

Solarenergieförderverein
Bayern e. V.

Bavarian Association for the Promotion
of Solar Energy



**SONNE
IN DER SCHULE**

BETRIEBSBERICHT
2022

Inhalt

1	Programm „Sonne in der Schule“ im Jahr 2022	3
2	Auswertung der Betriebsdaten	4
2.1	Datenbasis	4
2.2	Meteorologische Daten	4
2.2.1	Charakterisierung des Jahres 2022	5
2.2.2	Globalstrahlung 2022	5
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	12
3	Betreuung	13
3.1	Überblick	13
3.2	Module	13
3.3	Defekte Wechselrichter	13
3.4	Förderung einer Visualisierung	13
3.5	Unterrichtshilfen	13
4	Messdatenabgabe	13
5	Schlaglicht: Wärme aus der Umgebung für die Beheizung von Gebäuden	14
5.1	Wärmepumpenkreislauf mit Luft/Wasser-Wärmepumpe	14
5.2	Praktischer Aufbau	15
5.3	Leistungszahl und Jahresarbeitszahl	15
5.4	Photovoltaikanlage zur zusätzlichen Stromerzeugung	16
5.5	Kältemittel und Ökologie der Wärmepumpe	16
6	Zusammenfassung und Ausblick	17

1 Programm „Sonne in der Schule“ im Jahr 2022

Im Jahr 2022 konnte in den Schulen weitestgehend wieder ein „normaler“ Schulalltag Einzug halten. Die Anforderungen blieben aber weiterhin hoch und deshalb ist das Engagement der Betreuer und Betreuerinnen der Photovoltaik (PV)-Anlagen aus „Sonne in der Schule“ nicht hoch genug einzuschätzen. Wieder ist eine beachtliche Rückmeldequote (49,3 % der teilnehmenden Schulen) zu verzeichnen. Alle aussagekräftigen Betriebsdaten sind in den Bericht eingeflossen.

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 angeboten wird. Leider muss in diesem Zusammenhang darauf verwiesen werden, dass durch die sehr lange Laufzeit von fast 30 Jahren in den meisten Fällen keine Ersatzkomponenten mehr beschafft werden können. Der

SeV versucht aber weiterhin, wenn die Schulen um Rat fragen, „Hilfe zur Selbsthilfe“ zu geben.

Die 1 MW PV-Anlage „Solardach Messe München“ war bis zum 31.12.2016 zum größten Teil Eigentum des SeV. Mit den finanziellen Mitteln die bis dahin angesammelt wurden, konnten und können verschiedenste Solarprojekte, 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. 2022 nahmen 456 Schulen an dem Programm teil. Zum Vergleich, vor 20 Jahren waren es 997 Schulen.

Das Sonderthema dieses Berichts befasst sich mit dem Thema „Wärmepumpe und Photovoltaik“, da für

viele Häuser der Austausch von Heizungen mit fossilen Brennstoffen gegen eine umweltverträglichere Wärmegewinnung angedacht wird.

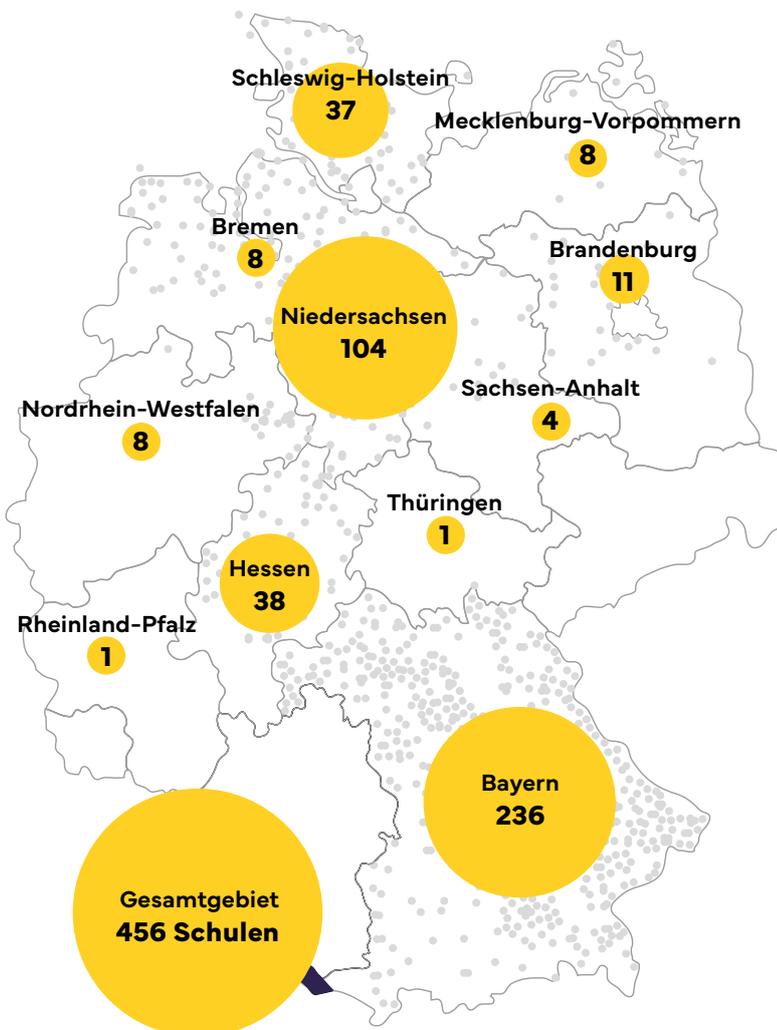


Abb. 1: Verteilung der aktuell registrierten Sonne in der Schule-PV-Anlagen auf die Bundesländer.

