Photovoltaik ist in Deutschland wieder »in«

Worauf es beim Kauf einer Photovoltaikanlage ankommt

Warum nur ist überall zu lesen, dass Solarstrom sich wieder lohnt? Mit den Fakten kann das nichts zu tun haben, denn dann wäre diese Nachricht schon gut drei Jahre alt. PHOTON nimmt das allenthalben neu erwachte Interesse für das Sonnenkraftwerk auf dem eigenen Dach trotzdem zum Anlass für eine Zusammenfassung der wichtigsten Punkte, auf die es beim Kauf einer Photovoltaikanlage ankommt.

»Solarstrom lohnt sich wieder!« Nicht nur die Ratgeberseiten kleinerer Tageszeitungen verbreiten seit einigen Wochen diese Schlagzeile, selbst große Blätter fühlen sich bemüßigt, ihre Leser auf die neu gewonnene Rentabilität von Photovoltaikanlagen hinzuweisen.

Zu Unrecht. Solarstrom lohnt sich nicht »wieder«, sondern schon lange. Seit der Einführung der bundesweit garantierten Einspeisevergütung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) im März 2000 gab es zwar einige Phasen, in denen der Betrieb einer Photovoltaikanlage – jedenfalls einer kleinen Installation auf dem eigenen oder einem angemieteten Dach – ein nur selten lohnendes Geschäft war. Die sind aber schon lange her: Von ungefähr 2006 bis 2008 war es ausgesprochen schwierig, ein zum damals geltenden Einspeisetarif passendes Angebot zu finden. Das Interesse war trotzdem enorm.

In den Jahren darauf sank die Vergütung zwar drastisch, die Preise aber noch schneller. Renditen von 7,4 Prozent, wie sie bei Einführung des EEG als üblich für energiewirtschaftliche Investitionen und deshalb auch als Zielmarke für private Betreiber galten, waren leicht zu erzielen, wenn kein Malheur passierte. Das allerdings geschah in dieser Zeit noch recht häufig, denn der ungeheure Solarboom wirke sich nicht eben förderlich auf die Qualität der Anlagen aus. Wer aber ein gutes System und einen fachkundigen Installateur gefunden hatte, machte mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ein gutes Geschäft.

Heiko Meyer / PHOTON Pictures (2); Hans-Bernhard Huber / PHOTON Pictures

Von 2013 bis 2015 folgten weitere Jahre, in denen das Geldverdienen mit Solarstrom dann wieder nicht ganz so einfach war. Allerdings war da bei der Rentabilitätsrechnung eine neue Komponente im Spiel: Bereits 2012 lag die durch das EEG definierte Einspeisevergütung unter den für Privatkunden geltenden Haushaltsstromtarifen. Deshalb war es unter Umständen lukrativer, einen Teil der solar erzeugten Energie selbst zu verbrauchen, anstatt sie ins Netz einzuspeisen. Doch die in diesen Jahren enorm schnelle Absenkung der Vergütung hatte fatale Folgen für die Solarbranche, denn zu diesem Zeitpunkt konnte sie kaum entsprechend günstige Anlagen anbieten. Die in Deutschland jährlich neu installierte Leistung sank von 7,6 Gigawatt im Jahr 2012 auf 3,3 Gigawatt im Jahr darauf – was natürlich nicht nur an den kleinen Privatanlagen, sondern mehr noch am fast vollständigen Wegfall des Segments der großen Megawatt-Kraftwerke lag. Der deutsche Photovoltaikmarkt brach zusammen, Händler, Solarteure, Planungsbüros mussten reihenweise Insolvenz anmelden oder stiegen aus dem Geschäft aus.

Die damals begonnene Talfahrt ist aber inzwischen zumindest abgebremst. Die Installationszahlen steigen ganz langsam wieder an, vom Tiefpunkt – knapp 1,5 Gigawatt im Jahr 2015 – auf immerhin fast 1,8 Gigawatt 2017. Für das laufende Jahr werden nach aktuellem Stand ungefähr 2,4 Gigawatt erwartet (siehe »Marktdaten« auf Seite 56). Das wäre eine Steigerung um rund 30 Prozent gegenüber dem Vorjahr.

Nicht nur auf dem Süddach

Die positive Entwicklung hat Gründe. Einer davon ist, dass sich Solarstromanlagen eben nicht erst jetzt, sondern schon seit rund drei Jahren wieder lohnen. Dass der Zubau trotzdem nur so langsam anzieht (selbst die für 2018 erreichbar scheinenden 2,4 Gigawatt entsprächen nicht dem im EEG definierten »Ausbaupfad« von 2,5 Gigawatt), liegt am weiterhin schlechten Umfeld für mittlere und große Projekte und wohl auch daran, dass viele potenzielle Betreiber kleiner Privatanlagen sich von einer unklaren Gesamtlage abschrecken lassen. Noch immer kursieren zudem etliche Fehlinformationen, wie zum Beispiel:

- **Vorurteil 1: »Photovoltaik lohnt nur auf einem Süddach«:** Das stimmte aus energiewirtschaftlicher Sicht noch nie,

Warum dieser Themenschwerpunkt?

PHOTON befasst sich ausschließlich mit Photovoltaik, und dazu gehört naturgemäß auch alles, was in diesem Themenschwerpunkt »Anlagenkauf« behandelt wird. Warum also auf einigen Seiten zusammenfassen, was ohnehin ständig Thema unseres Magazins ist?

Wir möchten den Moment nutzen. Wenn zurzeit überall darüber berichtet wird, wie lohnenswert eine Photovoltaikanlage ist, dann möchten wir allen, die nun vielleicht (wieder) damit liebäugeln, selbst Solarstrom zu produzieren, eine Entscheidungshilfe an die Hand geben. Denn lohnenswert ist das in der Tat, nicht nur für den eigenen Geldbeutel, sondern vor allem für die Umwelt. Anders als die Bundesregierung sind wir davon überzeugt, dass es noch immer viel zu wenig Solarmodule auf Deutschlands Dächern gibt.

Deshalb unsere Bitte: Wer als Leserin oder Leser dieser Seiten noch keine Photovoltaikanlage betreibt, möge doch überlegen, wie sich das ändern lässt. Wer schon eine hat, kann sie vielleicht vergrößern oder noch ein weiteres Projekt in Angriff nehmen. Und wer PHOTON schon länger liest und deshalb auf diesen Seiten nur komprimiert wiederfindet, was er auch zuvor schon wusste, hat vielleicht Freunde oder Bekannte, bei denen das nicht so ist. Zeitschriften mögen es aus geschäftlichen Gründen normalerweise nicht besonders gern, wenn mehrere Leser sich ein Exemplar teilen. Für dieses Mal machen wir davon aber ausdrücklich eine Ausnahme. *js*

denn die Südausrichtung führt zu Erzeugungsspitzen um die Mittagszeit – eine gleichmäßigere Verteilung der Stromproduktion ist günstiger, auch wenn die insgesamt erzeugte Menge dabei etwas geringer ausfällt. Aus Sicht des Anlagenbetreibers gilt bei heutigen Systempreisen: So lange die Module in eine Richtung zwischen Ost und West zeigen, ist – abhängig von der vertikalen Neigung – fast immer Rentabilität gegeben. Und wenn ein möglichst hoher Eigenverbrauchsanteil angestrebt wird, ist eine Ost-West-Anordnung normalerweise sogar die bessere Wahl. Und wer ein Süddach hat sollte durchaus in Betracht ziehen, auch die Nordseite zu nutzen.

- **Vorurteil 2: »Photovoltaik ist nur etwas für Wohlhabende«:** Eine 10-Kilowatt-Anlage kostet heute zwischen 10.000 und 13.000 Euro. Ein kleineres System ist, weil bestimmte Planungs- und Montagearbeiten ja unabhängig von der Größe anfallen, in Relation zur Gesamtleistung etwas teurer. Wer das Geld nicht auf dem Konto hat, kann – weil die Anlage selbst ja als Kreditsicherung dient – recht einfach eine Finanzierung erhalten. Und wer kein eigenes Dach besitzt, kann eines mieten oder sich einer Betreibergemeinschaft anschließen. Solargenossenschaften etwa bieten Beteiligungen schon ab einigen Hundert Euro an.
- **Vorurteil 3: »Photovoltaik treibt den Strompreis nach oben«:** Die Diskussionen um die EEG-Umlage lasten bis heute auf dem Image der Photovoltaik. Sie ist aber längst eine der günstigsten Arten der Stromerzeugung, je nach Anlagengröße liegen die Kosten bei sechs bis zwölf Cent je Kilowattstunde mit weiter fallender Tendenz. Bei den Ausschreibungen großer Solarkraftwerke lagen die Zuschlagswerte in diesem Jahr zwischen durchschnittlich 4,33 und 4,59 Cent je Kilowattstunde. Kohle- und Atomstrom ist nur dann noch etwas billiger, wenn er aus abgeschriebenen Anlagen stammt; neue Kraftwerke können mit den Erzeugungskosten von Solarkraftwerken nicht mehr mithalten. Ein schnellerer Ausbau der Photovoltaik würde bereits heute die Strompreise nicht mehr beein-

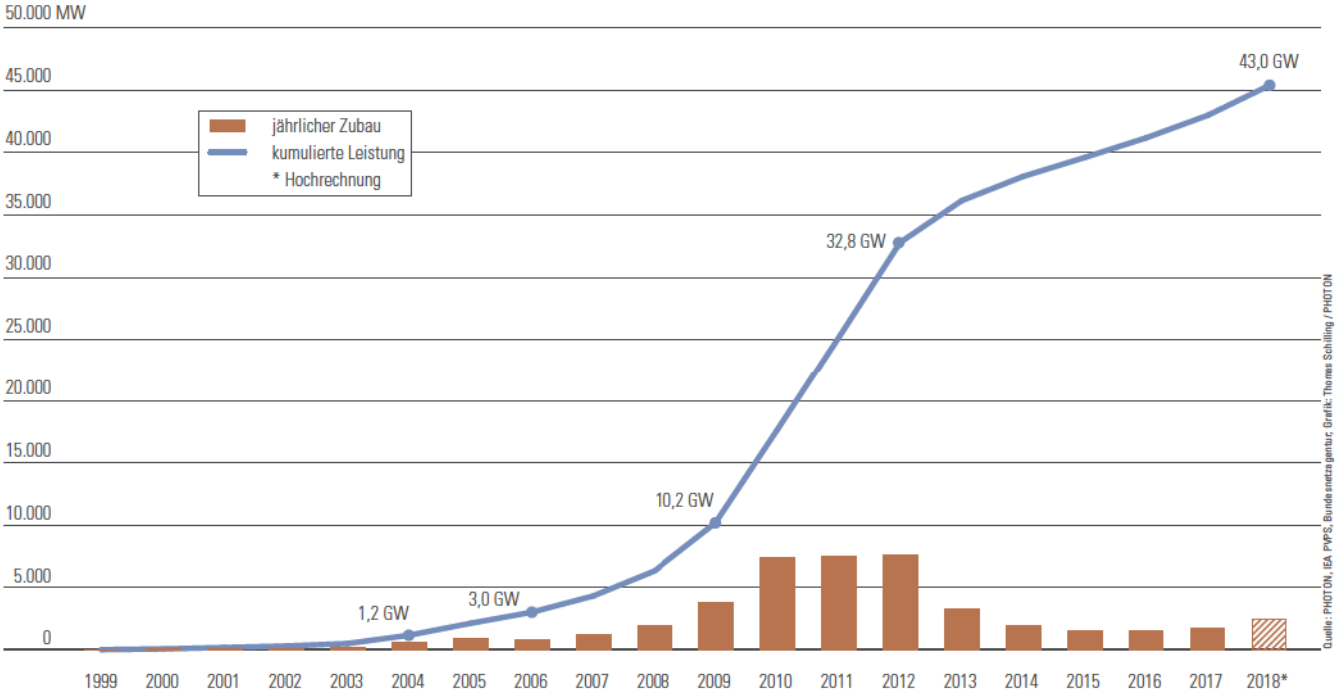
Anmeldung nicht vergessen!

Auch wenn das EEG mit den Jahren immer komplizierter geworden ist, halten sich die Formalitäten für kleine, privat betriebene Anlagen in Grenzen. Wichtig sind im Prinzip nur zwei Dinge:

- Sie sollten den geplanten Netzanschluss schon vorab dem örtlichen Energieversorger anzeigen (das erledigt normalerweise der Installateur) und hierbei auch die Frage klären, ob der Netzbetreiber oder ein Dritter als »Messstellenbetreiber« für das Ablesen des Einspeisezählers zuständig sein soll (anders als früher dürfen Anlagenbetreiber dies seit September 2016 grundsätzlich nicht mehr selbst erledigen).
- Außerdem muss die Anlage unbedingt bei der Bundesnetzagentur angemeldet werden, damit sie nicht den Anspruch auf Einspeisevergütung verliert. Der Installateur weiß, wie das geht, erledigen muss es der Betreiber aber selbst. Länger als eine halbe Stunde dauert das in der Regel nicht.

Es ist noch immer häufig zu hören, dass auch ein Einspeisevertrag mit dem Netzbetreiber abgeschlossen werden muss. Das ist nicht richtig. Ebenfalls noch weit verbreitet – und ebenso falsch – ist die Annahme, dass zum Betrieb einer Photovoltaikanlage eine Gewerbeanmeldung erfolgen muss. *js*

Entwicklung der Photovoltaikleistung in Deutschland



Höchste Zeit für einen neuen Aufschwung: 2004 überschritt die in Deutschland installierte Photovoltaikleistung erstmals die Ein-Gigawatt-Marke, 2007 wurde erstmals mehr als ein Gigawatt in einem Jahr neu zugebaut. Zwischen 2004 und 2012 hat sich die kumulierte Leistung alle zwei bis drei Jahre ungefähr verdreifacht. In diesem Tempo konnte es logischerweise nicht ewig weitergehen. Doch statt einer Verstetigung folgte ab 2013 ein dramatischer Einbruch, die kumulierte Leistung stieg in fünf Jahren nur noch um insgesamt rund 30 Prozent. Das Ausbautempo muss schleunigst wieder anziehen, wenn Deutschland seine Klimaschutzziele nicht vollends aus den Augen verlieren will.

flussen, und bei besseren politischen Rahmenbedingungen – vor allem für Großanlagen – könnte Solarstrom das Preisniveau sogar senken.

