

Jürgen K. Wittlinger

Photovoltaikanlagen im Steuerrecht

Steuerliche Grundlagen zur Nutzung
der Sonnenkraft

2. Auflage



Springer Gabler

Photovoltaikanlagen im Steuerrecht

Jürgen K. Wittlinger

Photovoltaikanlagen im Steuerrecht

Steuerliche Grundlagen zur Nutzung
der Sonnenkraft

2. Auflage



Springer Gabler

Jürgen K. Wittlinger
Plochingen, Deutschland

ISBN 978-3-658-09127-9
DOI 10.1007/978-3-658-09128-6

ISBN 978-3-658-09128-6 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Gabler

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2012, 2015

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Vorwort

Die Stromerzeugung mittels einer eigenen Photovoltaikanlage ist in den letzten Jahren für immer mehr Verbraucher zu einer echten Alternative geworden. Entsprechende Überlegungen, sich eine Photovoltaikanlage zuzulegen, werden durch die nachhaltig steigenden Energiepreise gefördert, aber auch das Bemühen um eine umweltverträgliche Energieerzeugung führt zu einer Abkehr von anderen Energiequellen.

Die Investition in eine Photovoltaikanlage ist ein gut zu überlegender Schritt, da er mit nicht unbeträchtlichem finanziellem und bautechnischem Aufwand verbunden ist. Schließlich soll eine möglichst wirtschaftliche Energieerzeugung erreicht werden.

Die Wirtschaftlichkeit einer Photovoltaikanlage wird auch und gerade durch eine optimale Besteuerung der Anlage erreicht. Mögliche Steuervorteile federn die finanziellen Aufwendungen ab und lassen den Break-even (die Gewinnschwelle) des Sonnenstroms früher erreichen.

Dieses Werk führt den Leser behutsam in die Grundlagen des Steuerrechts und den Umgang mit dem Finanzamt ein. Denn durch die Anschaffung einer Photovoltaikanlage wird der Status eines „Unternehmers“ bzw. eines Gewerbetreibenden erlangt. Damit sind neue Pflichten verbunden; zugleich eröffnen sich aber auch zusätzliche Gestaltungsmöglichkeiten, die einem „normalen“ Steuerzahler nicht zur Verfügung stehen.

Der Aufbau des Buches orientiert sich am zeitlichen Ablauf: von der Planung bis zur Verwirklichung, von den ersten steuerlichen Vorfragen bis zur jährlichen Abrechnung mit dem Finanzamt. Es werden mögliche Optionen und weitere Aspekte dargelegt, mit denen sich eine Optimierung der Besteuerung einer Photovoltaikanlage erreichen lassen.

In möglichst lockerem Stil wird der Leser in die Steuerwelt eingeführt. Dabei wird auf bisher nur rudimentär vorhandene Steuerkenntnisse abgestellt und das erforderliche steuerliche Wissen Schritt für Schritt aufgebaut. Das einschlägige Fachvokabular wird bewusst zurückhaltend verwendet, ohne es aber völlig zu vermeiden. Denn nichts wäre schlimmer, als mangels Kenntnis der Fachsprache letztlich in der Steuerwelt nicht kommunizieren zu können. Viele Missverständnisse zwischen Finanzamt und Steuerzahler sind auf die fehlende „gemeinsame Sprache“ zurückzuführen.

Das Werk ist auch für fortgeschrittene Leser von Interesse, die erstmals in die unternehmerische Sphäre eintauchen. Selbst für Angehörige der steuerberatenden Berufe bietet es

eine gute Grundlage, wenn es darum geht, das erforderliche Grundwissen dem Betreiber einer Photovoltaikanlage möglichst einfach zu vermitteln.

Plochingen, im Juni 2015

Jürgen K. Wittlinger

Inhaltsverzeichnis

1	Von der Sonne zum Strom	1
1.1	Begriff	1
1.2	Ökologie	2
1.3	Historie	4
1.4	Physik	6
1.4.1	Wie funktioniert Photovoltaik?	6
1.4.2	Unterschiedliche Systeme	10
1.4.3	Einflussfaktoren für die Stromerzeugung	11
1.5	Planen und Errichten	14
1.5.1	Fachgerechte Planung	14
1.5.2	Fachgerechte Installation	17
1.6	Laufender Betrieb	20
1.6.1	Wartung	20
1.6.2	Versicherung	22
	Literatur	22
2	Förderung des Solarstroms	23
2.1	Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	24
2.1.1	Ziele	24
2.1.2	Grundprinzip	24
2.1.3	Netzeinspeisung	26
2.1.4	Eigenverbrauch	26
2.1.5	EEG-Umlagepflicht	28
2.1.6	Marktintegrationsmodell	29
2.1.7	Förderungssätze	29
2.2	KfW-Darlehen	34
2.2.1	Wer kann einen Antrag stellen?	34
2.2.2	Welche Anlagen werden gefördert?	35
2.2.3	Wie hoch kann ein Darlehen sein?	35
2.2.4	Welche Laufzeit hat ein KfW-Darlehen?	35
2.2.5	Zu welchen Konditionen gibt es die Darlehen?	35