2 Auswertung der Betriebsdaten

Die Schulen, die am Programm teilnehmen, wurden zum Ende des Jahres 2022 angeschrieben und gebeten, die monatlichen Energieerträge ihrer PV-Anlagen an den SeV zu senden. 224 Schulen meldeten für das Jahr 2022 die Betriebsdaten der PV-Anlage, auch wenn sie evtl. aus verschiedenen Gründen nicht in Betrieb war. Diese übermittelten Daten bilden die Basis für die Auswertungen.

2.1 Datenbasis

	Anzahl Schulen		
	2022	2021	Änderung
Basisdaten vorhanden von	456	497	- 8,2 %
Messdaten erhalten von	225	239	- 5,9 %
Anlagen ohne Betriebsunterbrechung	111	121	- 8,3 %

Tab. 1: Statistik des Rücklaufs der Betriebsdaten in den Jahren 2022 und 2021

Die Statistik des Rücklaufs der Betriebsdaten 2022 und 2021 mit den Änderungen zeigt Tab. 1. Die Anzahl der teilnehmenden Schulen hat sich auch im betrachteten Jahr 2022 verringert (von 497 auf 456), 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 225 Schulen Messdaten erhalten, was einer Rücklaufquote von 49,3 % entspricht, bezogen auf die 456 Schulen, die sich aktuell in der Datenbank von „Sonne in der Schule“ befinden.

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 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, die erzeugte elektrische Energie, hängt wesentlich von der eingestrahnten Solarenergie, der 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 eingestrahnten 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 2022

2022 war laut Deutschem Wetterdienst (DWD), auf dessen Pressemitteilungen sich die angeführten Wetterbeobachtungen beziehen, mit dem deutschlandweiten Durchschnitt der Temperatur von 10,52 °C das wärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnung. Ebenso gab es einen Rekord bei der Sonnenscheindauer mit 2.025 Stunden im bundesweiten Mittel. Diese Daten zeigen, dass die Erderwärmung weiter voranschreitet.

Der Januar begann frühlingshaft, war deutlich zu warm, der Winter nur in den Bergen zu erleben und die Sonne schien im Durchschnitt 45 Stunden. Es folgte ein erheblich zu milder, niederschlagsreicher Februar mit Stürmen und 85 Stunden Sonnenschein. Der März wurde der sonnigste seit Aufzeichnungsbeginn, die Sonnenscheindauer lag mit über 235 Stunden 111 Stunden über ihrem Soll. Zudem hatte der Monat eine ungewöhnlich lange trockene Witterungsphase und es wurde außergewöhnlich viel Saharastaub bis nach Mitteleuropa transportiert.

Der April brachte alles, von Spätwinter bis Frühsommer, Sturm und Nachtfröste. Im Ganzen war er aber etwas zu warm und recht sonnig – 195 Sonnenstunden. Hoher Luftdruck sorgte neben viel Sonne – 250 Stunden – im Mai dafür, dass die Trockenheit weiter zunahm. Die heftigen Gewitter und Stürme im Süden und Westen linderten diese nicht. Der Sommer begann mit einem zu warmen und trockenen Juni. Im Osten gab es sengende Hitzetage, Trockenheit und folgenschwere Waldbrände. Die Sonne zeigte sich an 275 Stunden.

Auch im Juli kam es zu regionalen Hitzerekorden, Dürre und wieder zu Feld- und Waldbränden. Er war deutlich zu warm, zu trocken und mit 265 Stunden sehr sonnig. Der August wurde ebenso extrem warm, sehr trocken und außergewöhnlich sonnenscheinreich – 270 Stunden. Entlang des Rheins und in der Rhein-Main-Region schien die Sonne sogar über 300 Stunden. Im September kam endlich der ersehnte Niederschlag, er wurde äußerst nass, hatte durchschnittliche Temperaturen und mit 155 Stunden erreichte die Sonne ihr Soll.

Im Oktober wurde es wieder extrem warm, vereinzelt gab es Tiefausläufer mit kräftigen Niederschlägen und mit gut 140 Stunden überrundete die Sonne ihr Soll von 109 Stunden erkennbar. Auch im November erreichte die Sonne ein Plus von 40 Prozent und schien 75 Stunden. Der Monat war wieder zu warm, zu trocken und zu sonnig. Der Dezember begann winterlich und weckte die Hoffnung auf weiße Weihnachten. Diese Hoffnung erfüllte sich nicht, es wurde wieder warm und frühlingshaft mit Rekordtemperaturen zum Jahreswechsel (bis zu 20 °C und mehr). Die Sonnenscheindauer lag mit 39 Stunden im vieljährigen Mittel.

2.2.2 Globalstrahlung 2022

Die monatlichen Mittelwerte der Globalstrahlung – auf eine waagerechte Fläche – des Jahres 2022 sind für verschiedene Standorte im Gebiet von „Sonne in der Schule“ in Tab. 2 dargestellt. Die Werte wurden vom DWD bereitgestellt und der Zeitschrift „Sonnenenergie“ der DGS entnommen. Sie ermöglichen eine überschlägige Abschätzung des Ertrages einer Photovoltaikanlage und sind besonders für Vergleiche des Ertrages in verschiedenen Regionen geeignet.