- **Vorurteil 4: »Photovoltaik überlastet die Netze«:** Für eine komplett auf erneuerbaren Energien basierende Stromversorgung werden die Netze angepasst werden müssen. Doch davon sind wir leider noch sehr weit entfernt, und außerdem ist dies, soweit es Photovoltaik betrifft, vor allem eine Sache der Nieder- und Mittelspannungsebene und hat mit den aktuell so heftig umstrittenen »Stromautobahnen« wenig zu tun. Die dienen zudem mindestens ebenso dem Transport von Kohlestrom (zu einem Großteil ins Ausland) wie der Anbindung der norddeutschen Windparks an die west- und süddeutschen Verbrauchszentren.

Stefan Kiefer / PHOTON Pictures

Alle Richtungen: Die meisten dieser Dachflächen wären zur Solarstromerzeugung geeignet, schon längst lohnt sich eine Anlage nicht mehr nur auf Süddächern. Die Solarmodule auf dem Bild zeigen übrigens nach Osten.

Photovoltaik lohnt sich immer!

Ein wirkliches Hemmnis für mehr Photovoltaik ist hingegen die Gesetzeslage. Dies betrifft aber eher mittlere und große Anlagen. Auch für private Solarstromproduzenten sind die Bestimmungen des EEG zwar komplizierter als früher, doch alles in allem ist die Lage noch überschaubar. Wer diesen PHOTON-Themenschwerpunkt gelesen hat, weiß schon beinahe alles, um die Machbarkeit eines eigenen Photovoltaikprojekts zu beurteilen. Und ein solches Projekt lohnt sich, wenn einige wenige Voraussetzungen stimmen, durchweg immer – nicht nur finanziell, sondern auch und vor allem für den Klimaschutz (siehe Editorial auf Seite 3).

Trotzdem ist eine betriebswirtschaftliche Betrachtung auch für den privaten Anlagenbetreiber unerlässlich – wenn nicht zur Gewinnmaximierung, dann auf jeden Fall, um die Grenzen der eigenen finanziellen Leistungsfähigkeit nicht zu überschreiten. Für eine Anlage ohne Eigenverbrauch, die auf Volleinspeisung des erzeugten Stroms setzt, ist dies relativ einfach abzuschätzen – und endet weitaus öfter als gemeinhin angenommen mit einem positiven Ergebnis. Noch erfreulicher wird das Bild, wenn ein Teil des Stroms ohne zusätzlichen technischen Aufwand selbst verbraucht werden kann. Die dritte Variante, nämlich die Eigenverbrauchsmaximierung mithilfe eines Speichersystems, ist hingegen sicherlich die interessanteste, aber auch die kniffligste. Alle drei Möglichkeiten betrachten wir im Abschnitt »Rentabilität« ab Seite 28.

Voraussetzung für den ökonomischen – und ökologischen – Erfolg sind natürlich in jedem Fall passende Komponenten in guter Qualität. Diesem Teil der Planung widmen sich die Beiträge über Module, Wechselrichter, Stromspeicher und andere Bestandteile der Anlage ab Seite 36. Das Ganze muss außerdem von einem kompetenten Installateur zu einem gut funktionierenden System zusammengefügt werden. Was man als Kunde hierbei beachten sollte, ist unter dem Oberbegriff »Angebot und Preisgestaltung« ab Seite 46 zusammengefasst.

Am Ende der Lektüre, das hoffen wir zuversichtlich, sind nicht nur langjährige PHOTON-Abonnenten, denen dieser Themenschwerpunkt vielleicht zur Auffrischung ihrer Kenntnisse dient, sondern auch Photovoltaik-Neulinge mit uns der Meinung, dass an den aktuellen »Solarstrom lohnt sich wieder«-Schlagzeilen eigentlich nur eines zu kritisieren ist: Sie kommen reichlich spät.

Jochen Siemer

Anlagenkategorien

Das EEG definiert mehrere Anlagenkategorien, die sich nach installierter Leistung und Bauart unterscheiden. In diesem Themenschwerpunkt geht es vor allem um kleine Aufdachanlagen bis zehn Kilowatt. Sie sind für private Betreiber typisch – leider, denn auf viele Dächer würde durchaus noch mehr Leistung passen. Die nächstgrößere Kategorie für Leistungen bis 40 Kilowatt wäre deshalb für etliche Betreiber mindestens eine Erwägung wert (näheres im Abschnitt »Rentabilität« ab Seite 28).

Die Kategorie der Aufdachanlagen von 40 bis 100 Kilowatt ist hingegen eher für gewerbliche Nutzungen oder für Betreibergemeinschaften interessant. Bei noch größeren Leistungen (bis 750 Kilowatt) wird es abermals ein wenig komplizierter, weil dann keine Einspeisevergütung mehr gezahlt wird; statt dessen geht der Stromertrag in die so genannte Direktvermarktung. Projekte mit mehr als 750 Kilowatt unterliegen zusätzlich der Pflicht zur Teilnahme an Ausschreibungen und sind deshalb ausschließlich für Profis handhabbar. Privatleute können sich aber an Bürgerenergiegesellschaften beteiligen, die auch in dieser Größenordnung schon erfolgreich waren. Informationen zu solchen Gesellschaften gibt es unter anderem beim Bündnis Bürgerenergie (www.buendnis-buergerenergie.de).

Eine weitere Möglichkeit bietet das Mieterstromgesetz – theoretisch. In der Praxis hat es sich als derart unattraktiv erwiesen, das bislang nur sehr wenige Anlagen im Rahmen dieses Gesetzes gefördert werden. Außerhalb dieses Rahmens nimmt die Zahl der Mieterstromprojekte aber, wenn auch nur langsam, trotzdem zu. Hier sind jedoch fast immer spezialisierte Projektierer involviert. Für die Mieter selbst, für private Vermieter und selbst für kleine Wohnungsbaugesellschaften ist die Materie zu kompliziert. Informationen zum Mieterstromprojekten bietet zum Beispiel die vom Bundesverband Solarwirtschaft betriebene Internetseite »Sonne teilen« (www.pv-mieterstrom.de). *js*

Gar nicht kompliziert

Die Finanzierung einer Solarstromanlage ruht auf einem soliden Fundament

Julia Kerninghi / PHOTON Pictures

Den Platz nutzen: Wer ein Dach ohne Solarmodule darauf hat, sollte das ändern. Es lohnt sich.

Photovoltaik lohnt sich nur mit möglichst viel Eigenverbrauch, und deshalb braucht jeder Anlagenbetreiber auch einen Stromspeicher – diese Aussage ist häufig zu hören, aber trotzdem falsch. Die ganz einfache Lösung, nämlich das mit der gesetzlich garantierten Vergütung honorierte Einspeisen des gesamten Stromertrags ins Netz, bildet eine solide Finanzierungsgrundlage. Sie lässt sich durch Eigenverbrauch – ohne Speicher – noch merklich verbessern. Der ökonomische Nutzen eines Batteriesystems hingegen ist fraglich.

Vor 14 Jahren fiel der Startschuss für den massenhaften Einsatz der Photovoltaik in Deutschland: Im Jahr 2004 wurde die kostendeckende Einspeisevergütung für Solarstrom eingeführt. Zwar ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das diese Vergütung für 20 Jahre Betriebsdauer garantiert, schon vier Jahre älter. Die Tarife waren zunächst aber so kalkuliert, dass eine Photovoltaikanlage sich nur in Kombination mit Zuwendungen aus dem »100.000-Dächer-Programm« finanzieren ließ. Auch dies war schon ein enormer Fortschritt, trotzdem aber eher noch eine Lösung für ökologisch motivierte Überzeugungstäter. Dann aber sorgte eine Novelle des EEG dafür, dass allein die Vergütungszahlungen dem Anlagenbetreiber seine Rendite sichern.

An diesem Prinzip hat sich seither nichts geändert, jedenfalls nicht für kleine und mittlere Anlagen. Trotzdem gilt die Entscheidung für (oder gegen) den Kauf einer Photovoltaikanlage heute als eine recht komplizierte Angelegenheit, komplizierter jedenfalls als in den Jahren nach 2004. Das liegt vor allem an einer Komponente, die es damals noch nicht gab, nämlich dem Eigenverbrauch.

Zu Beginn der kostendeckenden Vergütung war der für jede ins Netz eingespeiste Kilowattstunde Solarstrom geltende Satz mit 57,4 Cent je Kilowattstunde mehr als doppelt so hoch wie der typische Haushaltsstromtarif. Niemand wäre also auf die Idee gekommen, Solarstrom im eigenen Haushalt zu nutzen und dafür auf die Vergütung zu verzichten. Das ist heute grundlegend anders: Die Vergütung für kleine Anlagen bis zehn Kilowatt beträgt zurzeit 12,14 Cent je Kilowattstunde (siehe auch »Marktdaten« auf Seite 56). Das ist nicht einmal die Hälfte des typischen Haushaltsstromtarifs von rund 29 Cent.

Diese Zahlen machen viele, die mit dem Kauf einer Anlage liebäugeln, etwas kopfscheu: Wie soll sich das Ganze lohnen, wenn die Vergütung nicht einmal mehr ein Viertel so hoch ist wie noch vor 14 Jahren? Kann das ohne Eigenverbrauch funktionieren? Muss also doch ein Speicher her?

Am besten ist es, diese Fragen der Reihe nach abzuarbeiten und dabei mit der einfachsten Konstellation anzufangen. Die Angelegenheit ist nämlich gar nicht so kompliziert, wie es auf den ersten Blick scheint.

Die einfachste Lösung

Tatsächlich beträgt die Einspeisevergütung nur noch knapp 21 Prozent des 2004 geltenden Tarifs. Aber damals kostete eine kleine Photovoltaikanlage einschließlich Montage und Netzanschluss auch zwischen 4.500 und 6.000 Euro je Kilowatt installierter Leistung. Heute dagegen sind 1.000 bis 1.500 Euro gängig; mehr ist nur in Ausnahmefällen gerechtfertigt, etwa wenn die Montage besonders aufwendig ist.

Die zweite, für die Rentabilität entscheidende Größe ist der Stromertrag, und der hat sich seit 2004 dank besserer Technik spürbar verbessert. Galten seinerzeit 800 bis 1.000 Kilowattstunden je Kilowatt (kWh/kW) Anlagenleistung als eine für Deutschland im langjährigen Mittel realistische Annahme, sind es heute 900 bis 1.100. Nimmt man einen mittleren Wert, also jährlich 1.000 kWh/kW, wären dies über den 20-jährigen Vergütungszeitraum insgesamt 20.000 Kilowattstunden. Man darf folglich bei 12,14 Cent Vergütung Einnahmen von 2.428 Euro einkalkulieren.

Wartungskosten fallen bei einer kleinen Photovoltaikanlage normalerweise nicht an, vorsichtshalber gilt hier aber trotzdem eine Annahme von ein Prozent der Anschaffungskosten pro Jahr. Kostet die Anlage 1.200 Euro je Kilowatt, wären das also 240 Euro. Auf der Kostenseite stehen somit für Anschaffung und Wartung 1.420 Euro, also 7,2 Cent je Kilowattstunde. Daraus resultiert für jede erzeugte Kilowattstunde ein Überschuss – Vergütung minus Kosten – von 4,94 Cent. In 20 Jahren ergibt das ein Plus von 988 Euro je Kilowatt. Damit lässt sich, das kann man auch ohne Studium der Betriebswirtschaft abschätzen, eine gute Rendite erwirtschaften.

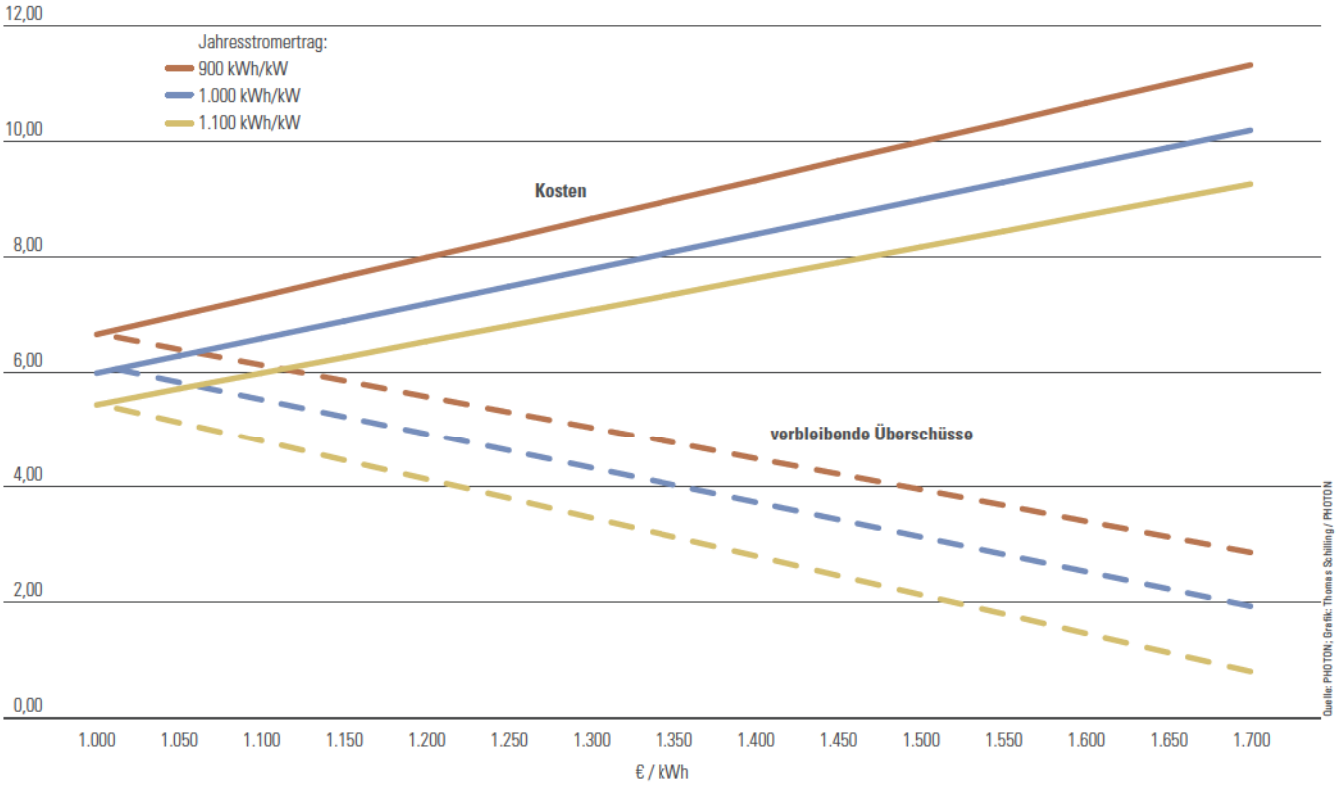
Die Zahlen variieren naturgemäß in Abhängigkeit von Kaufpreis und Ertrag (siehe Grafik auf dieser Seite). Bei einer für heutige Verhältnisse teuren Anlage (1.700 Euro je Kilowatt) und geringen Erträgen (900 kWh/kW) betragen die reinen Erzeugungskosten je Kilowattstunde 11,33 Cent, liegen also nur 0,81 Cent unter der Einspeisevergütung. Das ist immer noch ein Plus, bei dem allerdings nicht das geringste schief gehen darf, wenn die Anlage nicht zum Verlustgeschäft werden soll. Bei einer sehr günstigen Anlage für 1.000 Euro je Kilowatt und guten Erträgen von 1.100 kWh/kW hingegen kostet eine Kilowattstunde nur 5,45 Cent, der verfügbare Überschuss beträgt 6,69 Cent.