2.2.6	Was ist bei der Antragstellung zu beachten?	36
2.2.7	Wie erfolgt die Auszahlung?	36
2.2.8	Welche Sicherheiten sind erforderlich?	36
2.2.9	Wie ist das Darlehen zu tilgen?	36
2.3	BAFA	37
2.4	Weitere Fördertöpfe	37
2.4.1	Bundesländer	37
2.4.2	Städte und Gemeinden	38
2.4.3	Energieversorger	38
2.4.4	Banken	39
	Literatur	39
3	Wirtschaftlichkeit	41
3.1	Grundlagen für die Wirtschaftlichkeit	42
3.1.1	Welche Faktoren sind maßgebend?	42
3.2	Wirtschaftlichkeitsberechnungen	45
3.3	Ein Musterfall	46
3.4	Ausblick	50
	Literatur	50
4	Steuerrecht	51
4.1	Formalitäten	52
4.1.1	Gewerbeanmeldung	52
4.1.2	Finanzamt	53
4.1.3	Steuernummer	53
4.1.4	Fragebogen	54
4.2	Umsatzsteuer	54
4.2.1	Benötigte Steuernummer	56
4.2.2	Unternehmer	57
4.2.3	Sonderstellung Kleinunternehmer	61
4.2.4	Unternehmen	64
4.2.5	Unternehmensvermögen	65
4.2.6	Umsatz	72
4.2.7	Steuerpflicht	76
4.2.8	Bemessungsgrundlage	76
4.2.9	Soll- oder Ist-Versteuerung	80
4.2.10	Umsatzsteuer-Voranmeldung	82
4.2.11	Technik	84
4.2.12	Umsatzsteuer-Jahreserklärungen	85
4.2.13	Vorsteuerabzug	86
4.2.14	Nachweise, Belege	93
4.2.15	Wann liegt eine Leistung für das Unternehmen vor?	94

4.2.16	Wann entsteht der Vorsteueranspruch?	97
4.2.17	Was geschieht bei einer Entgeltsänderung?	98
4.2.18	Einfuhrumsatzsteuer als Vorsteuer	98
4.2.19	Vorsteuer aus innergemeinschaftlichem Erwerb	99
4.2.20	Vorsteuerausschluss	101
4.2.21	Aufteilung der Vorsteuer	104
4.2.22	Vorsteuerberichtigung	105
4.2.23	Umkehr der Steuerschuldnerschaft	108
4.3	Einkommensteuer	110
4.3.1	Grundlagen	110
4.3.2	Zu versteuerndes Einkommen	111
4.3.3	Steuerfestsetzung	111
4.3.4	Einkünfte aus Gewerbebetrieb	112
4.3.5	Gewinnermittlung	116
4.3.6	Betriebsvermögen	119
4.3.7	Wann sind Erträge oder Aufwendungen zu erfassen?	123
4.3.8	Betriebseinnahmen	124
4.3.9	Betriebsausgaben	127
4.3.10	Arbeitszimmer	138
4.3.11	Abschließendes Beispiel	139
4.3.12	Rechtsprechung	141
4.4	Gewerbsteuer	144
4.4.1	Grundlagen	145
4.4.2	Bemessungsgrundlage	145
4.4.3	Hinzurechnungen	146
4.4.4	Kürzungen	147
4.4.5	Steuerermäßigung	147
4.4.6	Ein oder zwei Betriebe?	147
4.5	Weitere Steuerarten	149
4.5.1	Bauabzugssteuer	149
4.5.2	Grunderwerbsteuer	152
4.5.3	Lohnsteuer	155
	Weiterführende Literatur	158
5	Strategien	161
5.1	Mögliche ergänzende Strategien	161
5.1.1	Investitionszulage	161
5.1.2	Haushaltsnahe Steuerermäßigung	165
5.1.3	Gemeinschaftsanlagen	166
5.1.4	Fremdes Dach	168

5.1.5	Probleme aus der Praxis	173
5.1.6	Weitere rechtliche Tipps	175
	Literatur	176
6	Anlagen	177
6.1	Anlage 1: Förderung für ältere Anlagen	177
6.2	Checkliste	188
	Literatur	189
	Anhang	191
	Sachverzeichnis	193

Dieses Buch befasst sich in erster Linie mit der steuerrechtlichen Seite einer Photovoltaikanlage. Diesem weit überwiegenden steuerlichen Teil werden dennoch allgemeine Fakten und Grundwissen zur Stromerzeugung mittels einer Photovoltaikanlage vorangestellt. Dies rundet das Themengebiet nicht nur insgesamt ab, sondern dient auch dem besseren Verständnis.

Es wird zunächst der Begriff „Photovoltaik“ erläutert und sodann die ökologischen Vor- und Nachteile dargestellt. Daran anschließend folgt eine Übersicht über die wesentlichen physikalischen Grundlagen zur Stromerzeugung. Da häufig bereits beim Planen und Erstellen einer Photovoltaikanlage erhebliche Fehler gemacht werden bzw. Mängel auftreten können, werden hierzu die wichtigsten Punkte angeführt.

Eng mit den grundsätzlichen ökologischen und energiepolitischen Überlegungen verbunden ist die Förderung der Photovoltaik durch den Gesetzgeber. Eine Förderung erfolgt primär durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und die darin festgelegte Einspeisevergütung sowie vergleichbare zusätzliche Vergütungen für den erzeugten Strom. Diese und andere Fördermaßnahmen verbessern die betriebswirtschaftlichen Rahmenbedingungen der Photovoltaik ganz erheblich und begünstigen eine frühzeitigere Gewinnerzielung mit der Photovoltaikanlage.

1.1 Begriff

Der Begriff „Photovoltaik“ setzt sich zusammen aus

- „Photos“ – dem griechischen Wort für Licht und
- „Volta“ – nach Alessandro Volta, dem Pionier der Elektrotechnik.

