerdings mit extremen Dauer- und Starkregen im Juli. Der erreichte Ertragsmittelwert von 741 kWh/kW ist für die lange Laufzeit der Anlagen und unter den Wetterbedingungen durchaus als gut zu bezeichnen. Man beachte, die PV-Anlagen wurden durch die Vorgängerprogramme „Sonne in der Schule“ und SONNEonline“ zwischen den Jahren 1994 und 1997 errichtet.

Es bestätigte sich auch 2021, dass, wie schon erwähnt, das Programm „Sonne in der Schule“ durch den steten Einsatz der Betreuerinnen und Betreuer der PV-Anlagen so viele Jahre erfolgreich durchgeführt werden kann und damit auch der Beweis erbracht wird, dass kleine PV-Anlagen über einen langen Zeitraum regenerative Energie produzieren können.

Hingewiesen kann wieder darauf werden, dass der SeV weiterhin als Ansprechpartner für Fragen oder auftretende Probleme mit der PV-Anlage aus dem Programm „Sonne in der Schule“ den Schulen zur Seite steht.

In diesem Bericht wird auch das Thema der Elektrofahrzeuge in Verbindung mit der erforderlichen Ladeinfrastruktur behandelt. Photovoltaik spielt zur Bereitstellung nachhaltig erzeugter Energie eine wichtige Rolle.



**Solarenergieförderverein
Bayern e.V.**

Bavarian Association for the Promotion
of Solar Energy



Soldach Messe München, 1 MW PV-Anlage auf den 6 mittleren Hallen (B-Hallen) der Messe München
(Foto: Messe München International)

Hintergrund

Der Solarenergieförderverein Bayern e.V. (SeV) wurde 1997 als Non-Profit-Organisation gegründet, um Erträge, die mit einer 1 MW PV-Anlage auf der Messe München erwirtschaftet wurden, wieder in die Förderung Erneuerbarer Energien fließen zu lassen.

Mit den Stromerlösen von 1997 bis 2017 leistet der SeV einen laufenden Beitrag zur Fortentwicklung und Markteinführung Erneuerbarer Energien.

Hintergrund aller Aktivitäten des Vereins ist die Förderung des Klima- und Umweltschutzes.

Förderprojekte (Auswahl)

- Programm „Sonne in der Schule“
- Architektur & Solarenergie
- Informationsschriften
- Wissenschaftliche Studien
- Förderpreise (z. B. SeV-Hochschulpreis)
- Soziale Projekte in weniger entwickelten Ländern

Impressum

Herausgeber

Solarenergieförderverein Bayern e.V.

Büro

Friedrich-List-Str. 88

81377 München

Tel.: 089/27813428

Fax: 089/27813430

info@sev-bayern.de

www.sev-bayern.de

Redaktion

Monika Becker

Prof. Dr.-Ing. Gerd Becker

Fabian Flade, M. A.

Dr. Bruno Schiebelsberger

Dipl.-Ing., Dipl. Wirtsch.-Ing. Walter Weber

Gestaltung

Frido Flade GmbH FP-Werbung

Realisation: Fabian Flade, M. A.

fabian.flade@fp-werbung.com

Copyright

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig.

© 2022

Trotz sorgfältiger Prüfung kann keine Garantie hinsichtlich der Richtigkeit und Genauigkeit der Angaben gegeben werden.