Kurz und gut: Auch eine auf Volleinspeisung ausgelegte Photovoltaikanlage arbeitet unter fast allen denkbaren Umständen wirtschaftlich, und unter guten Bedingungen wird sie ordentliche Überschüsse abwerfen.

Eigenverbrauch ohne Speicher

Diese Überschüsse ergeben letztendlich die Rendite auf das eingesetzte Kapital. Bei dem oben erwähnten Beispiel mit einem Kaufpreis von 1.700 Euro je

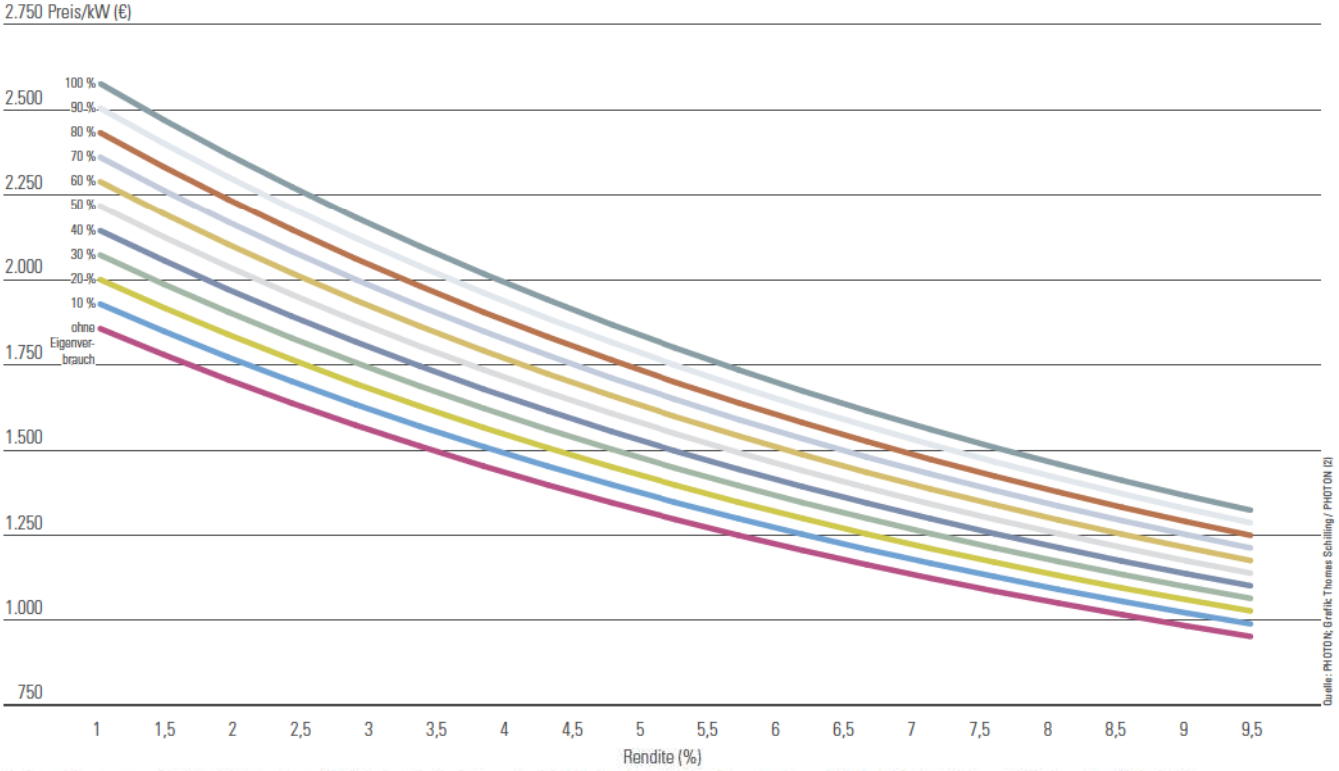
Stromkosten einer Photovoltaikanlage und Überschüsse bei Volleinspeisung (ct/kWh)



Annahmen: Wartungskosten: jährlich 1,0 Prozent des Anschaffungspreises; Inbetriebnahme: August 2018, Einspeisevergütung (voraussichtlich) ca. 12,14 Cent/kWh; Steuerliche Aspekte wurden nicht berücksichtigt.

Anschaffungspreis und Jahresstromertrag definieren, wie hoch die Kosten einer Kilowattstunde Solarstrom sind. Die Grafik zeigt den Bereich, bei dem diese Kosten niedriger sind als die aktuell geltende Einspeisevergütung.

Rendite einer Solarstromanlage bis 10 Kilowatt Leistung in Abhängigkeit vom Eigenverbrauchsanteil



Annahmen: Jahresstromertrag: 1.000 kWh/kW; Wartungskosten: jährlich 1,0 Prozent des Anschaffungspreises; Inbetriebnahme: August 2018, Einspeisevergütung (voraussichtlich) ca. 12,14 Cent/kWh; Steuerliche Aspekte wurden nicht berücksichtigt.

Eigenverbrauch steigert die Rendite. Anteile von zehn, unter günstigen Bedingungen auch 20 Prozent lassen sich ohne Speichersystem erzielen. Darüber beginnt der Bereich, in dem wegen des Stromspeichers der Anschaffungspreis, bezogen auf ein Kilowatt Anlagenleistung, deutlich steigt. Der Spielraum hierfür beträgt aber bei gleicher Renditeerwartung sogar bei 70 Prozent Eigenverbrauchsanteil (höhere Werte sind in der Praxis kaum möglich und hier deshalb als gestrichelte Linie dargestellt) nur rund 500 Euro gegenüber einer Anlage ohne Eigenverbrauch. Zudem geht die Berechnung von 20 Jahren Betriebsdauer aus, in denen (außer jährlich ein Prozent Wartungskosten) keine weiteren Ausgaben anfallen. Für ein Speichersysteme sollte man aber nur zehn bis 15 Jahre Betriebsdauer annehmen.

Kilowatt als Kaufpreis und 900 kWh/kW Jahresertrag wären das gerade einmal 0,8 Prozent. Bei 1.000 Euro je Kilowatt und 1.100 kWh/kW hingegen fast elf Prozent. Die Grafik auf dieser Seite gibt Annahmen für die eher typischen Konstellationen mit Jahreserträgen von 1.000 kWh/kW wieder: Die Kurve »ohne Eigenverbrauch« zeigt, dass hier bei einem Kaufpreis von 1.300 Euro je Kilowatt eine Rendite von rund 5,5 Prozent erzielbar ist. Bei 1.000 Euro je Kilowatt – noch niedrigere Preise sind in dieser Anlagenkategorie zumindest derzeit kaum möglich – sind es gut neun Prozent.

Die Grafik zeigt aber vor allem auch, wie sich die Rendite durch Eigenverbrauch steigert. Interessant sind hierbei zunächst die Kurven für unterschiedliche Eigenverbrauchsquoten, also den prozentualen Anteil des erzeugten Solarstroms, der nicht ins Netz eingespeist, sondern direkt im Haus verbraucht wird: Ein Einfamilienhaushalt kann nämlich durchaus zehn bis 20 Prozent des erzeugten Solarstroms aus einer Anlage mit fünf bis sechs Kilowatt Leistung aufnehmen – und zwar ohne Stromspeicher. Auch bei größeren Anlagen sind solche Quoten unter Umständen möglich: Wer etwa Solarstrom auch zur Warmwassererzeugung nutzt oder es so einrichten kann, dass der Akku eines Elektroautos vorzugsweise um die Mittagszeit geladen wird, darf auf dieser Basis kalkulieren.

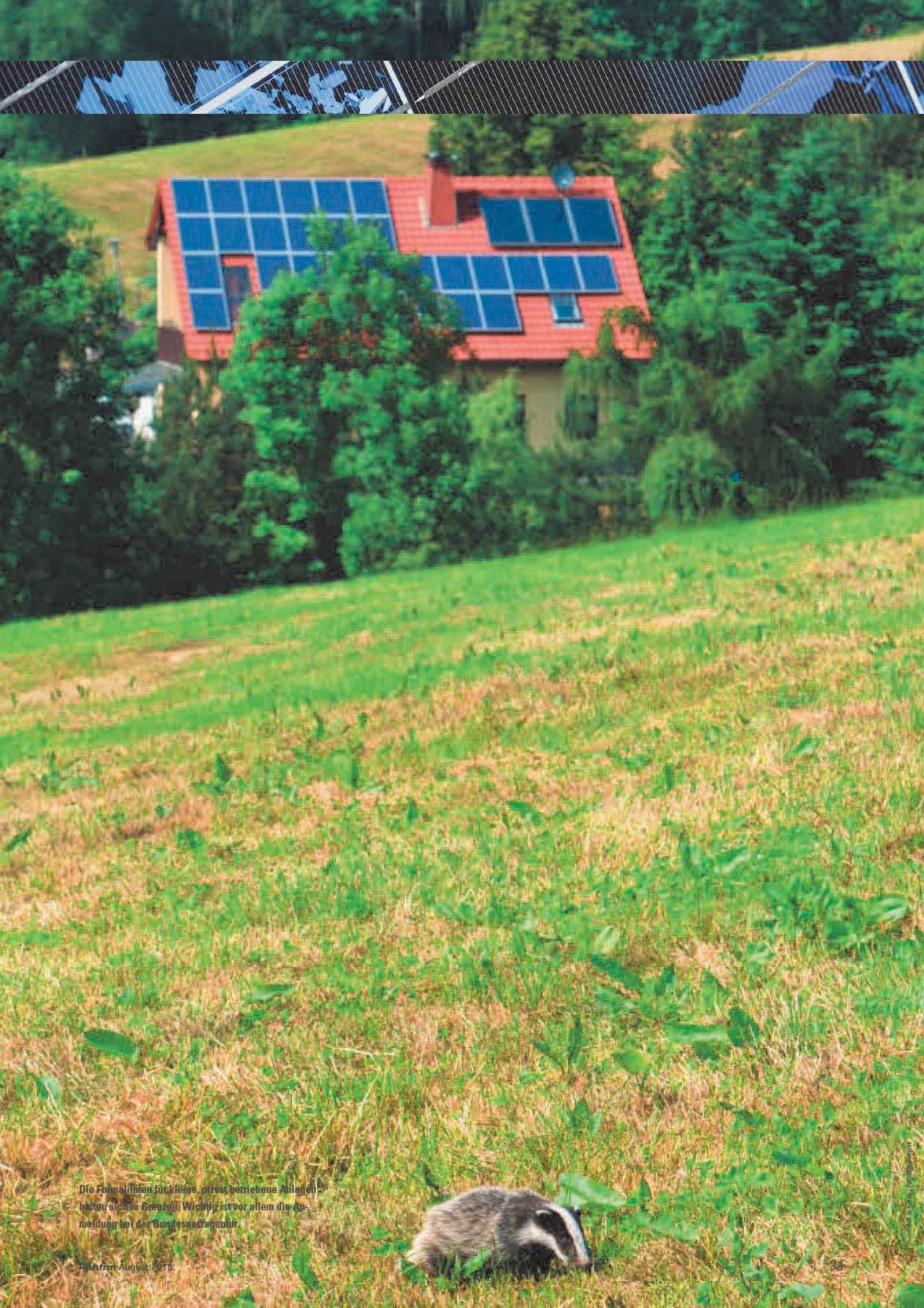
Durch Eigenverbrauch aber erhöht sich der Erlös: Mit jeder Kilowattstunde, die nicht aus dem Netz bezogen wird, sparen Anlagenbetreiber durchschnittlich 29 Cent. Gleichzeitig gehen ihnen allerdings die 12,14 Einspeisevergütung verloren, es verbleibt also für den Eigenverbrauchsanteil eine »Vergütung« von knapp 17 Cent. Das verbessert die Wirtschaftlichkeitsrechnung aber durchaus, als Faustregel lässt sich festhalten: zehn Prozent Eigenverbrauch bringen 0,5 Prozent mehr Rendite. Diese beträgt bei einem Anschaffungspreis von 1.300 Euro und zehn Prozent Eigenverbrauchsanteil also nicht mehr 5,5 Prozent, sondern sechs, und bei 20 Prozent Eigenverbrauch sind es 6,5 Prozent.

Diese Grundannahmen markieren gleichzeitig den ökonomischen Rahmen, in dem sich Speichersysteme durchsetzen müssen. Und genau deshalb haben sie es, rein wirtschaftlich betrachtet, wahrlich nicht leicht.

Mehr Einnahmen – höhere Kosten

Natürlich kann ein Stromspeicher den Eigenverbrauchsanteil und damit den Erlös einer Anlage wesentlich erhöhen. Genau dies ist ja seine Aufgabe. Doch er erhöht eben auch den Anschaffungspreis. Die meisten Speichersysteme bewegen sich heute noch in der Preisregion oberhalb von 500 Euro je Kilowattstunde Kapazität. Und da wird es schwierig, einen ökonomischen Vorteil zu erzielen.

Die in der Grafik dargestellten Kurven für Eigenverbrauchsanteile von 70 Prozent oder mehr dienen nämlich nur der Veranschaulichung. Solche Werte sind theoretisch möglich, doch dann müsste die Anlage sehr klein und der Speicher sehr groß sein, ungefähr im Verhältnis von zwei Kilowatt Leistung



Die Formalitäten für kleine, privat betriebene Anlagen halten sich in Grenzen. Wichtig ist vor allem die Anmeldung bei der Bundesnetzagentur.