In diesem Werk wird die ursprüngliche Schreibweise „Photovoltaik“ oder die Abkürzung „PV“ bevorzugt. Seit der letzten Rechtschreibreform ist zwar „Fotovoltaik“ die

gängige Schreibweise, Photovoltaik ist aber als Nebenform weiterhin zulässig und zumindest derzeit auch die noch überwiegend gebräuchliche Variante. Beides meint jedoch dasselbe, nämlich die direkte Umwandlung von Sonnenenergie mittels Solarzellen in elektrischen Strom.

- **Tipp** Lassen Sie sich nicht irritieren: Anstelle des Begriffs „Photovoltaikanlage“ werden in den Medien gelegentlich auch Bezeichnungen wie Solarmodul, Solarzelle, PV-Modul, etc. verwendet. Gemeint ist meistens das Gleiche – die Photovoltaik, also das Erzeugen von Strom aus der Sonnenenergie.

Die Photovoltaik ist jedoch nur ein Teilbereich der Solartechnik. Der andere Kernbereich der Solartechnik ist die **Solarthermie**. Gemeinsam ist beiden Nutzungsformen, dass sie auf die Kraft der Sonne zurückgreifen. Dennoch sollten beide Formen unterschieden und nicht verwechselt werden:

- Photovoltaik – es wird Strom erzeugt,
- Solarthermie – es wird Wärme erzeugt.

Die Solarthermie nutzt die Sonneneinstrahlung nicht zur Gewinnung von elektrischem Strom, sondern es wird direkt die Wärmestrahlung der Sonne genutzt. Eine Solarthermieanlage unterstützt oder ersetzt die Heizungsanlage bei der Erwärmung des Trink- bzw. Heizungswassers. Die Thermiekollektoren auf dem Dach sehen auf den ersten Blick aus wie Solarkollektoren. Doch diese Kollektoren werden von einer Flüssigkeit durchströmt, welche die Wärme aufnimmt. Ein Wärmetauscher entzieht diese Wärme, sie gelangt in einen Speicher. Das abgekühlte Wasser strömt wieder zurück in den Kollektor; der Kreislauf beginnt erneut.

1.2 Ökologie

Die Sonnenenergie besteht aus Licht und Wärme. Zusammengenommen sendet die Sonne 10.000-mal mehr Energie zur Erde als alle Menschen an Primärenergie benötigen. Dieser riesige „Fusionsreaktor Sonne“ sendet in nur 32 Minuten so viel Energie zur Erde als alle Bewohner unseres Planeten in einem Jahr verbrauchen. Und das trotz verregelter Sommermonate und der dunklen, sonnenarmen Winterzeit. In konkreten Zahlen stellt sich dies wie folgt dar:

- Die gesamte Menschheit benötigt an Energieleistung derzeit ca. 16 Terawatt.
- Die Sonneneinstrahlung auf die Erde liegt dagegen bei 150.000 Terawatt.

Dabei wandelt die Sonne in jeder Sekunde rund 650 Millionen Tonnen Wasserstoff zu Helium um (vgl. Schmitz und Volkmann [2015](#)). Nach irdischen Maßstäben gerechnet ist

das Potenzial der Sonne unerschöpflich. Die Sonne wird weitere 4 Milliarden Jahre ihre Energie zur Erde aussenden.

Der sog. Lichtenergieeintrag durch die Sonne kann aufgefangen und in Elektrizität umgewandelt werden. Und das unter ökologisch sehr guten Bedingungen. Denn der wesentliche Vorteil dabei ist, dass dies ohne Nebenprodukte – insbesondere ohne Abgase wie Kohlendioxid (CO_2) – möglich ist. Richtig ist aber auch, dass für die Produktion der Photovoltaikanlage eine große Menge Energie benötigt wird und damit zunächst ein zusätzlicher CO_2 -Ausstoß verbunden ist. Doch bereits nach 3 Jahren ist die Energiebilanz wieder positiv, da die mit der Anlage erzeugte Energie den Energiebedarf für deren Herstellung übersteigt. Fortan wird Energie erzeugt, ohne dass dies die Umwelt belastet.

Erstmals in der Geschichte war 2011 in Deutschland mehr Energiekapazität durch Solarkraftwerke am Netz als durch Kernkraftwerke. Einer Gesamtnennleistung von ca. 15 Gigawatt aus Kernkraft stehen ca. 17 Gigawatt Nennleistung aus Photovoltaik entgegen. Zwar ist dies vor allem mit bedingt durch das Abschalten der älteren Atomreaktoren in 2011, es zeigt jedoch auch die mittlerweile recht verbreitete Nutzung der Sonnenkraft im Land und die beträchtliche daraus erzeugte Strommenge.

Doch dieser Vergleich hinkt etwas, da er auf der Nennleistung beruht. Während ein Kernkraftwerk oder ein anderer Kraftwerkstyp nahezu die vorgesehene Nennleistung auch im Dauerbetrieb erreicht, ist dies bei der Photovoltaik gerade nicht der Fall. Wolken, Nebel und Regen, und nicht zuletzt die Nachtstunden reduzieren die tatsächliche Leistung aller Photovoltaikanlagen ganz erheblich. Diese stark schwankenden Strahlungsmengen erschweren die Verbreitung und den wirtschaftlichen Einsatz der Photovoltaik. Die wetterbedingten Schwankungen sind kaum vorhersehbar. Doch nicht nur die Tageszeit bedingte Sonneneinstrahlung differiert ganz beträchtlich, auch die Jahreszeit bedingte Sonneneinstrahlung weist einen enormen Unterschied auf. So erbringt eine Photovoltaikanlage bei sonst gleichen Bedingungen im Monat Juli gegenüber dem Dezember einen bis zu 5× höheren Ertrag.