Sonne in der Schule – Betriebsbericht 2022

2022	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
Aachen	21	41	111	134	181	187	191	163	99	69	35	17	1.166
Augsburg	35	57	124	134	182	198	204	176	101	68	37	23	1.337
Berlin	17	36	113	125	177	194	182	145	98	68	30	13	1.197
Bonn	16	37	112	129	184	187	181	167	97	63	32	15	1.221
Braunschweig	15	37	109	123	179	197	174	160	99	70	30	16	1.210
Bremen	16	38	104	133	171	185	162	161	92	66	27	14	1.166
Chemnitz	20	43	107	119	186	194	179	146	99	69	36	19	1.218
Frankfurt/M.	17	42	111	124	184	193	193	175	97	63	29	16	1.245
Giessen	17	38	106	116	173	186	181	172	92	61	26	15	1.184
Göttingen	14	38	109	123	176	199	173	169	99	68	34	17	1.218
Hamburg	14	33	101	138	164	187	168	156	89	62	23	14	1.150
Hannover	14	37	106	125	176	195	169	161	95	67	30	16	1.191
Heidelberg	22	43	113	128	178	194	203	177	99	66	31	20	1.275
Hof	20	44	108	121	182	196	181	164	98	66	34	16	1.230
Kassel	15	39	109	117	174	195	170	170	95	65	34	16	1.200
Kiel	17	33	99	136	163	179	164	157	92	59	19	16	1.128
List auf Sylt	17	34	99	142	172	179	156	159	92	55	19	13	1.138
München	38	62	127	134	179	196	200	173	101	68	41	26	1.345
Nürnberg	20	49	120	132	187	199	194	180	102	67	34	20	1.304
Regensburg	21	50	122	126	179	201	192	167	98	68	35	24	1.285
Rostock	17	37	99	142	177	187	175	159	96	61	21	11	1.182
Stralsund	17	37	101	140	173	188	184	154	102	60	24	11	1.192
Weihenstephan	32	59	126	133	181	201	205	175	101	68	38	24	1.340
Würzburg	20	48	111	135	187	197	196	172	96	63	32	19	1.278

Tab. 2: Monatliche Werte der Globalstrahlung 2022 – auf eine waagerechte Fläche – in kWh/m² für verschiedene Orte im Gebiet von **Sonne in der Schule** (Quelle: Deutscher Wetterdienst – DWD)

Es sind deutliche Unterschiede zu erkennen. Die höchste Globalstrahlung – auf die waagerechte Fläche – wurde mit 1.345 kWh/m² in München gemessen, der geringste Wert mit 1.128 kWh/m² in Kiel. Zwischen beiden Werten liegt eine Differenz von 19,2 %, bezogen auf den niedrigeren Wert.