Foto: Schulze / Panthermedia.net

*Stromkosten des Speichersystems zuzüglich der entgangenen Einspeisevergütung; Annahmen: Inbetriebnahme: August 2018, Einspeisevergütung (voraussichtlich) ca. 12,14 Cent/kWh; Wartungskosten wurden nicht berücksichtig

Betrachtet man die Stromkosten eines Speichersystems für sich allein genommen, spielt die Lebensdauer eine enorme Rolle. Deshalb gilt: Auch bei einem Anschaffungspreis bis maximal 550 Euro je Kilowattstunde Kapazität sind 15 Jahre Garantie das Mindestmaß. Nur dann ist das Speichern preiswerter als der Strombezug aus dem Netz.

des Solargenerators zu zehn Kilowattstunden Speicherkapazität. Eine so kleine Photovoltaikanlage rangiert – ohne Speicher – beim Preis je Kilowatt mit Sicherheit in der oberen Region ab 1.500 Euro, denn bestimmte Planungs- und Vorbereitungsarbeiten sind ja unabhängig von der Gesamtleistung erforderlich. Mit Speicher ergäbe sich deshalb ein Gesamtsystem, das bei mindestens 4.000 Euro je Kilowatt Leistung liegt und sich somit selbst bei 100 Prozent Eigenverbrauch nicht rechnet.

Die Auslegung auf maximalen Eigenverbrauch und damit eine im Verhältnis zur Speicherkapazität sehr geringe Generatorleistung bedingt zudem, dass auch der absolute Ertrag sehr gering ausfällt. Eine 2-Kilowatt-Anlage käme auf rund 2.000 Kilowattstunden pro Jahr, und die jahreszeitliche Verteilung macht es selbst in einer solch extremen Anlagenkonfiguration äußerst unwahrscheinlich, dass diese tatsächlich komplett für den Eigenverbrauch genutzt werden können. Ein durchschnittlicher Einfamilienhaushalt müsste deshalb immer noch rund die Hälfte seines Strombedarfs aus dem Netz beziehen.

Derlei ergibt also keinen Sinn. Realistisch sind Kombinationen aus Photovoltaikanlagen im Bereich zwischen ungefähr vier und sieben Kilowatt Leistung mit einem Speichersystem, dessen Kapazität in Kilowattstunden tendenziell etwas geringer ausfällt als die Anlagenleistung in Kilowatt. So lassen sich, je nach Verbrauchsprofil, Eigenverbrauchsanteile zwischen 40 und 70 Prozent erzielen. Steigern lässt sich dies, wie bei Anlagen ohne Speicher, am besten durch Heizen mit Solarstrom oder den Betrieb eines Elektroautos – oder beides.

Wer aber seinen Eigenverbrauch – keineswegs pessimistisch – auf 60 Prozent veranschlagt, der gerät bei Anschaffungspreisen ab 2.300 Euro je Kilowatt Anlagenleistung in die Verlustzone. Eine Rendite von 5,5 Prozent, wie sie mit einer Anlage ohne Speicher bei zehn Prozent Eigenverbrauch mit einem Kaufpreis von 1.300 Euro je Kilowatt möglich ist, lässt sich nur darstellen, wenn das gesamte System inklusive Speicher nicht mehr als 1.600 Euro je Kilowatt kostet. Das ergibt beispielsweise für eine 6-Kilowatt-Anlage einen Etat von 9.600 Euro. Kostet die Anlage exklusive Speicher abermals 1.300 Euro je Kilowatt, insgesamt also 7.800 Euro, dann bleiben für einen Speicher der nötigen Kapazität – mindestens vier Kilowattstunden – noch 1.800 Euro. Das sind 450 Euro je Kilowattstunde. Für diesen Betrag wird man aktuell kaum ein Angebot finden.

Teurer als Netzstrom

Obendrein ist diese Rechnung noch extrem zu Gunsten der Speicher-Variante ausgelegt. Sie funktioniert nämlich nur,

Die »goldenen Jahre«

Die Einspeisevergütung gibt es für 20 Jahre. Eine solide gebaute Photovoltaikanlage hält aber gut und gerne 30 Jahre. Es bleiben also zehn Jahre oder mehr, in denen die Anlage, wenn auch mit allmählich sinkendem Wirkungsgrad, weiter Strom erzeugen kann. Ob es hierfür eine Vergütung oder eine andere Erlösmöglichkeit gibt, wenn die heute gebauten Anlagen die so genannten goldenen Jahre erreichen, lässt sich nicht vorhersagen.

In jedem Fall aber sollte es möglich sein, einen Teil des Stroms selbst zu verbrauchen. Eine Photovoltaikanlage erzeugt also auch nach Ende des Vergütungszeitraums einen Mehrwert. In die Wirtschaftlichkeitsberechnung sollte dies jedoch nicht mit einfließen – oder allenfalls als »möglicher Zusatzerlös«.

Strompreissteigerungen steigern die finanzielle Attraktivität von Eigenverbrauch und damit auch die Rentierlichkeit eines Stromspeichers erheblich. Bei nur zehn Jahren Lebensdauer schützt allerdings selbst ein vergleichsweise günstiger Anschaffungspreis in Kombination mit hohen Strompreissteigerungen nicht vor einer negativen Gesamtbilanz. Bei 15 Jahren Lebensdauer ist der Raum über der Null-Linie ungleich größer, und bei 20 Jahren – wenn sie denn realistisch zu erwarten wären – würde bei Strompreissteigerungen ab zwei Prozent sogar ein Speicher für 1.000 Euro je Kilowattstunde zumindest noch eine schwarze Null schreiben.

wenn das Batteriesystem 20 Jahre durchhält. Davon geht jedoch niemand aus, selbst die Hersteller nicht. Mehr als 15, üblicherweise eher zehn Jahre Garantie sind aktuell nicht erhältlich.

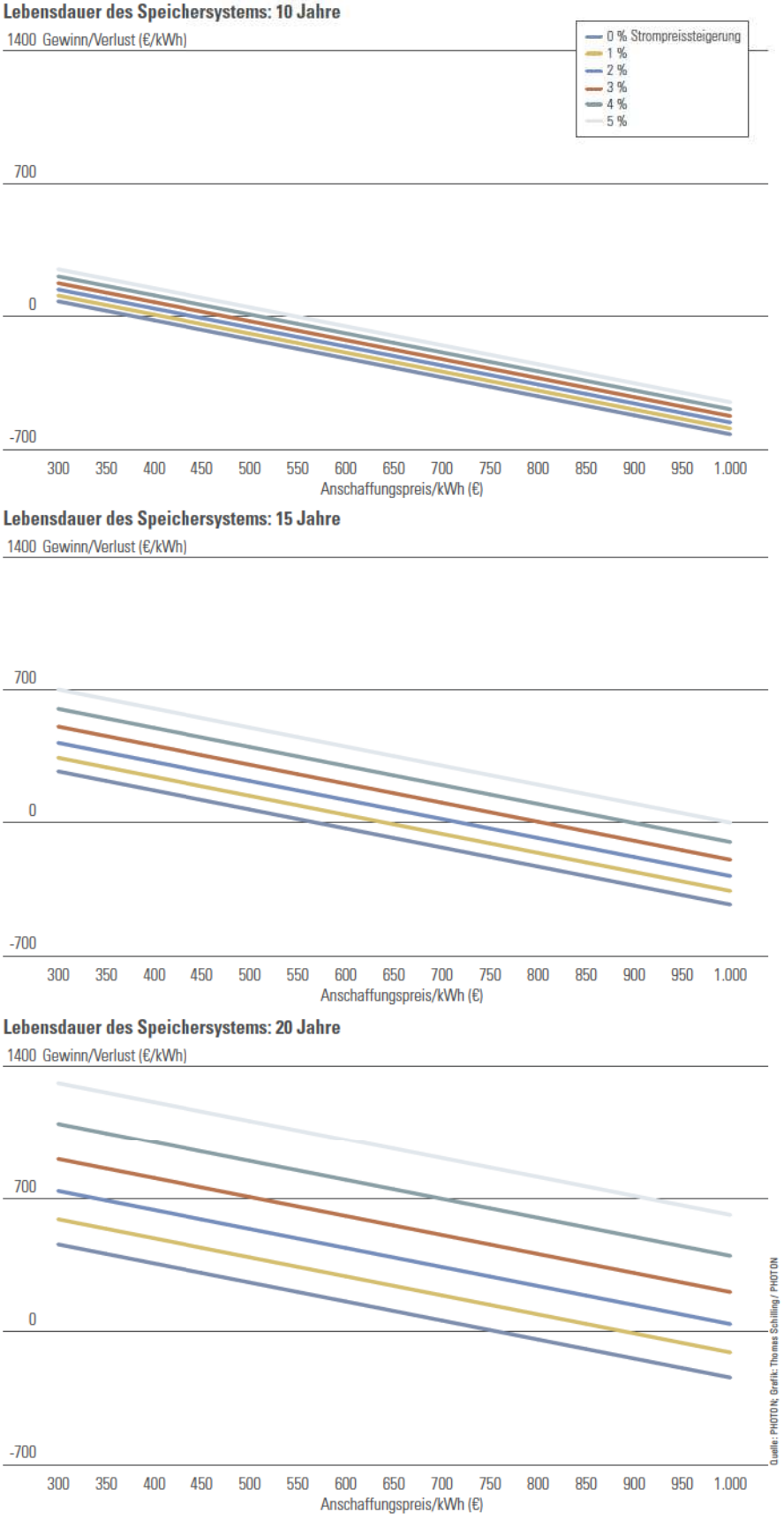
Dieser Faktor, also die (vom Hersteller garantierte) Lebensdauer, hat aber einen riesigen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit. Berechnet man die Kosten einer aus einem Speicher entnommenen Kilowattstunde, gilt: Anschaffungspreis des Systems, geteilt durch die Gesamtzahl des in seiner Lebensdauer zu erwartenden Speicherumsatzes. Dieser wiederum ergibt sich, wenn man die nominelle Speicherkapazität mit dem Wirkungsgrad multipliziert, für den man bei einem modernen Speicher – über die gesamte Lebensdauer – 95 Prozent ansetzen kann. Das Resultat wiederum multipliziert man mit der maximalen Entladetiefe: Kein Speicher lässt sich wirklich vollständig leeren. Hier sind ebenfalls 95 Prozent ein realistischer Wert.

Das Ergebnis dieser Rechnung multipliziert man dann mit 250 Vollzyklen pro Jahr. Das Batteriesystem würde demnach also in 365 Tagen 250 mal vollständig be- und entladen. Das ist eine theoretische Annahme, in der Praxis kommen Vollzyklen bei einem Heimspeicher kaum jemals vor. Ein jährlicher Speicherumsatz der 250-fachen Gesamtkapazität hat sich aber als recht tauglicher Mittelwert erwiesen.

Unter diesen Annahmen kommt ein Stromspeicher je Kilowatt Kapazität bei zehn Jahren Lebensdauer auf einen Gesamtumsatz von 2.256 Kilowattstunden. Bei 15 Jahren sind es hingegen 3.384 und bei 20 Jahren 4.512 Kilowattstunden. Somit sind die Kosten für jede gespeicherte und wieder entnommene Kilowattstunde bei zehn Jahren Lebensdauer doppelt so hoch wie bei einer 20-jährigen Betriebszeit.

Die Grafik auf Seite 32 stellt dieses Verhältnis dar – und zeigt gleichzeitig, dass

Bilanz Speicherkosten / vermiedene Strombezugskosten in Abhängigkeit von jährlicher Strompreissteigerung und Lebensdauer*



Quelle: PHOTON; Grafik: Thomas Schilling / PHOTON

*je Kilowattstunde (kWh) Speicherkapazität; Wartungskosten sind nicht berücksichtig

Ob als Aufdachanlage oder – wie hier - als Terassenüberdachung: Die Installation einer Solarstromanlage lohnt sich (fast) immer.

ein Batteriesystem auch bei 15 Jahren Lebensdauer beim Kaufpreis unter 600 Euro je Kilowattstunde Speicherkapazität bleiben muss. Denn 600 Euro, geteilt durch die in 15 Jahren zu erwartenden 3.384 Kilowattstunden, ergeben 17,73 Cent je Kilowattstunde. Addiert man die entgangene Einspeisevergütung von 12,14 Cent hinzu, liegen die effektiven Kosten einer zwecks Eigenverbrauch gespeicherten Kilowattstunde somit bereits über 29 Cent. Da ist Strom aus dem Netz in aller Regel günstiger.

Günstiger fällt die Rechnung naturgemäß bei 20 Jahren Betriebsdauer aus, dann dürfte der Speicher bis zu 750 Euro je Kilowattstunde Kapazität kosten. Die entsprechende Zyklenzahl wird von vielen Herstellern durchaus zugesagt – aber eben nicht garantiert.

Wette auf den Strompreis

Eine weitere Stellgröße, mit der sich die Rentabilitätsrechnung von Speichersystemen verbessern lässt, ist die zu erwartende Strompreissteigerung. Werden mit jeder selbst verbrauchten Kilowattstunde in fünf Jahren nicht mehr 29 Cent für Netzstrom vermieden, sondern 33, in noch einmal fünf Jahren dann 38 und in 15 Jahren sogar 44 Cent, sieht die Sache für den Speicher gleich erheblich besser aus. Eine solche Entwicklung – sie entspricht einer Steigerungsrate von rund drei Prozent jährlich – würde bei 15 Jahren Lebensdauer Preise bis zu 800 Euro je Kilowattstunde darstellbar machen (siehe Grafik auf Seite 33). Bei fünf Prozent jährlicher Strompreissteigerung wären sogar fast 1.000 Euro betriebswirtschaftlich gerade noch sinnvoll. Geht man hingegen von Null Prozent Preissteigerung aus, dann sind es eben nur rund 500, maximal 550 Euro.

Kein Wunder also, dass die »Sicherheit vor steigenden Strompreisen« in einschlägigen Verkaufsprospekten eine große Rolle spielt. Wer dies jedoch von vorn herein einkalkuliert, geht eine ungewisse Wette ein: Es könnte auch sein, dass die Strompreise, zumindest je Kilowattstunde, in zehn Jahren genau so hoch sind wie heute, dafür aber die Grundgebühren deutlich höher.

All diese Zusammenhänge, auch wenn sie hier zugegebenermaßen deutlich vereinfacht wiedergegeben werden, kennt die Solarbranche natürlich auch. Händler und Installateure haben aber ein gut verständliches Interesse daran, ein Solarstromsystem lieber mit als ohne Speicher zu verkaufen: Eine typische private Aufdachanlage bringt schließlich wegen der rapide gesunkenen Preise selbst bei einer prozentual zufriedenstellenden Marge nur noch einen vergleichsweise geringen Umsatz. Kommt hingegen noch ein Speicher hinzu, hellt sich das Bild merklich auf. Deshalb werden Batteriesysteme so eifrig beworben.