Deutlich zu positiven verändert haben sich hingegen die Investitionskosten für eine PV-Anlage. War noch vor ein paar Jahren eine photovoltaische Stromerzeugung angesichts der Investitionskosten für eine Anlage deutlich teurer als eine Produktion in konventionellen Kraftwerken, so ist mittlerweile die Differenz der Investitionssummen deutlich geringer. Spätestens wenn man in einer Berechnung auch noch die enormen bzw. nur schwer kalkulierbaren Folge- und Langzeitkosten anderer Erzeugungsarten (speziell der Kernkraft) mit einbezieht, ist eine Photovoltaikanlage bereits heute ein gleichwertiger Mitspieler auf dem Energiemarkt.

Dennoch kann derzeit die Photovoltaik nur ein Baustein im gesamten Energiemix sein. Dies spiegelt sich auch in folgendem Zahlenwerk wider: Von der gesamten in Deutschland erzeugten Strommenge des Jahres 2014 stammen 5,8 % aus der Photovoltaik, der Anteil aller erneuerbaren Energien zusammen liegt bei knapp 27 %. Problematisch ist nach wie vor die Schwankungsbreite der Photovoltaik: Zwar ist diese mittlerweile in der Lage rund 50 % des Stromverbrauchs an einem sonnigen Sommer-Sonntag abzudecken, doch bereits an einem sonnigen Werktag sind dies nur 35 %, an einem regen-trüben Tag hinge-

gen 0 %. So erklärt sich auch, dass der Anteil der Photovoltaik bezogen auf die gesamte Energieerzeugung – insbesondere Strom und Wärme – trotz der erheblicher installierter Nennleistung bei nur knapp über 1 % immer noch relativ gering ist.

Erfreulich ist hingegen ein Blick auf Details. In manchen Städten werden mittlerweile schon 50 % des benötigten Stroms durch Photovoltaikanlagen erzeugt. Für das gesamte Bundesland Bayern sind dies bereits 5 %. Auch wenn das Wachstum des Solarmarkts nicht mehr ganz so stürmisch verläuft wie noch vor 5 Jahren, ist die Zunahme des aus der Photovoltaik erzeugten Stroms an der Gesamtproduktion doch nachhaltig und eindeutig. Die oben genannten noch eher bescheidenen Zahlen sind damit nur eine Momentaufnahme.

Der sog. Zubau, also die Gesamtleistung der neu ans Netz gegangenen Solarstromanlagen, hatte sich in Deutschland in nur wenigen Jahren jeweils verdoppelt. Doch seit 2011 kam es erstmals zu teils stagnierenden und sodann nur noch gemäßigt ansteigenden Zubauraten. Dieser Rücksetzer ist bedingt durch eine Kürzung der staatlichen Förderung, die stetig angepasst und damit auf verantwortbare Werte reduziert wird.

Der größte Solarmarkt der Welt ist Deutschland; hier sind derzeit rund 26 % aller Anlagen installiert; 2010 lag der deutsche Anteil noch bei über 50 %. Anders dagegen die Seite der Produktion: Zum Jahresende 2014 kamen rund 90 % der weltweit hergestellten Solarzellen und mehr als 85 % der Module aus dem asiatischen Raum (überwiegend aus China). Die einstmals aufstrebende deutsche Solarindustrie ist überwiegend zum Erliegen gekommen; viele Firmen mussten Insolvenz anmelden.

Doch über allem steht der wesentliche und entscheidende Vorteil einer Photovoltaikanlage – es wird „sauberer Strom“ produziert. Bei der Stromgewinnung entsteht kein Kohlendioxid (CO_2). Und auch der Energieverbrauch für die Produktion der Anlage ist nach wenigen Jahren wieder kompensiert. Vor allem entsteht an Ende der Nutzungsdauer einer Photovoltaikanlage kein Sondermüll; eine Anlage lässt sich praktisch vollständig recyceln.

1.3 Historie

Die Photovoltaik nutzt den photoelektrischen Effekt. Dieser wurde 1839 durch den französischen Physiker Alexandre Edmond Becquerel entdeckt. Er stellte fest, dass bei Beleuchtung einer Elektrolytzelle eine elektrische Spannung entsteht (vgl. Schmitz und Volkmann 2015). Diesen Zusammenhang zwischen Licht und Strom konnte er sich aber nicht erklären.

In den Folgejahren haben verschiedene Forscher den Effekt an einem Selenkristall nachvollzogen und dabei auch eine deutlich erhöhte Leitfähigkeit von Selen bei dessen Belichtung registriert.

Doch erst 1904 hat der deutsche Physiker Hallwachs mit seinen Untersuchungen des photoelektrischen Effekts die Grundlage für eine Entwicklung einer Photozelle gelegt – der nach ihm benannte Hallwachseffekt.

Die abschließende theoretische Herleitung blieb jedoch Albert Einstein vorbehalten. Dieser hat das zugrunde liegende Prinzip 1905 mit seiner Lichtquantenhypothese wissenschaftlich erklärt und dafür 1921 den Nobelpreis für Physik erhalten.

Erst nach vielen weiteren Entwicklungsschritten gelang es 1954 Wissenschaftlern in den USA die erste Siliziumzelle mit einem passablen Wirkungsgrad von 4 % zu produzieren.