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

Globalstrahlung in Deutschland

Basierend auf Satellitendaten und Bodenwerte aus dem DWD-Messnetz

Jahressumme 2022

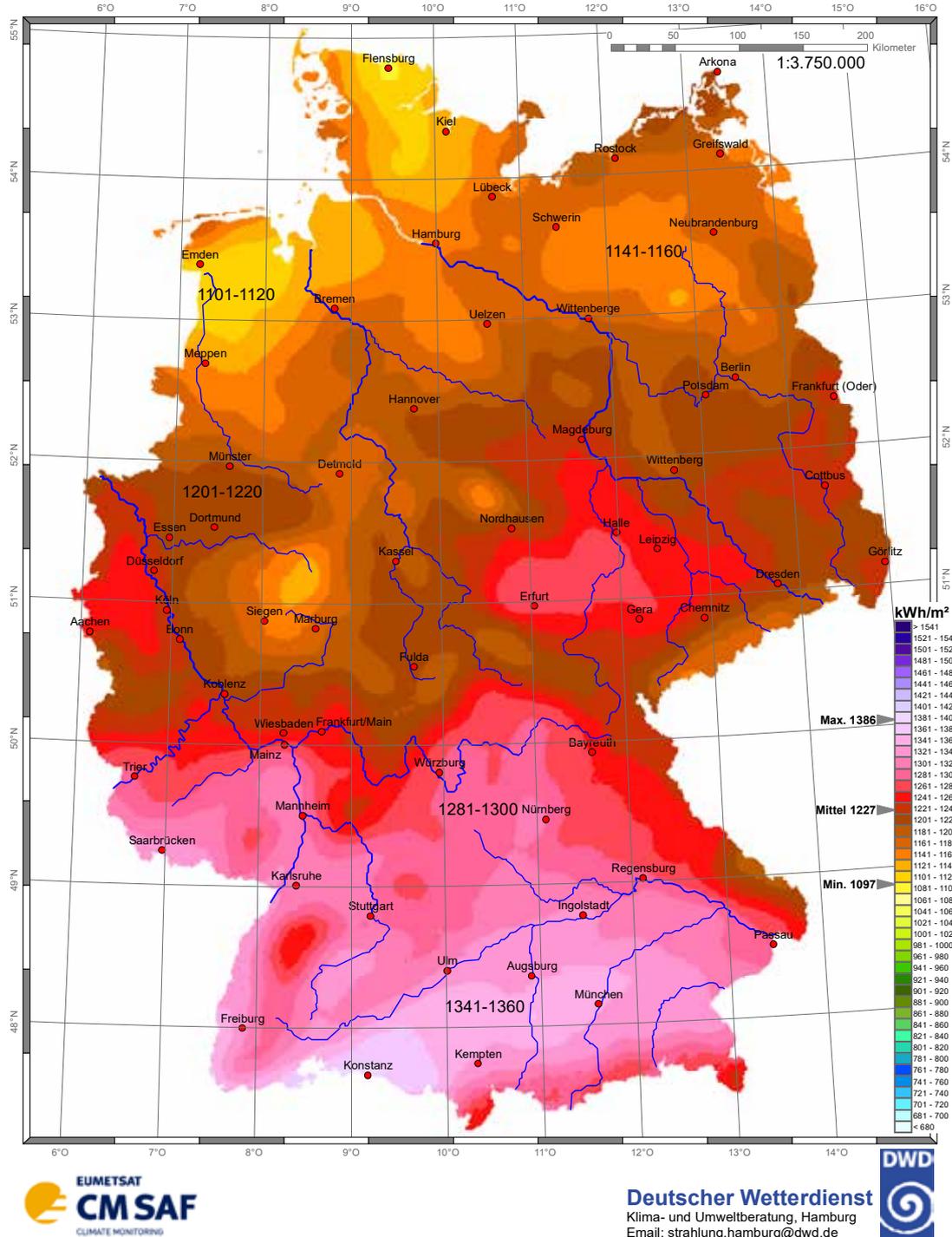


Abb. 2: Globalstrahlung in Deutschland 2022

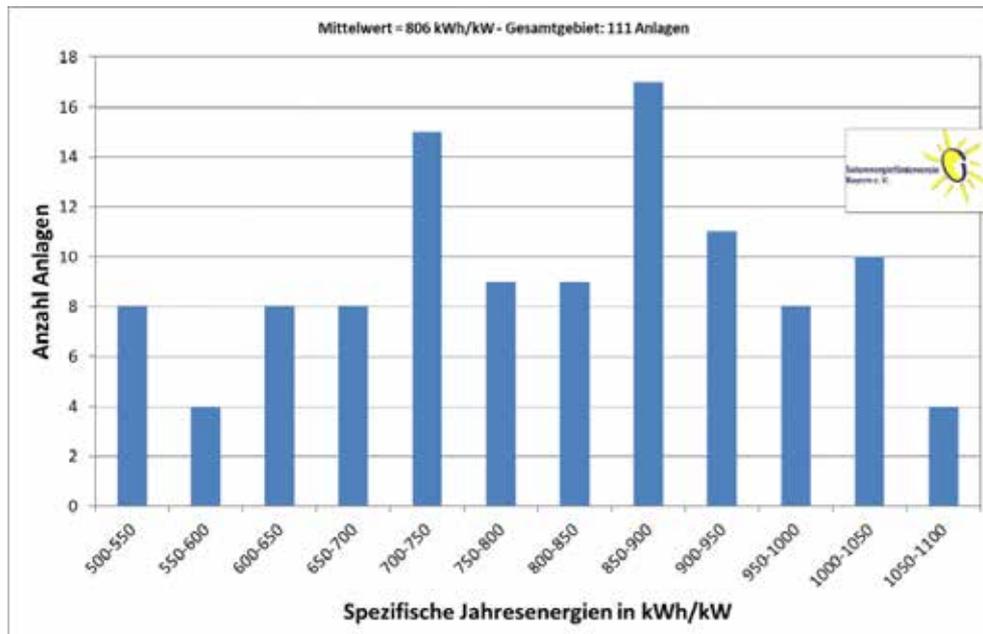


Abb. 3: Verteilung des spezifischen Ertrags im Gesamtgebiet 2022

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 $1001 \text{ kWh} / 1,1 \text{ kW} = 910 \text{ kWh/kW}$.

Abb. 3 zeigt für das Gesamtgebiet von „Sonne in der Schule“ im Jahr 2022 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. Die dargestellten Erträge sind auf die Leistung 1 kW bezogen.

Der spezifische Ertrag aller berücksichtigten Anlagen im Gesamtgebiet von „Sonne in der Schule“ vom Norden bis in den Süden Deutschlands lag im Jahr 2022 bei durchschnittlich 806 kWh/kW und damit über dem Wert von 741 kWh/kW von 2021. 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. Die Erträge der meisten Anlagen liegen im Bereich von 750 - 1050 kWh/kW. Das Programm läuft jetzt weit über 20 Jahre, teilweise über 25. Dafür sind die erreichten spezifischen Erträge beachtlich.