Immerhin lässt sich inzwischen, anders als noch vor zwei oder drei Jahren, auch unter realistischen Annahmen darstellen, dass der Betreiber eines Stromspeichers keinen Verlust macht, sofern er 15 Jahre Garantie erhält und sich der Kaufpreis im Bereich um 500 Euro je Kilowattstunde Kapazität bewegt. Die Annahme aber, dass eine Photovoltaikanlage sich heutzutage nur noch mit Speicher überhaupt lohnt, ist schlicht falsch. Zumindest für private Betreiber gilt in aller Regel das Gegenteil: Netzeinspeisung, möglichst in Kombination mit einem auch ohne Speicher realisierbaren Eigenverbrauchsanteil von zehn bis 20 Prozent, ist nicht nur wesentlich einfacher, sondern auch rentabler.

Jochen Siemer

Rendite und Finanzierung

Für die Renditeberechnungen in diesem Artikel wurde, etwas vereinfacht, die Investition in eine Photovoltaikanlage mit einem Festgeldkonto verglichen. Grundannahme ist hierbei, dass die Anlage zu 100 Prozent aus Eigenkapital finanziert wird. Eine Rendite von beispielsweise drei Prozent entspricht also einer Geldanlage zu drei Prozent über 20 Jahre (den Zeitraum der gesetzlich garantierten Einspeisevergütung).

Auch wenn die Preise rapide gesunken sind, hat aber natürlich nicht jeder das Geld für eine Photovoltaikanlage einfach so auf dem Konto herumliegen. Es gibt jedoch nach wie vor Förderinstrumente mit zinsgünstigen Krediten wie etwa das Programm »Erneuerbare Energien – Standard« der bundeseigenen KfW Bank (www.kfw.de). Auch Batteriespeicher werden hier finanziert. Das Programm können sowohl Privatleute wie auch Unternehmen in Anspruche nehmen, ebenso öffentliche Körperschaften, Genossenschaften, Stiftungen und Vereine.

Es lohnt sich zudem auch eine Anfrage bei der Hausbank. Für die Kreditinstitute ist die Finanzierung einer Solarstromanlage eine vergleichsweise interessante Angelegenheit, denn das Ausfallrisiko ist gering, die Einnahmen sind gut kalkulierbar, und als Sicherheit kann die Anlage selbst eingesetzt werden.

Zudem gibt es, vor allem für Speichersysteme, verschiedene Förderprogramme von Bundesländern und Kommunen. Hierzu sollte gegebenenfalls der Solarteur Auskunft geben können.

Eigenverbrauchsanteil

Im Artikel werden verschiedene Annahmen zum Eigenverbrauchsanteil getroffen. Gemeint ist damit, wohl gemerkt, nicht der Anteil von Solarstrom am Gesamtverbrauch eines Haushalts, sondern der Anteil des selbst verbrauchten Stroms am Gesamtertrag der Anlage.

Logischerweise ist dieser Anteil umso höher, je kleiner die Anlage ist. Mit einer solchen »Eigenverbrauchsoptimierung« ist aber dem Klimaschutz nicht viel geholfen, für den schließlich so viel Solarstrom wie möglich erzeugt werden sollte. Außerdem ist es meist auch betriebswirtschaftlich interessanter, einen geringeren Eigenverbrauchsanteil, dafür aber eine größere Anlage zu haben. Wer 3.000 Kilowattstunden jährlich erzeugt und dabei mit jeder Kilowattstunde zehn Cent Überschuss erzielt, hat am Ende trotzdem weniger als der Nachbar, der 10.000 Kilowattstunden zu je fünf Cent Überschuss erzeugt hat.

Auf alle Fälle gilt aber: Der Eigenverbrauchsanteil ist in jedem einzelnen Haushalt unterschiedlich, selbst wenn zwei technisch identische Anlagen direkt nebeneinander betrieben werden. Er hängt zum Beispiel davon ab, wie viel Strom regelmäßig um die Mittagszeit verbraucht wird, ob das Haus in den Sommerferien vier Wochen lang leer steht und vieles mehr. Detaillierte Prognosen hierzu sind aufwendig und für einen Privathaushalt kaum praktikabel. Pauschale Annahmen allein aufgrund von geographischer Lage und jährlichem Gesamtstromverbrauch hingegen, wie viele Anbieter sie zum Beispiel in Online-Kalkulationshilfen bieten, sind mit äußerster Vorsicht zu genießen. Für eine solide Rentabilitätsrechnung sollte man hier pauschal zehn Prozent abziehen – bei der Abrechnung nach dem ersten Betriebsjahr ist eine freudige Überraschung schließlich besser als eine böse.

Eine der besten Möglichkeiten zur Vorab-Planung inklusive der Frage nach dem »Ob« und dem »Wie groß« eines Stromspeichers ist das kostenlose Online-Kalkulationsprogramm »pv@now easy« der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (www.pv-now-easy.de).

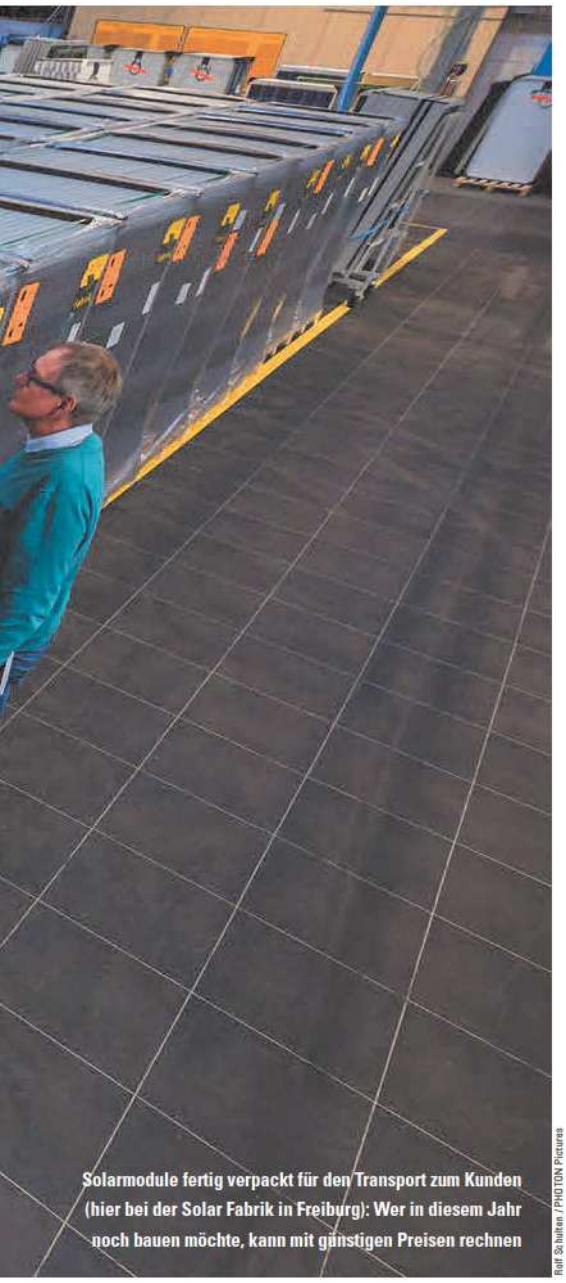
Solarmodule: Die Auswahl ist nur scheinbar riesig, viele Produkte ähneln sich – eine Entscheidungshilfe

Solarmodule sollen vor allem eines: viel Strom produzieren und das über eine möglichst lange Zeit. Hier spielt die Qualität der Materialien eine große Rolle, die Zelltechnologie sowie das Können und die Erfahrung des Herstellers. Daneben gibt es noch Kriterien wie Optik, Herkunft und natürlich den Preis. Wir geben Entscheidungshilfen zu Wahl des passenden Fabrikats.

Weltweit gibt es einige Hundert Hersteller von Solarmodulen, die wiederum jeweils mehrere Modultypen im Programm haben. Grob geschätzt ergeben sich damit mehr als tausend verschiedene Solarmodultypen, die zur Wahl stehen. Wie soll man da nur die richtige Entscheidung treffen? Doch keine Sorge, die schier unüberschaubare Zahl reduziert sich schnell, wenn man ein paar grundsätzliche Entscheidungen trifft. Und letztlich gibt es »richtig« oder »falsch« in diesem Zusammenhang auch gar nicht mehr. Die allermeisten Solarmodule erfüllen sehr passabel ihren Zweck, die Unterscheide bestehen oft nur noch in Details. Wer sich also auf die Empfehlung seines Installateurs verlassen möchte, kann dies ruhigen Gewissen tun – so lange hierbei keine allzu platten Floskeln herhalten müssen. Wer als mündiger Kunde mitreden oder zumindest die Gründe für eine Empfehlung besser nachvollziehen möchte, erhält im Folgenden ein paar Tipps.

Kristalline Zellen oder Dünnschicht?

Zur Stromgewinnung aus Sonnenlicht eignen sich verschiedene Materialien. In Solarmodulen werden vor allem diese drei genutzt: Silizium in kristalliner Form, eine Verbindung aus Kupfer,



Solarmodule fertig verpackt für den Transport zum Kunden (hier bei der Solar Fabrik in Freiburg): Wer in diesem Jahr noch bauen möchte, kann mit günstigen Preisen rechnen

Ralf Schuhen / PHOTON Pictures

Indium, Gallium und Selen (CIGS), sowie aus Cadmium und Tellur (CdTe). Die beiden letzteren gehören zu den Dünnschichtmodulen. Bis vor wenigen Jahren gab es noch eine dritte Variante in der Dünnschichttechnologie: amorphes beziehungsweise mikromorphes Silizium. Aufgrund zu geringer Wirkungsgrade sind Dünnschichtmodule auf Silizium-Basis jedoch inzwischen vom Markt verschwunden. Auch Module aus organischen Materialien werden hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt. Für den Hausgebrauch sind sie aufgrund ihrer geringen Wirkungsgrade, kombiniert mit Lebensdauerproblemen, nicht geeignet.

Cadmium-Tellurid: Module mit Solarzellen aus Cadmium-Tellurid werden in großem Maßstab heute nur von einer Firma hergestellt: First Solar Inc aus Ohio (USA). Der Hersteller beliefert jedoch keine Installateure, sondern verbaut seine Module vor allem in eigenen Kraftwerken, die dann an Investoren verkauft werden. Es gibt jedoch auch einen kleinen Hersteller dieser Module in Deutschland, die TS Solar GmbH (ehemals Calyxo) mit einer Produktion in Thalheim (Sachsen-Anhalt; siehe auch Seite 14). Ein Vorteil dieser Technologie sind die potenziell günstigen Produktionskosten, die TS Solar jedoch aufgrund der vergleichsweise kleinen Produktionskapazität kaum realisieren dürfte. Bleibt noch der im Vergleich zu kristallinen Silizium-Modulen deutlich bessere Temperaturkoeffizient. Während kristalline Module mit jedem Grad Temperatursteigerung rund 0,4 Prozent ihrer Leistung verlieren, sind es bei Modulen aus Cadmium-Tellurid nur 0,25 Prozent. Das führt im Sommer zu etwas besseren Erträgen. Nachteile der TS Solar-Module sind der geringe Wirkungsgrad sowie die geringe Leistung je Modul, was den Flächenbedarf und die Montagekosten erhöht.

CIGS: Markführer unter den Herstellern von CIGS-Modulen ist die japanische Firma Solar Frontier K.K., die über ihre Tochtergesellschaft Solar Frontier Europe GmbH mit Sitz in Grünwald bei München auch in Deutschland vertreten ist. CIGS-Module zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass ihre Leistung in den ersten Betriebswochen zustatt abnimmt. Dieser »Light Soaking«-Effekt beträgt zwar je nach Hersteller nur einige wenige Prozent, der Leistungszuwachs bleibt aber erhalten. Frei von Degradationseffekten – also einer über die Jahre schwindenden Leistung – sind aber auch CIGS-Module nicht. Hersteller wie Solar Frontier geben hier 0,5 Prozent Verlust pro Jahr an. Für CIGS-Module sprechen zudem der im Vergleich zu kristallinen Siliziummodulen bessere Temperaturkoeffizient, der bei minus 0,3 Prozent liegt. Auch ein gutes Schwachlichtverhalten sowie Toleranz gegenüber Verschattungen lassen gute Erträge erwarten. Mit der Avancis GmbH gibt es zudem einen Hersteller, der CIGS-Module im sächsischen Torgau produziert. Die »PowerMax« genannten Module haben eine Leistung von bis zu 150 Watt und einen Wirkungsgrad von 14 Prozent.

JinkoSolar Holding Co., Ltd.

Module mit PERC-Zellen erreichen bessere Wirkungsgrade als solche mit Standard-Zellen – das hier abgebildete Modul stammt von Jinko Solar und erreicht mit 72 Zellen bis zu 390 Watt.

Solar Frontier Europe GmbH

Dünnschichtmodule zeichnen sich durch eine einheitlich dunkle Erscheinung aus – wie diese CIGS-Modul des japanischen Herstellers Solar Frontier

Foto: P. Milord

Optisch auf jeden Fall ein Hingucker: Fassadenanlage mit schwarzen Modulen des Schweizer Herstellers Meyer Burger

Module aus kristallinem Silizium: Module mit Zellen aus mono- oder multikristallinem Silizium haben seit Jahren einen Marktanteil von weit über 90 Prozent, im Hausdachsegment nahezu 100 Prozent. Wer sich eine private Solarstromanlage zulegt, wird also mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit Module mit kristallinen Siliziumzellen nutzen. Bei kristallinen Zellen unterscheidet man die Art des Siliziums (n-type oder p-type), die Kristallstruktur (mono- oder multikristallin sowie ganz selten noch eine Mischform) sowie den Zellprozess (Standard, PERC, Heterojunction oder Rückkontaktzellen).

P-type oder n-type: Jahrelang gab es vor allem Solarzellen aus p-type Silizium, das mit dem Element Bor vordotiert ist. Wissen muss man in diesem Zusammenhang vor allem, dass p-Material anfällig für die sogenannte lichtinduzierte Degradation ist (auf Datenblättern oft mit »LID« abgekürzt). N-type Silizium ist mit Phosphor vordotiert und zeigt diesen Effekt nicht. Solarzellen aus n-type-Material sind also stabiler und deshalb zu empfehlen, zumal das Material auch bessere Wirkungsgrade erlaubt. Module mit Solarzellen aus n-type Silizium sind aber meist auch teurer.