Damit eröffnete sich die wirtschaftliche Nutzung der Photovoltaik – sofern diese auf die Nutzung durch den Menschen bezogen wird. Denn das Pflanzenreich nutzt die Energie der Sonne von Anbeginn im Rahmen der Photosynthese zur Gewinnung von Energie für das Pflanzenwachstum.

Die erste bedeutende Verwendung fand 1955 zur Stromversorgung von Telefonverstärkern statt. Doch der eigentliche Beginn der Nutzung des Sonnenstroms lag im Weltraum. Dort wurde Ende der 1950er-Jahre mit Sonnenkollektoren Energie für den Betrieb der Satelliten gewonnen. 1958 startete der amerikanische Satellit „Vanguard 1“, der immerhin 6 Jahre lang seinen Sendebetrieb dank Solarzellenenergie aufrechterhalten konnte (vgl. Schmitz und Volkmann 2015). Die Nachfrage aus der Raumfahrt führte ganz wesentlich zu den entscheidenden Fortschritten in der Entwicklung von Photovoltaikzellen.

Auf der Erde begann die Nutzung der Photovoltaik zur Stromerzeugung erst später. Ein Auslöser waren die Energiekrisen in den 1970er-Jahren, insbesondere die Ölkrise 1973, sowie das gestiegene Umweltbewusstsein in der Bevölkerung. Dadurch kam es verstärkt zur Nutzung und vor allem zu einer technischen Weiterentwicklung dieser Energiewandler. Solarzellen finden seither ihre Anwendung auf Dachflächen, bei Parkscheinautomaten, in Taschenrechnern, an Schallschutzwänden und auf Freiflächen.

1982 ging das erste Solarkraftwerk mit einer Leistung von 1 Megawatt in Kalifornien in Betrieb. 1985 folgte ebenfalls in Kalifornien eine Anlage mit bereits 6,5 Megawatt. Die Nutzung wurde auch durch eine verstärkte staatliche Förderung der Photovoltaik begünstigt. Für Deutschland ist hierzu das 1.000-Dächer-Programm in 1990, das Sonne-in-der-Schule-Programm und das sehr erfolgreiche 100.000-Dächer-Programm in den Jahren 2001–2003 zu nennen (vgl. Schmitz und Volkmann 2015).

Der Durchbruch der Photovoltaik in die Breite wurde ab 1991 durch die Förderung im Rahmen des deutschen Stromeinspeisungsgesetzes unterstützt. Dies verpflichtete die Energieversorger, den Solarstrom für 16,61 Pfennig je kWh abzunehmen. Diese erste Förderung wurde durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ab 2000 weiter ausgebaut und in größerem Umfang durch finanzielle Anreize gefördert.

Eine weitere positive Zwischenetappe konnte dann in 2011 gezogen werden: In Deutschland überstieg die Energiekapazität der Solarkraftwerke erstmals das der Kernkraftwerke. Hauptursache dafür war jedoch das Abschalten der älteren Atomreaktoren in Deutschland, mittelbar ausgelöst durch die Katastrophe in Fukushima in der Woche ab dem 11.03.2011. Dennoch zeigt sich anhand dieser Werte die mittlerweile große Verbreitung der Photovoltaik vor allem in Deutschland (vgl. BSW-Solar 2011).

1.4 Physik

Die Sonne sendet seit Milliarden von Jahren ihre Energie zur Erde und wird es weitere 4 Milliarden Jahre unablässig tun. Die Sonnenenergie ist enorm. Selbst das nicht gerade in Äquatornähe gelegene Deutschland erreicht Sonnenenergie mit einer Leistung von 900–1.200 kWh je Quadratmeter. Oder plastischer gesagt, mit einem Energiegehalt, der 90–120 Litern Heizöl entspricht. Damit kann bereits eine ca. 30 qm große Photovoltaikanlage den Stromverbrauch eines durchschnittlichen Haushalts abdecken.

Es gibt innerhalb Deutschlands bezogen auf die erzielbare Sonnenenergie gewisse regionale Unterschiede, doch sind diese nicht so gravierend. So kann im süddeutschen Raum mit einer Anlage ein Jahreswert von etwa 1.100 kWh/kWp erzielt werden. Hingegen sind dies in Norddeutschland selbst bei optimaler Ausrichtung und Neigung der Anlage nur etwa 900 kWh/kWp (vgl. Schmitz und Volkmann 2015). Doch auch dies ist ein Wert, der einen wirtschaftlichen Betrieb einer Photovoltaikanlage ermöglicht.

Die obigen Daten bringen aber den ersten Erläuterungsbedarf mit sich:

- **kWh** steht für Kilowatt je Stunde,
- **kWp** für Kilowatt Peak.

Kilowatt Peak (kW peak) steht für die mögliche Spitzenleistung (engl. Peak = Spitze). Der Wert gibt die Leistung an, die ein Modul bei voller Sonneneinstrahlung erreicht. Dabei wird als maßgebende Standortbedingung von einem Kilowatt je Quadratmeter ausgegangen; dies ist ein Wert der in Deutschland an einem Sommertag in den Mittagsstunden erreicht wird. 1 kWp entspricht ca. 1.000 kWh Stromerzeugung im Jahr.