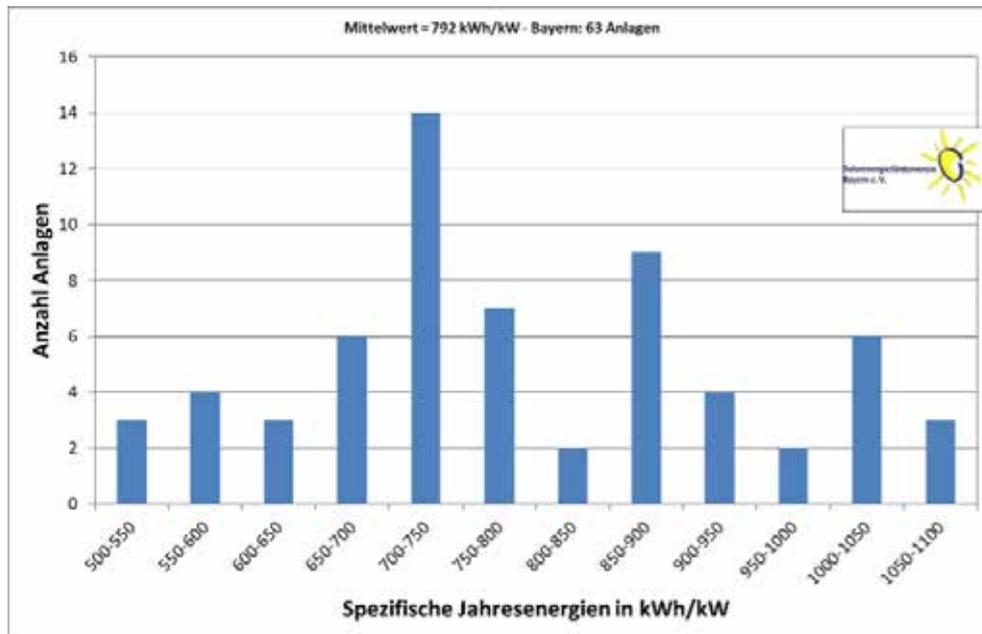


Abb. 4: Spezifische Erträge in Bayern 2022

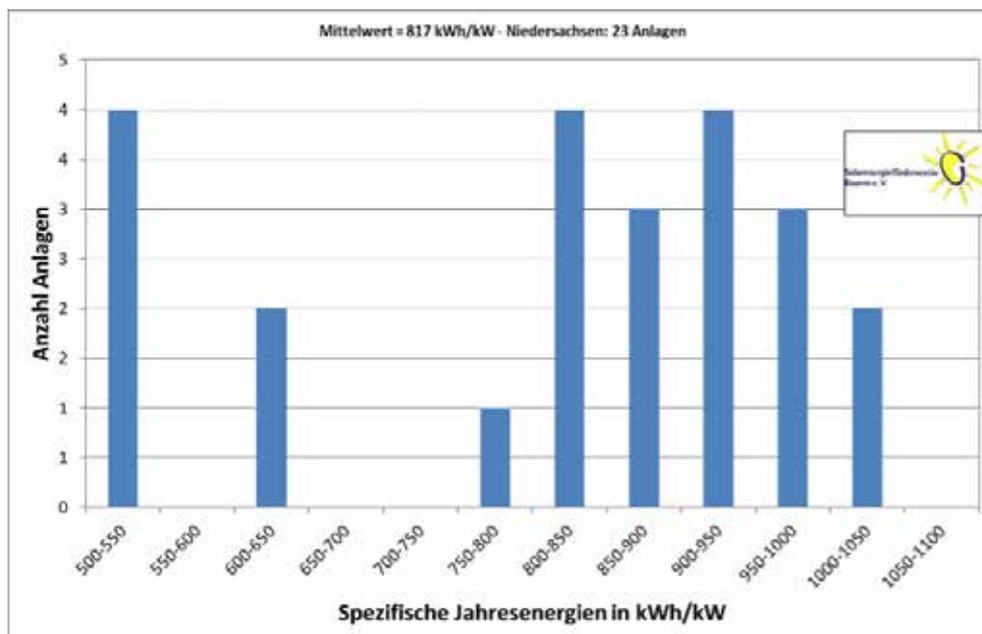


Abb. 5: Spezifische Erträge in Niedersachsen 2022

Das Programm läuft jetzt weit über 20, teilweise bald 30 Jahre. Dafür sind die erreichten spezifischen Erträge beachtlich.

Aussagen über die Verteilung der spezifischen Energieerträge sind beispielhaft an den Bundesländern Bayern und Niedersachsen in Bild 4 und Bild 5 dargestellt.

Bundesland	Anzahl Anlagen mit nutzbaren Datensätzen 2022	Mittelwert spezifischer Ertrag 2022 kWh/kW	Veränderung des Ertrags gegenüber 2021
Bayern	63	792	5,2 %
Hessen	7	793	10,1 %
Niedersachsen	23	817	15,4 %
Schleswig-Holstein	7	761	4,2 %
Brandenburg	3	904	28,4 %
Mecklenburg-Vorpommern	2	940	17,4 %
Nordrhein-Westfalen	2	986	22,0 %
Sachsen-Anhalt	1	891	-0,1 %
Bremen	2	760	27,9 %
Thüringen	0	0	./.
Rheinland-Pfalz	1	959	./.
Gesamtgebiet	111	806	8,8 %

Tab. 3: Anzahl der Anlagen mit „nutzbaren Datensätzen“ im Jahr 2022 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.

Im Vergleich zum Vorjahr hat die höhere Globalstrahlung 2022 entsprechend die Erträge erhöht.

2.3.2 Betriebsstörungen und Nichtverfügbarkeiten

Die Störungsmeldungen haben auch im Jahr 2022 zugenommen und stiegen auf 49,8 %, siehe Tabelle 4. Angesichts des Alters der Anlagen überwiegt aber bei weitem die Erkenntnis, dass bereits die Photovoltaik der „frühen Jahre“ über lange Zeit zuverlässig Energie gewinnen kann.

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 %
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	49,4 %
2022	221	111	110	49,8 %

Tab. 4: Langjährige Daten zu Betriebsstörungen und Nichtverfügbarkeiten

2.3.3 Erträge einzelner Schulen

Beispielhaft zeigen die Bilder 6, 7 und 8 als Balkendiagramme den Verlauf der monatlichen spezifischen Energieerträge von drei Schulen in Bayern, Niedersachsen und Brandenburg. Als Linie ist der monatliche Mittelwert aller Schulen mit nutzbaren Daten dargestellt.

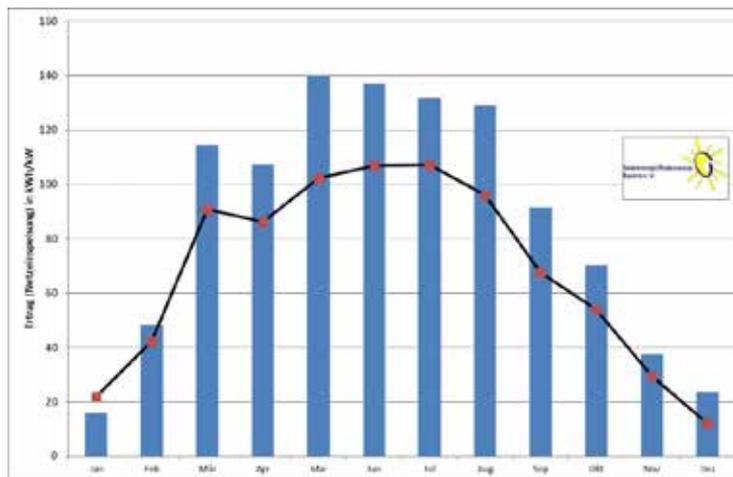


Abb. 6:
Schule in Bayern
(Unterfranken) –
spezifischer Jahres-
ertrag 1.047 kWh/kW