Mono- oder multikristallin: Heute gibt es im Wesentlichen zwei Produktionsprozesse, um Wafer zu fertigen. Der eine führt zu mono-, also einkristallinen Wafern, der andere zu multikristallinen. Früher konnte man den fertigen Zellen auf den ersten Blick ansehen, welche Art von Wafern verarbeitet wurden. Die monokristallinen Zellen waren einheitlich dunkelblau, die multikristallinen zeigen eine deutlich sichtbare Kristallstruktur. Zudem waren multikristalline Zellen rechteckig, monokristalline hatten dagegen abgerundete Ecken. Heute lassen sich die beiden Zelltypen optisch kaum noch unterscheiden. Zum Einen sind Wafer so preiswert geworden, dass auch bei monokristallinen Zellen der Verschnitt aus dem einstmals runden Vorprodukt in Kauf genommen wird, um möglichst viel aktive Zellfläche im Modul zu haben. Zum Anderen sind die Ätzprozesse zur Oberflächenbehandlung so fortgeschritten, dass auch multikristalline Zellen einheitlich dunkelblau bis schwarz anmuten. Dennoch ist es gut zu wissen, welcher Zelltyp im Modul vorhanden ist. Monokristalline Zellen sind in der Regel langlebiger und weniger anfällig für bestimmte Degradationsprozesse. Sie haben zudem das Potenzial für bessere Wirkungsgrade. Das wertvollere n-type-Material wird heute ausschließlich zu monokristallinen Zellen verarbeitet.

Standard-, PERC-, Heterojunction- oder Rückkontaktzellen: Je nach Zellprozess, den der Hersteller verendet, unterscheidet man verschiedene Arten von Solarzellen. Das Arbeitspferd ist die Standard-Solarzelle mit ganzflächiger Aluminiumrückseite. Diese Art Solarzelle ist robust, seit vielen Jahrzehnten erprobt und preiswert zu produzieren. Die Wirkungsgrade sind mit 18 bis 19 Prozent für multikristallines und 20 Prozent für monokristallines Silizium jedoch vergleichsweise niedrig. Lässt man das Aluminium auf der Rückseite weg und passiviert diese stattdessen, erhält man eine PERC-Zelle (bei n-type-Material heißt es PERT). PERC-Zellen haben einen um ein bis anderthalb Prozentpunkte besseren Wirkungsgrad. Noch einen Prozentpunkt mehr schaffen die Hersteller von Heterojunction-Zellen. Hier gehören inzwischen 22 Prozent zum Standard. Die besten Wirkungsgrade lassen sich derzeit mit Rückkontaktzellen erzielen, die

Aleo Solar GmbH

Doppelglas-Module wie hier von Aleo gelten als extrem stabil und langlebig. Werden die Zellen mit etwas Abstand verarbeitet eignen sich diese halbtransparenten Module auch gut für Überdachungen oder Carports.

bei über 23 Prozent in der Serie liegen. Hersteller von Heterojunction- und Rückkontaktzellen verwenden in aller Regel n-type-Silizium. Der Trend geht ganz klar zu PERC-Zellen, die in den letzten Jahren massiv Marktanteile gewonnen haben. Diese Zellen scheinen jedoch zu einem neuartigen Deagradationsprozess zu neigen, der noch nicht ganz verstanden ist. Da dieser jedoch temperaturabhängig ist, muss man unter deutschen und auch mitteleuropäischen Klimabedingungen mit keinen nennenswerten negativen Auswirkungen rechnen. Zellen aus n-type Silizium, also auch PERT-Zellen, scheinen diesen Effekt nicht zu zeigen. Wer also zum gleichen Preis Module mit PERT-, Heterojunction oder Rückkontaktzellen angeboten erhält, sollte diese im Zweifelsfall vorziehen.

Glas-Glas-Module oder klassisch mit Folie?

In letzter Zeit kommen vermehrt Module auf den Markt, bei denen die Rückseitenfolie durch eine zweite Glasscheibe ersetzt wurde. Diese Glas-Glas-Module sind keinesfalls eine neue Entwicklung, das Prinzip stammt aus der Anfangszeit der Photovoltaik. Sie sind jedoch durchaus anspruchsvoll in der Produktion und durch die zweite Glasscheibe auch etwas teurer. Mit steigenden Zellwirkungsgraden – also mehr Leistung je Quadratmeter Glasfläche – rechnet sich diese Variante aber immer öfter. Hinzu kommt die steigenden Anzahl bifacialer Solarzellen am Markt, also Zellen, welche auch auf der Rückseite Strom produzieren. Der wichtigste Vorteil von Glas-Glas-Modulen ist jedoch deren Langlebigkeit. Hersteller von Glas-Glas-Modulen schätzen die Haltbarkeit ihrer Produkte um zehn bis sogar zwanzig Jahre länger ein als die der klassischen Glas-Folien-Module. Ob dies dann auch tatsächlich erreicht wird, muss sich natürlich zeigen, aber nachvollziehbar ist die Begründung für die längere Haltbarkeit schon. So liegen die Solarzellen beispielsweise bei Glas-Glas-Modulen in der sogenannten neutralen Faser, sind also keiner Zug- oder Druckspannung ausgesetzt. Mikrorisse in vorgeschädigten Zellen können sich so nicht verschlimmern, neue Risse nicht auftreten. Wer also auf besondere Langlebigkeit seiner Anlage wert legt, ist mit Glas-Glas-Modulen gut bedient – auch, wenn diese etwas teurer sind.

Module mit halbierten Zellen

Und noch ein Typ taucht in letzter Zeit häufiger auf: Module mit halbierten Zellen. Auf den ersten Blick mag man sich fragen, wozu das gut sein soll – erst werden die quadratischen Wafer aus einem Block gesägt und so zu Zellen verarbeitet. Und kaum sind diese fertig, zerteilt der Zellhersteller sie wieder. Hintergrund sind die kleineren Ströme, die abtransportiert werden müssen. Und je kleiner die Ströme, desto geringer die Verluste. Die Hersteller schaffen es also auf diese Art und Weise, noch ein paar Watt mehr aus ihren Modulen heraus zu kitzeln. Im Wettbewerb um die höchsten Wirkungsgrade und der höchste Leistung je Modul ein Vorteil – ob sich der Aufwand rechnet, steht jedoch auf einem anderen Blatt. Wer aber auf besonders hohe Leistungen wert legt, weil zum Beispiel die vorhandene Dachfläche eher klein ist, sollte sich Halbzellen-Module auf jeden Fall näher anschauen. Durch die besondere Verschaltung sind diese Module zudem schattentoleranter als die klassische Variante mit ganzen Zellen.

REC Systems Germany GmbH

Einige Hersteller bieten Module mit Halbzellen an. Hierdurch lässt sich die Leistung noch ein wenig steigern. Die 120 halben Zellen dieses Moduls von REC basieren zudem auf n-type Silizium, die Leistung reicht bis zu 330 Watt

Was für's Auge: schwarze Module

Man kann von Dünnschichtmodulen halten, was man will, in einem Punkt sind sie aber den meisten Fabrikaten mit kristallinen Zellen überlegen: Dünnschichtmodule auf Basis von CdTe oder CIGS haben eine einheitlich dunkle, nahezu schwarze Anmutung. Wer diese Optik mag, wird aber auch bei kristallinen Modulen fündig. Die meisten Hersteller bieten neben der Standardausführung mit silber eloxiertem Aluminiumrahmen und weißer Rückseitenfolie auch eine Baureihe mit schwarz eloxiertem Rahmen, schwarzer Rückseitenfolie und manchmal sogar schwarzen Kontaktverbindern an. Da sich diese Module stärker aufheizen, ist mit etwas geringeren Erträgen zu rechnen. Wer auf eine einheitlich dunkle Dachfläche wert legt, für den dürften schwarze Module aber eine echte Alternative sein. Im Idealfall sollte natürlich auch das Montagesys-

Der PHOTON-Modultest

Das perfekte Solarmodul verliert nie an Leistung und hält ewig. In der Praxis sieht das natürlich ganz anders aus. Die Ursachen von Leistungsverlust und anderen Mängeln sind jedoch sehr vielfältig. Auch Experten können anhand von Datenblättern nur ungefähr abschätzen, wie sich ein Modul im Betrieb bewähren wird.

Aus diesem Grund hat PHOTON einen Schnelltest für Module entwickelt, der die bekannten Fehlermechanismen untersucht. Die ersten Testergebnisse wurden bereits vorgestellt (PHOTON 2-2018: Sonnenstromfabrik; 4-2018: Jolywood; 5-2018: VSUN). In Arbeit sind Tests von Modulen der Hersteller Heckert, Trina, Hanwha Q Cells, Astronergy und Solarwatt. Weitere Vorschläge nimmt die Redaktion gerne entgegen: redaktion@photon.info.

PI Berlin - Photovoltaik-Institut Berlin AG

Das bifaciale Doppelglasmodul »JW-D60N-315« des chinesischen Herstellers Jolywood hat im PHOTON-Test sehr gut abgeschnitten.

Kristel Lamp / Merck KGaA

Unikat: Module aus organischen Solarzellen sind nur als Sonderanfertigungen erhältlich – zum Beispiel vom deutschen Hersteller Opvius, der diese Solarfassade gestaltete

tem aus schwarz eloxiertem Aluminium bestehen. Manche Modulhersteller wie die deutsche Solarwatt AG bieten diese Module zudem in einer Indachvariante an – aus Ertragssicht wegen der geringeren Hinterlüftung der Module ebenfalls nicht optimal, rein optisch aber fast immer ein Fortschritt.

Welcher Hersteller?

Ist die Modultechnologie entschieden, bleibt die Frage nach dem Hersteller. Egal ob monokristalline Module mit PERT-Halbzellen aus n-type-Material, Module mit multikristallinen Standardzellen oder doch lieber Glas-Glas-Module mit bifacialen Heterojunction-Zellen – meist gibt es nicht nur einen Anbieter am Markt. Der oft gehörte Tipp, man soll einfach auf die großen Konzerne setzen, die bei Problemen im Zweifelsfall schon einstehen werden, greift hier jedoch zu kurz. Die Erfahrung der Vergangenheit hat gezeigt, dass sich auch international agierende Multimilliarden-Unternehmen schon schwer getan haben, wenn es um Ausgleich für ihre schwächelnden Montagsmodule ging. Der Regelfall ist, dass man als kleiner Anlagenbetreiber oder Installateur kaum eine Chance hat, im Schadensfall Ersatz zu erhalten (siehe Kasten »Garantiebedingungen« auf Seite ##). Im Fall des Falles bleibt oft nichts weiter übrig, als auf Kulanz zu hoffen. Aus Redaktionssicht positiv aufgefallen ist hier der japanische Hersteller Kyocera, der sich in der Vergangenheit als äußerst kundenfreundlich gezeigt hat, wenn es um den Austausch schadhafter Module ging.

Ein paar Fragen zum Hersteller kann man seinem Installateur jedoch trotzdem stellen, und, sofern sich diese bejahen lassen, als Pluspunkt werten. Da wäre zum Einen die Frage, ob der Hersteller eine Niederlassung in Deutschland oder zumindest Europa hat. Auch sollte der Installateur möglichst bereits einige Jahre Erfahrung mit dem Hersteller vorweisen können. Und schließlich kann man sich Referenzen von Anlagenbetreibern nennen lassen, bei denen diese Module zum Einsatz gekommen sind. Das alles bietet keine Garantie, dass Probleme vollständig ausbleiben, aber zumindest eine gewisse Sicherheit.

Anne Kreutzmann

Garantiebedingungen

Bei den Garantiebedingungen muss man zwischen Produkt- und Leistungsgarantie unterscheiden. Erstere sichert dem Käufer die im Datenblatt beschriebenen Produkteigenschaften zu, letztere bezieht sich allein auf die Leistung. Die Produktgarantie bietet demnach den umfassenderen Schutz und ist in aller Regel auch deutlich kürzer als die Leistungsgarantie.

Gesetzlich vorgeschrieben sind zwei Jahre Produktgarantie, die bis vor einigen Jahren auch noch Standard bei Modulen waren. Inzwischen gehen viele Hersteller jedoch weit über das gesetzliche Minimum hinaus. Zehn, 15, sogar 20 Jahre Produktgarantie kommen bereits vor.

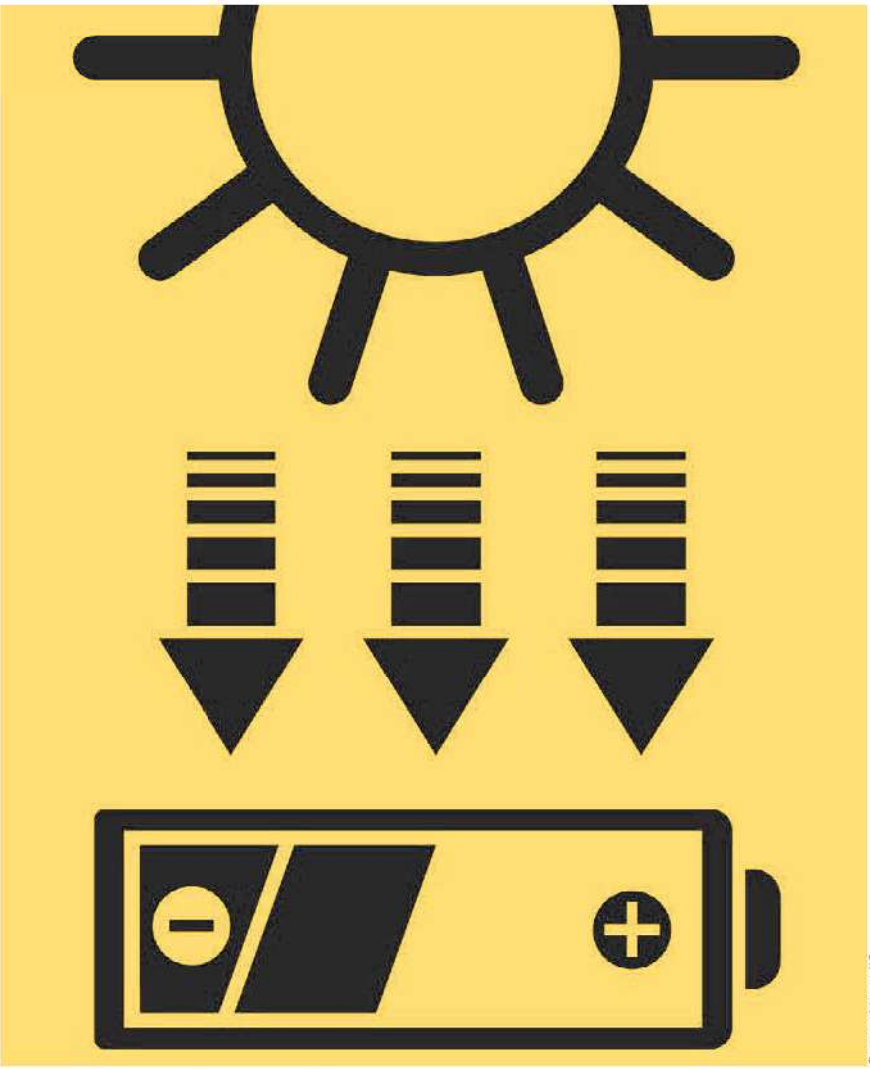
Die Leistungsgarantie beträgt in der Regel zwischen 20 und 30 Jahre. Hierbei gewähren die meisten Hersteller inzwischen eine lineare Garantie, bei der die Leistungsabnahme pro Jahr einen bestimmten Wert nicht überschreiten darf. Meist wird das erste Jahr gesondert behandelt, da hier – je nach Technologie – mit einer stärkeren Leistungsminderung zu rechnen ist. Eine typische Leistungsgarantie greift, wenn nach einem Jahr die Leistung mehr als zwei Prozent sinkt, und in den Folgejahren mehr als ein Prozent (immer bezogen auf die Ausgangsleistung). Nach 20 Jahren sollte das Modul somit noch mindestens 80 Prozent der Ursprungsleistung haben.