Diese Peak-Leistung wird meist auch als „Nennwert“ bzw. „Nennleistung“ bezeichnet. Da weder die Sonne ständig voll scheint, noch immer Sommer ist, handelt es sich dabei um einen nicht ständig realisierbaren Wert. Zudem muss beachtet werden, dass allein durch die Erwärmung der Solarzellen bis zu 20 % weniger Leistungsausbeute möglich ist.

1.4.1 Wie funktioniert Photovoltaik?

Photovoltaik ist die direkte Umwandlung des Sonnenlichts in elektrischen Strom. Die Sonne gibt ihre Energie nicht nur als Licht- und Wärmestrahlung, sondern auch als elektromagnetische Strahlen ab. Der Wellenlängenbereich dieser Strahlen reicht vom kurzwelligen und damit nicht sichtbaren Ultraviolett (UV-Licht), über das sichtbare Licht bis hin zur langwelligen Wärmestrahlung im infraroten Bereich.

Für die Umwandlung der elektromagnetischen Strahlen in Strom wird der sog. photoelektrische Effekt genutzt. Die Photonen treffen in einer Solarzelle auf eine speziell behandelte Schicht – meist aus einem auf Silizium basierenden Halbleitermaterial (Photozelle) – und bringen dort Elektronen in Fluss. Dadurch entsteht ein elektrischer Stromfluss.

Bei einer Photovoltaikanlage bilden viele Solarzellen zusammen ein Solarmodul – meist in der Größe $1 \times 0,5$ Meter. Mehrere Module verbunden bilden die Photovoltaikanlage.

Es gibt verschiedene Zelltypen (vgl. Schmitz und Volkmann 2015). Diese unterscheiden sich nach der Art der Materialien und Konzepte, der Form, Farbe und der Leistung. Im Wesentlichen wird unterschieden in:

- Kristalline Zellen (monokristallin, polykristallin). Diese ist die derzeit am häufigsten anzutreffende Form.
- Dünnschichtzellen (amorphes Silizium, Cadmium-Tellurit, Kupfer-Indium-Diselenid), welche aktuell eher die Ausnahme sind.

Dünnschichtmodule haben ein besseres Schwachlichtverhalten und bringen damit einen besseren Ertrag – rund 78 % mehr Spitzenleistung bei ungünstigen Lichtverhältnissen. Insgesamt liegt die Stromausbeute aber um ca. 12 % hinter den kristallinen Zelltypen zurück. Der Vorteil der Dünnschichtmodule besteht in einem geringeren Material- und Energieeinsatz (vgl. Frentrop 2008). Auch sind nahezu alle Modulformate darstellbar. Dem stehen die höheren Kosten gegenüber.

Die Anlage erzeugt Gleichstrom, der durch einen sog. Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt wird. Als Wechselstrom kann er in das öffentliche Netz eingespeist oder im Haushalt direkt verbraucht werden.

Photovoltaikanlagen sind mittlerweile technisch sehr zuverlässig und können auch in ihrer Einsatzdauer mit konventionellen Heiz- bzw. Stromerzeugungsanlagen Schritt halten. Nachdem anfangs mit einer Nutzungsdauer von 20 Jahren kalkuliert wurde, wird heute eine wirtschaftliche Nutzungsdauer von 25–30 Jahren, teilweise bereits auch von bis zu 40 Jahren zugrunde gelegt.

1.4.1.1 Komponenten einer Solaranlage

Eine an das allgemeine Stromnetz angeschlossene Photovoltaikanlage besteht aus einer Vielzahl von Einzelkomponenten. Diese werden in alphabetischer Reihenfolge nachfolgend genannt und in ihrer Funktionsweise kurz erläutert.

Akkumulator

Für Inselanlagen (siehe nächster Abschnitt) ist die Speicherung der erzeugten Energie ganz wesentlich. Dies erfolgt mittels einer Batterie – dem Akkumulator – der die Zwischenlagerung des Stroms bis zu dessen Verbrauch übernimmt. Diese oder andere Formen der Speicherung der erzeugten Energie werden für die weitere Verbreitung und Nutzung von Photovoltaikanlagen jeglicher Art von sehr großer Bedeutung sein! Hier liegt daher auch ein Schwerpunkt der aktuellen Forschung.

Ausrichtung

Eine Photovoltaikanlage ist idealerweise in Richtung Süden mit einer Neigung von 30° zur Sonne ausgerichtet. Diese Ausrichtung ermöglicht den höchsten Ertrag der Anlage. Nicht immer weist eine Dachfläche diese optimale Ausrichtung auf, jedoch lässt sich dies durch verschiedenartige Aufstellungen bzw. Gestelle meist problemlos nachbessern. Dazu bedient sich der Fachmann sog. dachparalleler Gestelle für Schrägdächer oder aufgeständerter Gestelle für Flachdächer.

Freischalter

Diese abgeschlossene Einrichtung einer Anlage wird von den Energieversorgern bzw. Netzbetreibern gefordert und ist grundsätzlich nur diesen zugänglich. Sie trennt den Wechselrichter vom Netz in das eingespeist wird.

Gleichstromleitung

Dies ist die Hauptleitung. Sie verbindet den Generatoranschlusskasten, in welchem alle Photovoltaikmodule zusammengeschaltet werden (siehe: Verschaltung) mit dem Wechselrichter.