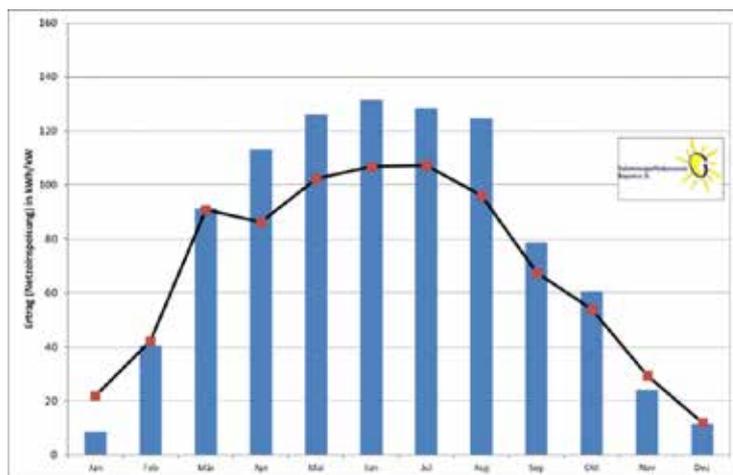


Abb. 7:
Schule in
Niedersachsen –
spezifischer Jahres-
ertrag 939,5 kWh/kW

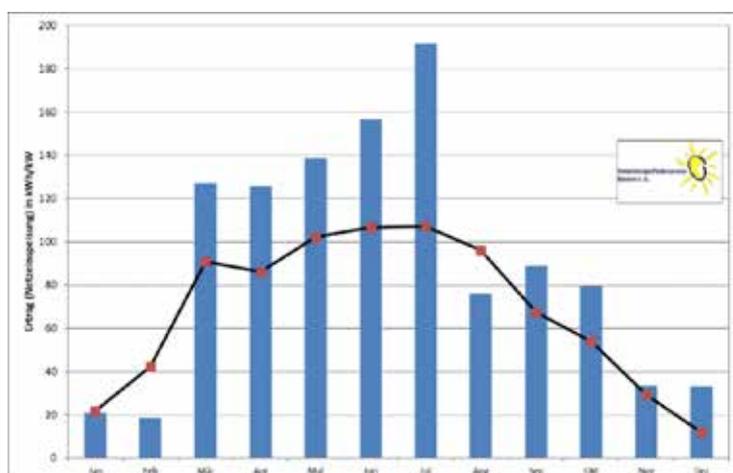


Abb. 8:
Schule in Brandenburg
– spezifischer Jahres-
ertrag 1.090,3 kWh/kW

3 Betreuung

3.1 Überblick

2022 kamen, bedingt durch die abnehmende Zahl der teilnehmenden Schulen, weniger Betreuungsanfragen. 59 Schulen kontaktierten den SeV, wie z. B. Erträge abgelesen werden können, was zu tun ist, wenn der Wechselrichter defekt ist, welche Möglichkeiten es gibt, wenn die Schule eine größere Anlage errichten möchte oder ob etwas beim Abbau der alten PV-Anlage zu beachten ist.

Der SeV steht weiterhin mit Rat und Tat zur Seite. Leider sind aber nach der langen Laufzeit der PV-Anlagen keine Austauschkomponenten mehr auf dem Markt und auch keine Fachkräfte vorhanden, die defekte Teile reparieren. Daher müssen PV-Anlagen ggf. vom Netz genommen werden oder sie speisen evtl. noch ein, die Erträge können aber nicht mehr abgelesen werden. Es sei auch hier betont, dass die Anlagen lange Jahre ihren Beitrag zur Energiewende geleistet haben.

3.2 PV-Module

Bei den Modulen ist es ebenfalls so, dass der Fundus von Siemens- und Kyocera-Modulen inzwischen aufgebraucht ist, sodass leider kein Ersatz mehr angeboten werden kann. Neue Module bedeuten einen großen Aufwand an Umverkabelung, es empfiehlt sich dann eher eine neue PV-Anlage zu errichten.

3.3 Defekte Wechselrichter

Lange Zeit konnte der SeV den Schulen beim Austausch eines defekten Wechselrichters durch Reparatur oder Austausch des defekten Geräts helfen. Aber auch hier gibt es keine neuen Wechselrichter, die in einem vertretbaren Aufwand eingebaut werden könnten. Ebenso fehlen Fachkräfte, die Reparaturen durchführen würden. Die Hilfe durch den SeV ist damit sehr eingeschränkt worden.

3.4 Förderung einer Visualisierung

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle – BAFA – fördert die Visualisierung regenerativer Energiesysteme an öffentlichen Gebäuden im Rahmen der „Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen“ (BEG EM). Unter dem Link, aufgerufen am 22.03.2023, 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 22.03.2023, sind zu finden unter: <http://www.ufu.de/service/downloads/>

4 Messdatenabgabe

168 Schulen haben bis zum 15. Februar 2023 die Messdaten 2022 der PV-Anlage an den SeV übermittelt. Unter diesen Schulen wurden 3 x 100 € verlost, folgende Schulen sind die Preisträger:

- Berufliches Schulzentrum Alfons Goppel, Schweinfurt
- Dr.-Wilhelm-Polthier-Oberschule, Wittstock
- Ludwig-Bölkow-Schule, Donauwörth

5 Schlaglicht: Wärme aus der Umgebung für die Beheizung von Gebäuden

Wie in den vergangenen Jahren enthält der Jahresbericht ein aktuelles „Schlaglicht“, das sich im weiteren Bereich mit Photovoltaik beschäftigt.