So weit zur Theorie. In der Praxis kommt es fast nie vor, dass bei kleinen Hausdachanlagen die Herstellergarantien in Anspruch genommen werden. Das liegt zum Einen daran, dass ein geringer Leistungsverlust nur schwer nachzuweisen ist. Die Module müssen hierzu in aller Regel abgebaut und durch ein akkreditiertes Prüflabor vermessen werden – der Anlagenbetreiber ist ja in der Nachweispflicht. Da die Kosten hierfür die Neupreise der Module inzwischen weit übersteigen, lohnt sich das nicht. Und das wissen auch die Hersteller.

Produkt- und Leistungsgarantien greifen somit vor allem bei offensichtlichen Serienfehlern wie dem Totalausfall von Modulen zum Beispiel aufgrund gebrochener Zellverbinder. Ob der Hersteller dann in der Lage ist, einen solchen Massenaustausch zu stemmen, ist wieder eine andere Frage. Um keine hohen Rückstellungen für solche Fälle zu machen, greifen manche Unternehmen zu einem Trick und verkaufen ihre Module über Tochtergesellschaften, die im Schadensfall abgewickelt werden können oder insolvent gehen. ak

Das Speichersystem: Wenn über »Ja« oder »Nein« entschieden ist, fangen die Fragen erst richtig an

Mit einem Speichersystem verdoppelt sich nicht nur der Preis einer Photovoltaikanlage, sondern auch der Beratungsbedarf. Das liegt nicht allein an der vergleichsweise komplizierten und vielschichtigen Technik. Ein Speicher muss außerdem auch an das Erzeugungsprofil des Solargenerators und das Verbrauchsprofil des Haushalts angepasst sein. Ein paar grundlegende Parameter gelten allerdings immer. Wir haben sie hier kurz zusammengefasst



Sonnenstrom und Batteriesysteme sind ein Traumpaar – im Prinzip. Bei der praktischen Umsetzung hapert es mitunter noch ein wenig

Die wichtigste Kennzahl für den Nutzwert eines Speichersystems ist, streng genommen, nicht technischer Art: Die Lebensdauer entscheidet maßgeblich darüber, ob die Anschaffung ein Plus- oder Minus-Geschäft wird. Bei heutigen Preisen ist ersteres bei zehn Jahren Betrieb nicht zu schaffen, bei 15 Jahren hingegen schon, und bei 20 Jahren durchaus wahrscheinlich. Neben dem Datenblatt sind deshalb die Garantiebedingungen des Herstellers sogar noch wichtiger als bei Solarmodulen oder Wechselrichtern. Denn bei Modulen auf aktuellem Stand der Technik sind eher 30 bis 40 Jahre Lebensdauer zu erwarten, und für einen guten Wechselrichter, der an einem geeigneten Ort installiert und gemäß seiner Spezifikationen betrieben wird, sind 20 Jahre ebenfalls eher der Normalfall.

Bei einem Batteriespeicher hingegen geben fast alle Hersteller nicht mehr als zehn Jahre Garantie und auch dies normalerweise nur auf einen Teil – in der Regel 80 Prozent – der ursprünglichen Speicherkapazität. Es wird hierbei in Verkaufsgesprächen häufig auf die maximale Zyklenzahl verwiesen, die so gut wie nie mit weniger als 5.000 angegeben ist. Bei den als Durchschnitt angenommenen 200 bis 250 Zyklen pro Jahr impliziert dies Lebenserwartungen von 20 oder mehr Jahren. Die Zyklenzahl ist

Weitere Informationen

Ein Problem bei der alltäglichen Anwendung von Speichern ist zumindest derzeit noch das weit gehende Fehlen von Normen und verbindlichen Standards. Wichtige Grundlagen sind aber in dem vom Bundesverband Energiespeicher (BVES) und den Bundesverband Solarwirtschaft (BSW) gemeinsam herausgegebenen »Effizienzleitfaden für PV-Energiespeichersysteme« festgehalten: Beschrieben werden Prüfverfahren zur Charakterisierung von Wirkungsgrad, Standby-Verbrauch und Regelungseffizienz. Der Leitfaden kann auf der BVES-Homepage kostenlos heruntergeladen werden (www.bves.de / Publikationen / Technische Dokumente). An gleicher Stelle finden sich noch weitere Veröffentlichungen, in die man vor dem Kauf eines Heimspeichers einen Blick werfen sollte, insbesondere der »Sicherheitsleitfaden Lithium-Ionen-Hausseicher«.

Eine Marktübersicht, in der die meisten verfügbaren Speichersysteme mit ihren technischen Daten und zumindest teilweise auch mit Preisen aufgeführt sind, erstellt alljährlich das »Centrale Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk e.V.« C.A.R.M.E.N. (www.carmen-ev.de). *js*

Ausbaufähig: »MyReserve« von Solarwatt setzt das Prinzip der Modularität besonders konsequent um. Das Bild zeigt ein 60-Kilowattstunden-System aus fünf Kontrolleinheiten (untere Reihe, in schwarz) mit je fünf Speichermodulen. Ebenso funktioniert aber auch die Kombination aus nur einer Kontrolleinheit und einem Speichermodul – und 2,4 Kilowattstunden Kapazität

aber nicht garantiert und außerdem auch in technischer Hinsicht kein belastbarer Wert; das kalendarische Alter spielt bei einem Speicher immer die entscheidende Rolle.

Der Kauf eines solchen Systems ist also ein Wagnis. Allerdings eines, das in den letzten zwei bis drei Jahren deutlich kleiner geworden ist, denn die Technik hat Fortschritte gemacht und die Preise sind enorm gesunken. Die Rheinisch-Westfälische Technisch Hochschule Aachen (RWTH), die für das Förderprogramm »Erneuerbare Energien ›Speicher‹« der KfW Bank alljährlich einen Monitoring-Bericht erstellt, hat für Ende 2017 einen Durchschnittspreis von 1.300 Euro brutto je Kilowattstunde Speicherkapazität (gemittelt über alle Technologien), also knapp 1.100 Euro netto ermittelt. Das ist nicht einmal halb so viel wie noch 2013. Hinzu kommt, dass die Daten des Berichts hauptsächlich auf dem KfW-Programm beruhen, das jedoch wegen seiner ausgesprochen unattraktiven Bedingungen immer weniger genutzt wird. Selbst viele Solarteure raten ausdrücklich davon ab. Es darf deshalb angenommen werden, dass der reale Durchschnittspreis der 2017 in Deutschland installierten Solarstromspeicher noch etwas niedriger lag.

Alternative: Lithium-Ionen-Zellen und verwandte Technologien dominieren den Markt. Zumindest potenziell interessant sind aber auch auch Redox-Flow-Batterien (hier das »EverFlow« von Schmid)

Vorbereitet: Wechselrichter mit integriertem Speicher sind inzwischen selten, statt dessen markieren Geräte wie der Sunny Boy Storage von SMA, der für die Integration von bis zu drei Batterien konzipiert ist, den Trend

Klein anfangen

Dennoch führt die aktuelle Situation, zumindest wenn man das rein finanzielle Eigeninteresse der Kunden im Auge hat, direkt zu einem technischen Auswahlkriterium, das vielen Herstellern nicht gefallen wird: Ein Heimspeicher sollte am besten so klein wie möglich dimensioniert werden, auch wenn dies seinem eigentlichen Zweck, den Strombedarf zu einem möglichst hohen Anteil mit selbst erzeugtem Strom zu decken, widerspricht. Deshalb empfiehlt sich ein modularer Aufbau. Hierbei lässt sich eine Steuereinheit mit einer unterschiedlichen Anzahl von Batterieblöcken kombinieren. Das System kann also beispielsweise zunächst mit zwei oder vier Kilowattstunden Speicherkapazität installiert und später auf sechs oder acht Kilowattstunden erweitert werden.

Auf diese Weise lassen sich die Anfangskosten begrenzen und Betriebserfahrungen sammeln – und außerdem ist es sehr wahrscheinlich, dass die in ein oder zwei Jahren zugekauften Batteriemodule preiswerter sind als heute. Außerdem, und das ist sicher auch ein Grund dafür, dass inzwischen ein hoher Anteil der erhältlichen Speichersysteme auf diesem Prinzip beruht, ist der Austausch von defekten Zellen wesentlich einfacher.

Die nächste Grundsatzfrage ist die Entscheidung zwischen der Anbindung auf der Wechselstrom- (AC-) oder Gleichstromseite (DC). Ein AC-gekoppeltes System ist vor allem bei Nachrüstung einer schon bestehenden Photovoltaikanlage leichter zu integrieren und es benötigt keine Gleichstromleitungen – was vor allem dann praktisch ist, wenn es nicht in der Nähe der Anlage aufgestellt werden kann. Doch diese Topologie hat auch einen prinzipiell geringeren Wirkungsgrad, denn es wird hierbei ja zunächst Gleichstrom aus den Solarmodulen vom Wechselrichter der Solarstromanlage in Wechselstrom umgewandelt, der dann vom Batteriewechselrichter des Speichersystems wieder in Gleichstrom zum Laden der Zellen transformiert werden muss. Bei der Entnahme aus dem Speicher wird dann wieder Wechselstrom benötigt.

Bei DC-gekoppelten System hingegen fließt beim Laden Gleichstrom – von der DC-Seite des Wechselrichters oder direkt aus dem Solargenerator – in den Speicher und beim Entladen von dort zum Solarwechselrichter und ins Hausnetz. Zwei der drei Umwandlungsschritte eines AC-

gekoppelten Systems entfallen, und außerdem wird nur ein Laderegler und kein Batteriewechselrichter benötigt. Letztendlich hängt der Wirkungsgrad allerdings nicht allein von der Topologie, sondern auch von der richtigen Auslegung und der Qualität des Systems ab.

Stand der Technik

Weitere entscheidende Parameter eines Speichersystems sind der Wirkungsgrad und die Entladetiefe. Beides sollte selbstredend möglichst hoch sein. Bei beidem sind die Zahlen auf dem Datenblatt jedoch von etwas begrenzter Aussagekraft.

Beim Wirkungsgrad – also, etwas vereinfacht, dem Verhältnis der aus dem Akku entnehmbaren zu der ursprünglich eingespeicherten Energiemenge – müsste eigentlich ein Durchschnitt aus verschiedenen Teillastbereichen gebildet werden. Vor allem das Entladen erfolgt häufig im unteren Bereich der möglichen Leistung. Es nutzt also wenig, wenn ein System bei Maximalleistung hoch effizient ist, im Teillastbereich aber ein Viertel der Energie verloren geht. Auch der Verbrauch im Leerlauf und Stand-by-Betrieb beeinflussen den Wirkungsgrad. Angaben hierzu sowie zum Teillastwirkungsgrad machen aber nicht alle Hersteller. Meist ist einfach nur die Kategorie »Wirkungsgrad« ohne nähere Details zu finden, allenfalls sind noch Unterschiede zwischen Lade- und Entladebetrieb genannt. In jedem Fall sind 90 Prozent die untere Grenze dessen, was noch als Stand der Technik gelten kann.

Die Entladetiefe wiederum gibt an, wie viel der gespeicherten Energie überhaupt entnommen werden kann, ohne die Lebensdauer des Akkus über Gebühr zu beeinträchtigen. 90 Prozent sind hier Standard, nur wenige Modelle sind mit 100 Prozent ausgewiesen. Ob man dieser Empfehlung tatsächlich folgen sollte, ist eine andere Frage. Die Nennkapazität in Kombination mit der Entladetiefe (oft auch »DoD« für englisch: Depth of Discharge) gibt letztendlich die tatsächlich nutzbare Speicherkapazität an.

EVBox

Zubehör: Interessant werden Speichersysteme auch durch weitere Komponenten wie etwa die »EVBox« zum Laden von Elektroautos

Ein anderes Grundsatzproblem hat sich mittlerweile weitgehend erledigt: Die Frage, ob Blei als Basis der Zellen akzeptabel ist oder nicht, haben nahezu alle Anbieter mit »Nein« entschieden. Dafür gibt es die marktbeherrschenden Lithium-Ionen-Technologien mittlerweile in ungefähr einem Dutzend verschiedener Spielarten.

Es werden vermutlich noch mehr. Hinzu kommen, wenn auch bislang nur vereinzelt, alternative Konzepte. So gibt es inzwischen Redox-Flow-Batterien, etwa von der Schmid Group oder seit Neuestem vom Münchener Start-up Voltstorage auch als Heimspeicher. Sie haben – bei allerdings deutlich geringerer Energiedichte und folglich größerem Platzbedarf – den Vorteil, dass Leistung und Speicherkapazität voneinander unabhängig sind. Theoretisch hätte diese Technologie also das Potenzial, eine für die Nutzung im Eigenheim passende Leistung zu wählen und dann die Speicherkapazität so zu dimensionieren, dass sich selbst lange Perioden ohne nennenswerte Sonneneinstrahlung überbrücken lassen. Aber das ist, wie so vieles im Bereich Speichersysteme, am Ende dann doch eine Preisfrage.

Jochen Siemer

Mieten statt Kaufen

Das Thema »Lebensdauer und Garantie« führt unweigerlich zu der Frage, ob es nicht besser ist, einen Solarstromspeicher zu mieten statt zu kaufen. Die Antwort lautet, wie kaum anders zu erwarten, »Jein«.