Silizium

Silizium ist ein Halbleitermaterial mit Elektronen, die in einer Kristallstruktur verhältnismäßig gut an die Atomkerne gebunden sind. Zwar ist Silizium das zweithäufigste Element der Erdkruste, es kommt aber nicht in reiner Form vor. Vielmehr muss es aufwändig aus anderen Verbindungen – insbesondere aus Sand, Quarz und Bergkristall – herausgelöst werden. Die Siliziumzellen haben meist eine Größe von 10×10 cm, neuerdings auch $12,5 \times 12,5$ cm oder 15×15 cm. Sie sind mit einer durchsichtigen Antireflexschicht überzogen, die dem Schutz der Zelle dient und Reflexionsverluste vermindert.

Schalteinrichtungen

Es gibt gleichstromseitige (vor dem Wechselrichter) und wechselstromseitige Schalteinrichtungen (nach dem Wechselrichter). Diese dienen jeweils der Notabschaltung der Anlage, wodurch diese spannungsfrei gestellt wird.

Solarzellen

Solarzellen – oder auch photovoltaische Zellen genannt – sind elektrische Bauelemente, welche die im Licht enthaltene Strahlungsenergie in elektrische Energie umwandeln. Im Regelfall bestehen Solarzellen aus Silizium, das in zwei verschiedenen Schichten angeordnet ist. Dies sind ein positiver Ladungsträgerüberschuss – die p-leitende Halbleiterschicht – und ein negativer Ladungsträgerüberschuss – die n-leitende Halbleiterschicht. Im Grenzbereich dieser beiden Schichten entsteht ein sog. p-n-Übergang, an welchem sich ein elektrisches Feld aufbaut (vgl. Frentrop 2008).

Zwischen diesen beiden Siliziumschichten liegt eine Spannung, das elektrische Feld. Strahlt Licht ein, werden die Elektronen durch die Photonen von den Atomkernen gelöst

und wandern von der unteren in die obere Schicht. Dadurch wird der untere Halbleiter zum Pluspol, der obere zum Minuspol. Werden beiden Pole mit einem Kabel verbunden, ist der Stromkreislauf geschlossen – dasselbe Prinzip wie bei einer Batterie. Damit eine höhere Leistung erzielt werden kann, werden mehrere Solarzellen zu einem Solarmodul zusammengeschlossen.

Die abgreifbare Spannung beträgt bei Silizium ca. 0,5 V. In der Praxis werden mindestens 50 Solarzellen zu einem Solarmodul zusammengefasst. Bei einem 1 qm großen Siliziummodul erreicht die Stromstärke bei maximaler Einstrahlung von rund 1.000 W/qm einen Wert von ca. 2 A. je Solarmodul: Daraus lassen sich 120–140 Watt Strom erzeugen. Die Leistung einer Solarzelle ist zudem von der Temperatur der Zelle abhängig. Eine höhere Zelltemperatur reduziert den Wirkungsgrad, also den Grad mit dem eingestrahktes Sonnenlicht in elektrische Energie umgewandelt werden kann.

Transformator

Aufgabe des Transformators ist es, die vom Wechselrichter eingehende Wechselspannung in eine höhere Wechselspannung umzuwandeln. Den Wechselrichter verlassen im Regelfall 240 V, das Einspeisenetz (allgemeines Stromnetz) weist hingegen eine um ein Vielfaches höhere Spannung auf.

Verschaltung

Darunter wird die leitungstechnische Verbindung der Solarmodule miteinander verstanden; diese sind verschaltet. Dies wird auch als Modulleitung bezeichnet, mit welcher die einzelnen Photovoltaikmodule zu einem sog. Solargenerator zusammengeschaltet werden. Je nach Größe und Bedarf erfolgt dies „in Reihe“ oder „parallel“, jeweils mittels Steckverbindungen. Eine Reihenschaltung (auch Serienschaltung genannt) erreicht eine höhere Gesamtspannung, die Stromstärke bleibt gleich. Eine Parallelschaltung ermöglicht eine Spannung, die bei steigender Stromstärke überall gleich ist.

Versorgungsleitung

Diese stellt eine Verbindung zwischen dem Wechselrichter und dem Hausnetz dar.

Wechselrichter

Mit Solarzellen wird Gleichstrom erzeugt. Um die elektrische Energie in das Stromnetz einspeisen zu können, muss dieser in Wechselstrom umgewandelt werden. Diese Aufgabe nehmen Wechselrichter wahr, welche aus dem Gleichstrom einen Wechselstrom mit 230 Volt und 50 Hz erzeugen. Der Wechselstrom kann dann ins Stromnetz eingespeist werden, weshalb der Wechselrichter auch als Netzeinspeisegerät (NEG) bezeichnet wird (vgl. Schmitz und Volkmann 2015). Eine hohe Qualität des Wechselrichters ist besonders wichtig. Dies ist wohl auch der Grund, weshalb bei einer Photovoltaikanlage selbst heute noch der Wechselrichter „made in Germany“ ist. Trotz hoher Qualität hält ein Wechselrichter aber nur die halbe Lebensdauer einer Solaranlage durch – spätestens nach 15 Jahren wird ein Austausch erforderlich sein.

Allerdings schreitet die Forschung und Entwicklung auch im Bereich der Wechselrichter stetig voran. So gibt es mittlerweile auch Wechselrichter, die mehrere Eingänge haben, die sog. Strings. Diese „Multistring-Wechselrichter“ können mit verschiedenen Modulanzahlen und unterschiedlichen Leistungen gefahren werden. Ebenso werden Wechselrichter angeboten, bei denen eine Parallelschaltung der Module möglich ist. Unterschiedliche Leistungen, z. B. durch Verschattung, wirken sich durch die separate Verkabelung nicht negativ auf die Gesamtleistung aus.