Bedingt durch die Transformation unseres Energiesystems sollen zukünftig Wärmepumpen (WP) verstärkt zur Beheizung von Gebäuden genutzt werden. Die Wärmequellen für die WP sind vielfältig wie z. B.: Außenluft, Grundwasser, Fließwasser, Seen, Bohrungen im Erdreich (z. B. 80 m tief), Kunststoff-Wärmetauscher im Erdreich, Abwasserkanäle sowie auch industrielle Abwärme. Diese können mithilfe einer Wärmepumpe – und damit u. a. mit Hilfe von elektrischer Energie – für die Beheizung von Räumen verfügbar gemacht werden. In Kombination mit einer PV-Anlage lässt sich ein Teil der benötigten elektrischen Energie aus Solarenergie erzeugen. Eventuell kann ein Stromspeicher für noch bessere Nutzung der angebotenen photovoltaischen Solarenergie hinzugefügt werden.

5.1 Wärmepumpenkreislauf mit Luft/Wasser-Wärmepumpe

Es gibt eine große Anzahl von verschiedenen Wärmepumpentypen. Hier wird nur die elektrisch betriebene Kompressionswärmepumpe behandelt und zwar in der Ausführung als **Luft/Wasser-Wärmepumpe**, eine in der Praxis sehr häufig vorkommende Variante, mit der Wärme aus der Umgebungsluft in Gebäude gebracht wird. **Abbildung 9** erläutert die Funktion.

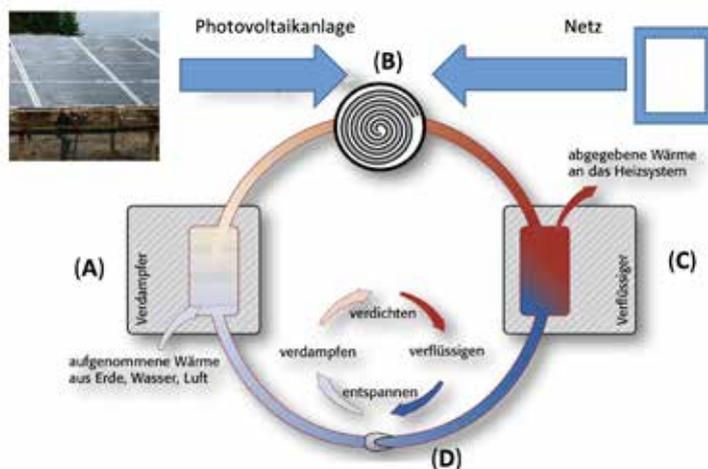


Abb. 9: Funktion der Elektro-Wärmepumpe: Wärme aufnehmen (A) – Verdichten mit Hilfe von elektrischer Antriebsenergie aus dem Netz und der PV-Anlage (B) – Verflüssigen und Verdampfen (C) – Entspannen (D)

- Im **Verdampfer** der Wärmepumpe (A) befindet sich das flüssige Kältemittel bei geringem Druck. Das Temperaturniveau der Umweltwärme außen am Verdampfer (z. B. - 5 °C) ist höher als die Siedetemperatur des Kältemittels (z. B. R410a mit - 51 °C bei 1 bar), dadurch verdampft dieses und entzieht dabei der Umgebung Wärme.
- Der Kältemitteldampf wird anschließend vom **Verdichter** (B) angesaugt und mit Hilfe von Antriebsenergie aus Netz und PV-Anlage komprimiert. Dabei steigt seine Temperatur, somit erreicht man ein akzeptables Temperaturniveau für Heizung und Warmwasserbereitung.
- Die Wärme wird im **Verflüssiger** (C) an das Heizsystem abgegeben.
- Im nachgeschalteten **Entspannungsventil** (D) wird der Druck des Kältemittels abgebaut, es wird abgekühlt und dadurch wieder flüssig. Der Kreislauf kann erneut beginnen.

5.2 Praktischer Aufbau

Den praktischen Aufbau einer Luft/Wasser-Wärmepumpe mit einer Außeneinheit zeigt **Abbildung 10**. Ventilatoren der Außeneinheit saugen Außenluft an, durch deren Temperatur ein in der WP zirkulierendes Kältemittel im Wärmetauscher verdampft. Der Verdichter komprimiert dieses Gas und steigert somit dessen Temperatur. Es wird über Leitungen in die Inneneinheit geführt, wo es am Verflüssiger seine thermische Energie an das Heizsystem (mit Pufferspeicher) abgibt und dabei wieder kondensiert.



Abb. 10: Praktischer Aufbau einer Luft/Wasser-Wärmepumpe mit außenstehendem Verdampfer und Verdichter sowie innen befindlichem Verflüssiger und einem Speicher für das erzeugte Warmwasser

5.3 Leistungszahl und Jahresarbeitszahl

Die Elektro-Wärmepumpe benötigt für den Betrieb elektrische Energie. Sie produziert damit – da sie die Umweltwärme nutzt - mehr Heizenergie als elektrische Energie eingesetzt wird. Zwei Kennzahlen beschreiben diese Arbeitsweise:

- Die Leistungszahl ε ist das Verhältnis vom momentan abgegebenen Heizwärmestrom zur momentan benötigten – meist elektrischen – Antriebsleistung. Sie ist also ein Momentanwert und wird auf dem Prüfstand unter Laborbedingungen gemessen. Ihre englische Bezeichnung ist Coefficient of Performance, kurz **COP**. Der Wert bezieht sich nur auf die Wärmepumpe und nicht auf das Heizsystem.
- Interessant für den Betrieb ist die Jahresarbeitszahl **JAZ**. Die JAZ ist das Verhältnis von eingesetzter Energie zur erzeugten Heizwärme einer Heizanlage einschließlich aller Aggregate. Praktische Werte der JAZ für eine Luft/Wasser-Wärmepumpe können je nach Ausführung der Heizungsanlage und Wärmequelle schwanken. Sehr gute Systeme erreichen Jahresarbeitszahlen von 4, dabei werden also aus 1 kWh Strom 4 kWh Heizwärme erzeugt. In der Praxis liegen die erreichten Werte oft deutlich darunter. Erreicht die Wärmepumpe eine JAZ von 3 und benötigt das Gebäude 18.000 kWh an Heizwärme, so sind dafür 6.000 kWh an elektrischer Energie aufzuwenden.

Die Leistungszahl und damit auch der wirtschaftliche Einsatz von WP ist umso besser, je kleiner die Differenz zwischen der Temperatur der Wärmequelle (Luft, auch Erdreich oder Wasser bzw. andere Quellen) und der Vorlauftemperatur des

Heizwassers ist. Da die Temperatur der Wärmequelle begrenzt ist, insbesondere beim Einsatz im Wohnungsbereich, ist ein Heizsystem mit möglichst niedriger Vorlauftemperatur erforderlich.

5.4 Photovoltaikanlage zur zusätzlichen Stromerzeugung

Der allergrößte Anteil der benötigten elektrischen Energie – also Antriebsenergie – kommt aus dem Netz. Durch die stark gefallen Kosten (seit 2012) für PV-Anlagen ist es insbesondere ökologisch sinnvoll, dass die Antriebsenergie zum Teil auch aus einer PV-Anlage bereitgestellt wird. Es ist jedoch ökonomisch nicht sinnvoll, die PV-Anlage so groß zu dimensionieren, dass sie immer den Bedarf der Wärmepumpe decken kann. In diesem Fall würde sehr viel Überschuss an photovoltaischer Energie zu niedrigen Vergütungen in das Netz gespeist. Es ist zu bedenken, dass die meiste Wärmeenergie im Winter benötigt wird, also in der Jahreszeit, in der wenig photovoltaische Energie erzeugt wird. Ein Speicher für die elektrische Energie der PV-Anlage kann die Situation jedoch verbessern.

5.5 Kältemittel und Ökologie der Wärmepumpe

Alle Wärmepumpen benötigen ein Kältemittel, das sich in einem geschlossenen Kreislauf befindet. Es nimmt die Niedertemperaturwärme auf, die Wärmepumpe bringt diese dann auf ein höheres Temperaturniveau. Heutzutage werden hauptsächlich synthetische Kältemittel genutzt. Ein Beispiel ist R410a, ein Gemisch aus verschiedenen H-FKW (teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe) mit einem Siedepunkt (bei 1 bar) von - 51 °C und einer Verflüssigungstemperatur (bei 25 bar) von 43 °C. Das Kältemittel ist die Achillesferse der Wärmepumpe. Die genannten teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffe sind zwar für die Ozonschicht harmlos, weisen jedoch ein hohes Treibhausgaspotential auf. Kältemittelverluste sind beim unsachgemäßen Befüllen der Anlage sowie durch Verluste bei fehlerhaftem Betrieb nicht auszuschließen.

Der Gesetzgeber und auch die Hersteller der Wärmepumpen haben hierauf reagiert. Ab 1.1.2025 dürfen für Monosplitanlagen (WP außer Haus) mit einer Füllmenge > 3 kg keine Kältemittel mit einem Global Warming Potential GWP > 750 eingesetzt werden. Damit sind die bisher gängigen Kältemittel (R410A und R407C) nicht mehr zu verwenden. Die meisten Anbieter von WP bieten daher schon seit längerem WP mit sogenannten „natürlichen Kältemitteln“ (R290 = Propan) an, wobei der GWP-Wert bei 3 liegt.

Die angestrebten Ziele der „Wärmewende“ sind ohne den nennenswerten Einsatz von WP mittelfristig nicht erreichbar. Im Hinblick auf die ökologischen Ziele ist auch der weitere Ausbau der regenerativen Stromerzeugung eine wesentliche Voraussetzung.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die PV-Anlagen aus „Sonne in der Schule“ konnten in dem wärmsten und dem sonnenscheinreichen Jahr 2022 wieder für einen guten Beitrag bei der Bereitstellung von regenerativer Energie sorgen. Mit einem Mittelwert von 806 kWh/kW lag dieser weit über dem des Vorjahres von 741 kWh/kW. Dies ist zudem bemerkenswert, da viele dieser Anlagen in den Jahren 1994 bis 1997 errichtet wurden und somit bald 30 Jahre ihren Dienst verrichten.

Es bestätigte sich auch 2022, dass das Programm „Sonne in der Schule“ durch den steten Einsatz der Betreuerinnen und Betreuer der PV-Anlagen so viele Jahre erfolgreich durchgeführt werden konnte. Damit wurde gezeigt, dass PV-Anlagen über einen langen Zeitraum regenerative Energie produzieren können. „Sonne in der Schule“ hat durch die Energiewende an Aktualität gewonnen. Von großer Bedeutung ist derzeit das Thema der Wärmepumpe zur Beheizung von Gebäuden, auch dieses wird im Bericht behandelt.

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.



**Solarenergieförderverein
Bayern e.V.**

Bavarian Association for the Promotion
of Solar Energy



Solardach 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

Prof. Dr.-Ing. Gerd Becker
Monika 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.

© 2023

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