Zähler

Die Aufgabe eines Stromzählers ist allgemein bekannt. Eine Photovoltaikanlage verfügt über einen (häufig auch mehrere) gesonderten Zähler, der den erzeugten und ggf. auch den selbst verbrauchten Strom aufzeichnet. Neben dem üblichen Haushaltszähler ist ein Einspeisezähler erforderlich. Bei Eigenverbrauch wird der Haushaltszähler durch einen Zweirichtungszähler ersetzt, der die erzeugte abgehende und die verbrauchte bezogene Energiemenge misst. Die von den Zählern gemessenen Werte sind jeweils Grundlage für die Berechnung der Vergütung für den Solarstrom, der in das Netz eingespeist worden ist. Deren Daten werden auch für die Besteuerung herangezogen.

1.4.2 Unterschiedliche Systeme

1.4.2.1 Inselsystem

Darunter wird eine Anlage verstanden, die nur der Stromversorgung eines Gebäudes dient und nicht mit dem allgemeinen Stromnetz verbunden ist. Um dies zu ermöglichen, ist neben einer Photovoltaikanlage auch ein Stromspeicher (Batterien) erforderlich. Daher sind Insellösungen vor allem in Entwicklungsländern oder in Staaten ohne flächendeckendes Stromnetz anzutreffen. In Deutschland sind Insellösungen die absolute Ausnahme und meist nur in abgelegenen Gegenden anzutreffend, wie z. B. auf Berghütten in den Alpen. Als Kleinanwendung sind Inselsysteme zur Energieversorgung von Parkscheinautomaten oder Weidezäunen hingegen verbreitet anzutreffen.

Ein Grund für die eher nachrangige Bedeutung ist auch, dass Insellösungen mangels Anschluss an das allgemeine Stromnetz nicht unter das EEG fallen und damit für den produzierten Strom keine Einspeisevergütung gezahlt wird.

1.4.2.2 Netzsystem

Was bei einer Insellösung der Stromspeicher ist, wird bei der Netzlösung durch das allgemeine Stromnetz übernommen. Der erzeugte und nicht sofort verbrauchte Solarstrom wird in das Stromnetz eingespeist und findet irgendwo einen Verbraucher. Erst wenn die Produktion von Stromspeichern (Akkus) technisch nicht mehr so aufwändig und teuer ist, könnten Insellösungen im Kommen sein. Daran wird derzeit mit Nachdruck geforscht, da dies auch eine merkliche Entlastung der Netze zur Folge haben würde.

1.4.3 Einflussfaktoren für die Stromerzeugung

Die Menge des erzeugten Solarstroms ist von einer Vielzahl einzelner Einflussfaktoren abhängig. Die wesentlichen sind:

Ausrichtung

Je optimaler ein Solarmodul zur Sonne ausgerichtet ist, umso stärker ist die Sonneneinstrahlung und umso höher damit der Ertrag. Die Ausrichtung der Anlage nach Süden ist am idealsten. Noch deutlich mehr Effizienz bringen Anlagen, die mit der Sonne wandern – die sog. nachgeführten Solaranlagen. Diese sind drehbar gelagert und folgen automatisch dem Verlauf der Sonnenbahn. Die nicht optimale Ausrichtung wird in „Azimut“ gemessen. Dies bezeichnet den Winkel, um den die Anlage von einer Südausrichtung abweicht. Wäre eine Photovoltaikanlage z. B. nach Westen ausgerichtet, würde diese einen Azimut von 90° aufweisen.

Globalstrahlung

Hierunter versteht man die gesamte auf die Erde auftretende Sonnenstrahlung. Diese setzt sich aus der direkten, der diffusen und auch der reflektierten Strahlung zusammen. Je höher der Anteil der direkten Strahlung ist, desto höher liegt der Ertrag der Anlage. Dennoch sollte die diffuse Strahlung nicht unterschätzt werden; sie beträgt in Deutschland im Jahresdurchschnitt zwischen 50 und 70 %. Daraus errechnet sich hierzulande eine Globalstrahlung von rund 1.000 kWh je Quadratmeter im Jahr. Nach aktuellen Zahlen sind davon wiederum ca. 10 % nutzbar, sodass ca. 100 kWh/qm elektrischer Strom erzeugbar sind. Dies entspricht der Energiemenge von etwa 100 Litern Heizöl.

Neigung

Nicht nur die Himmelsrichtung ist für ein Solarmodul entscheidend, auch dessen Neigung sollte möglichst optimal zur Sonne sein. In Deutschland treffen bei einer Neigung der Anlage von 30° die Sonnenstrahlen nahezu senkrecht auf die Solarmodule (vgl. [iMPLI 2015](#)).

Qualität

Der Stromertrag einer Photovoltaikanlage hängt ganz entscheidend auch von der Qualität der Anlage ab. Hierbei kommt es letztlich auf jede einzelne Komponente der Gesamtanlage an. Die größten Qualitätsunterschiede gibt es neben den Wechselrichtern vor allem bei den Solarmodulen. Hier sollten Sie darauf achten, dass diese zertifiziert sind und als Zertifizierung die Kürzel IEC 61215 bzw. IEC 616146 ausweisen.

Reihen- und Parallelschaltung

Die Reihenschaltung ermöglicht eine höhere Gesamtspannung bei gleicher Stromstärke. Dazu wird der Minuspol des einen mit dem Pluspol des nächsten Solarmoduls verbunden. Diese Schaltung ist aber anfällig für Störungen. Fällt auch nur ein Element aus oder bringt