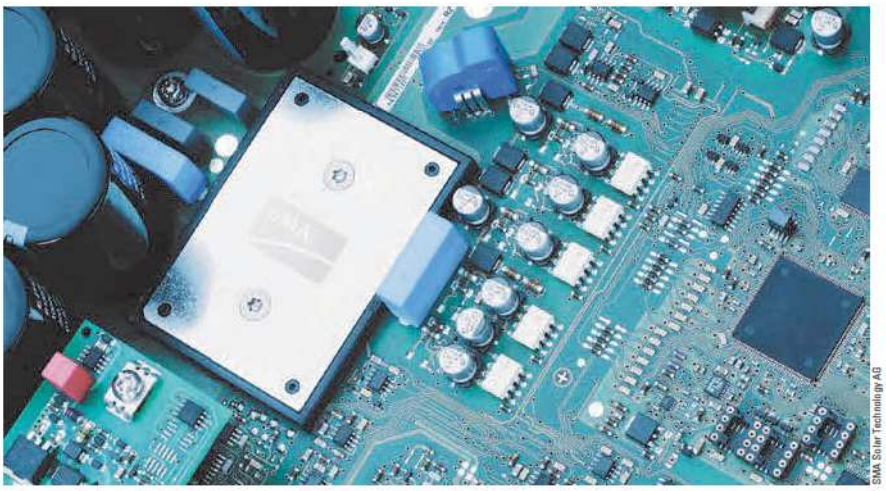
Zahlreiche Unternehmen, darunter auch viele kommunale Versorger, bieten Speicher zur Miete, normalerweise allerdings in Kombination mit der gesamten Photovoltaikanlage. Oft ist ein Speicher auch Bestandteil einer »Strom-Flatrate«. Es empfiehlt sich ein Gang zur örtlichen Verbraucherzentrale, bevor man eine entsprechende Vereinbarung eingeht.

Eine weitere, oft auch in Kombination mit Miet- oder Pachtmodellen sowie Strom-Flatrates angebotene Variante ist das gemeinschaftliche Nutzen von Speichern. Das Prinzip dieser Lösungen ist, dass der Anbieter Zugriff auf den Speicher erhält und überschüssigen Strom dort einlagern oder aber Strom aus dem Speicher entnehmen und an andere Mitglieder des Verbunds verteilen darf.

Auch hier gilt immer: Vor Abschluss sorgfältig prüfen, ob das Angebot zum eigenen Bedarf passt. Betriebswirtschaftlich kann dies aber eine vorteilhafte Variante sein, und energiewirtschaftlich ist eine Speichernutzung im Verbund ohnehin besser, als wenn jeder mit seinem eigenen Batteriesystem im Keller vor sich hin wirtschaftet.

Wechselrichter: Wichtig ist ein hoher Wirkungsgrad – und zwar in allen Betriebszuständen

Der Wechselrichter ist das Herzstück einer Photovoltaikanlage. Entscheidend ist hier vor allem der Wirkungsgrad, mit dem der Gleichstrom der Solarmodule in Wechselstrom umgewandelt wird. Hierbei allein auf den Spitzenwirkungsgrad zu achten reicht jedoch nicht aus. Wichtig ist vielmehr, dass der Wechselrichter bei jedem Wetter eine gute Leistung abliefert.



SMA Solar Technology AG

Blick ins Innenleben eines Wechselrichters: Hier wird aus dem Gleichstrom der Solarmodule Wechselstrom gemacht

Ein Auswahlkriterium für einen guten Wechselrichter ist zunächst einmal der Wirkungsgrad. Anders als bei Solarmodulen, bei denen ein etwas niedriger Wirkungsgrad vergleichsweise geringe Auswirkungen hat – nämlich, dass mehr Fläche für eine bestimmte Anlagenleistung benötigt wird –, kann ein zu geringer Wirkungsgrad des Wechselrichters aus einem profitablen Projekt ein Verlustgeschäft machen. Liegt die erwartete Rendite einer Photovoltaikanlagen bei fünf Prozent und vernichtet der Wechselrichter dann fünf Prozent der von den Modulen erzeugten Strommenge, kann allein dies ausreichen, ein Projekt von den schwarzen in die roten Zahlen zu bringen.

Ineffiziente Wechselrichter haben aber noch einen weiteren Nachteil: Schließlich verschwindet der nicht genutzte Solarstrom nicht einfach, sondern wird in Wärme umgewandelt. Große Kühlkörper und somit Gehäuse oder eine aktive Lüftung mit großen Lüftern und entsprechendem Geräuschpegel müssen dies kompensieren. Alle Bauteile sind einer höheren Temperatur ausgesetzt und altern somit schneller. Geräte mit niedrigerem Wirkungsgrad sind darum gleichzeitig auch fehleranfälliger.

Wer sich das Datenblatt eines Wechselrichters anschaut, findet meist drei Angaben zum Wirkungsgrad: der Maximale Wirkungsgrad oder Spitzenwirkungsgrad, der Europäische Wirkungsgrad sowie der MPP-Anpassungswirkungsgrad, der bei 99,8 oder 99,9 Prozent liegen sollte und die Fähigkeit des Geräts angibt, im Punkt maximaler Leistung (Maximum power point, MPP) zu arbeiten. Selten wird auch noch der PHOTON-Wirkungsgrad oder ein Gesamtwirkungsgrad angegeben.

Der Spitzenwirkungsgrad liegt bei Wechselrichtern, die für Hausdachanlagen bis zehn Kilowatt geeignet sind, inzwischen regelmäßig bei über 98 Prozent. Er gilt jedoch nur bei einer bestimmten Belastung des Wechselrichters und ist somit höchstens von akademischer Bedeutung. Schließlich arbeitet der Wechselrichter in der Praxis bei sehr unterschiedlichen Belastungen. Aussagekräftiger ist da schon der Europäische Wirkungsgrad. Er ergibt sich aus den gewichteten durchschnittlichen Gesamtwirkungsgraden bei unterschiedlichen Belastungen und liegt meist 0,3 bis anderthalb Prozentpunkte unter dem Spitzenwirkungsgrad. Doch auch dieser Wert hat ein Manko: Es ist nämlich nicht definiert, bei welcher Eingangsspannung er ermittelt werden soll. Die Spannung eines Solargenerators ändert sich jedoch im Laufe eines Tages und auch im Laufe eines Jahres ständig. Deshalb haben Wechselrichter auch einen Eingangsspannungsbereich und nicht nur einfach eine Eingangsspannung.

Der PHOTON-Wirkungsgrad betrachtet den gesamten vom Hersteller zugelassenen Eingangsspannungsbereich. Ebenso wird auch der gesamte Leistungsbereich erfasst. Die Wirkungsgrade bei verschiedenen Belastungen werden entsprechend der Häufigkeit ihres Vorkommens bei der Berechnung herangezogen, die Wirkungsgrade bei verschiedenen Spannungen werden gemittelt. Damit gibt der PHOTON-Wirkungsgrad das tatsächliche Verhalten des Wechselrichters in einer Anlage gut wieder. Der Betreiber kann darauf setzen, dass eine Solarstromanlage mit einem Wechselrichter mit hohem PHOTON-Wirkungsgrad einen besseren Ertrag liefern wird als eine, in der ein Gerät mit geringerem PHOTON-Wirkungsgrad verbaut ist. Typischerweise liegt der PHOTON-Wirkungsgrad noch mal etwas niedriger als

Kostal Solar Electric GmbH

Der einphasige Wechselrichter »PIKO MP plus« von Kostal zeichnet sich durch umfangreiches Zubehör aus und ist auch als Speicherwechselrichter nutzbar

der Europäische Wirkungsgrad. Dasselbe gilt für den im Normungsprozess befindlichen Gesamtwirkungsgrad, der ebenfalls den gesamten Wirkungsgradverlauf über die Leistung in Bezug auf die Spannung betrachtet.

Innen oder außen

Ein weiteres Entscheidungskriterium stellt der Installationsort des Wechselrichters dar. In früheren Jahren wurden Wechselrichter als vergleichsweise empfindliche elektronische Geräte im Inneren eines Gebäudes montiert. Seit geraumer Zeit ist dies anders: Witterungsdichte Gehäuse im Verbund mit robuster Elektronik, die einen größeren Temperaturbereich verkraftet, ermöglichen auch den Außeneinsatz. Dabei muss man unterscheiden zwischen voll außenbetriebsfähigen Geräten, die in der Regel eine Schutzart IP 65 oder besser aufweisen, und solchen, die im Bereich IP 4x oder IP 5x liegen. Diese benötigen möglicherweise einen Witterungsschutz gegen Regen.

Beim Inneneinsatz kann es jedoch ebenfalls Beschränkungen geben. So sind nicht alle Wechselrichter darauf ausgelegt, in sehr staubigen Umgebungen, wie beispielsweise Scheunen, betrieben zu werden. Auf jeden Fall sollte man auf den zulässigen Temperaturbereich achten. Manche Hersteller geben an, dass ihre Geräte noch bei Temperaturen bis zu 60 Grad Celsius laufen. Solche Temperaturen können im Sommer auf einem Dachboden durchaus auftreten. Oft findet sich aber erst im Kleingedruckten der Hinweis, dass das Gerät schon bei geringerer als der zulässigen Maximaltemperatur die Ausgangsleistung begrenzt. Ist dies der Fall, sollte man die Temperatur, bis zu der das Gerät die volle Leistung abgeben kann, als Maximaltemperatur ansehen.

Geräuschentwicklung

Wird der Wechselrichter im Innenbereich installiert, macht es Sinn, sich die maximale Geräuschentwicklung auf dem Datenblatt anzusehen. Denn Wechselrichter können durchaus hörbar Lärm emittieren. Dies liegt zum Einen an den immer noch eingesetzten Lüftern: Langsam drehende Modelle sind eher leise, schnell drehende eher lauter. Aber auch Modelle ohne Lüfter geben mitunter Geräusche ab. Neben einem 50-Hertz-Brummen von den Drosselspulen kann auch ein hochfrequenter Piepton aufgrund des Transistorschaltens dazukommen.

In industriellen oder gewerblichen Umgebungen sind diese eher schwachen Geräusche zumeist nicht wahrnehmbar und werden durch andere Nebengeräuschen überdeckt. Anders im Wohnhaus: Wer in einem Bungalow wohnt und den Wechselrichter mangels Keller oder Dachboden notgedrungen im Wohnbereich aufhängen muss, sollte also ein leises Gerät wählen. Geräusche unterhalb von 20 dB(A) können als unhörbar angesehen werden. Werte zwischen 20 und 24 dB(A) sind theoretisch wahrnehmbar, stören aber im Grunde nicht. Darüber hinaus sind die Geräusche deutlich wahrnehmbar und ab 30 dB(A) kann es im Wohnbereich ungemütlich werden.

Anlagenmonitoring wird zum Standard

Nahezu alle neuen Wechselrichter verfügen über einen eingebauten Datenlogger zur Aufzeichnung aller relevanten Betriebsdaten des Geräts, etwa dem zeitlichen Verlauf von DC- und AC-Spannungen und -Strömen, der eingespeisten Leistung, der Netzfrequenz sowie von Störungsmeldungen. Die Daten des internen Datenloggers lassen sich bei vielen Geräten an einem Display ablesen. Auch eine Schnittstelle für das Auslesen der Daten mit einem Computer ist heute meist Bestandteil des Wechselrichters und muss nur selten optional hinzugekauft werden. Neuere Modelle verfügen in der Regel über eine Ethernet-Schnittstelle. Solche Geräte haben dann zur Auswertung der Betriebsdaten oftmals auch einen eingebauten Webserver. Alternativ bieten Hersteller an, die Wechselrichter mit einem Webportal zu verknüpfen. Das hat den Vorteil, dass man weltweit Zugriff auf die Anlagendaten hat. Man kann also beispielsweise selbst im Urlaub nachschauen, ob die Anlage ordnungsgemäß läuft oder wird im Falle einer Störung per E-Mail informiert.

Philippe Welter, Anne Kreutzmann

Der PHOTON-Wechselrichtertest

PHOTON testet seit über zehn Jahren Wechselrichter. Inzwischen liegen Ergebnisse von rund 150 Geräten vor. Die nächsten Geräte im Test sind der Sunny Boy 3000 von SMA sowie der Modulwechselrichter Enphase IQ7+. Weitere Vorschläge nimmt die Redaktion gerne entgegen: redaktion@photon.info. *ak*

Modulwechselrichter des US-Herstellers Enphase: Das Modell IQ7+ ist für Module mit 60 oder 72 Solarzellen geeignet und seit kurzem auch in Europa verfügbar

Stringwechselrichter des israelischen Herstellers Solaredge: Durch die »HD Wave«-Technologie sind die Geräte sehr leicht und klein – bei gleichzeitig hohem Wirkungsgrad

Für größere Projekte: Der erste Wechselrichter von Kaco mit Siliciumcarbid-Transistoren, »blueplanet 125 TL3«, ist für Anlagen im gewerblichen Maßstab gedacht

Wie kommt der Preis zustande?

Eine Solarstromanlage sollte nur auf Grundlage eines detaillierten Angebots gekauft werden

Vor allem bei kleineren Anlagen hat es große Auswirkungen auf den Preis, ob besondere Umstände vorliegen – zum Beispiel eine schwer zugängliche Baustelle. Nicht nur deshalb sollte das Angebot, das als Basis für den Kaufvertrag dient, alle wichtigen Angaben enthalten. Und auch abseits der schriftlich fixierten Angaben gilt: Lieber zweimal zu viel nachfragen als einmal zu wenig.

Eon Energie Deutschland GmbH

Fast fertig: Der Bau einer Photovoltaikanlage ist nicht selten an einem Tag erledigt. Für das vorangehende Studium von Angeboten sollte man sich trotzdem ein wenig Zeit nehmen

Für den Preise einer Photovoltaikanlage ohne Speichersystem gelten 1.000 Euro je Kilowatt installierter Leistung heute als Richtschnur. Diese Zahl sollte ruhig im Kopf behalten, wer sich auf die Suche nach einem guten Angebot macht – dabei aber auch beachten, dass eine Richtschnur eben keine Leitplanke ist. Besagte 1.000 Euro sind für eine große Anlage im Bereich von mehreren Hundert Kilowatt sogar schon reichlich teuer, für das kleine System auf dem Einfamilienhaus aber mitunter schlicht nicht machbar.

Der Grund hierfür ist simpel: Bestimmte Vorleistungen, vom Beratungsgespräch über die Ertragsprognose bis zur Materialbestellung können bei einer kleinen Anlage eben nur auf einige Kilowatt umgelegt werden. Darum ist das Preisniveau in der Kategorie bis zehn Kilowatt generell umso höher. Und wenn zum Beispiel der Bau eines Gerüsts – in vielen Fällen eine unabdingbare Sicherungsmaßnahme – nur unter erschwerten Bedingungen erfolgen kann, macht dies schnell 100 Euro oder mehr je Kilowatt aus. Wenn ein Gebäude in einem Gebiet mit hohen Schnee- oder Windlasten (oder beidem) liegt, muss das Montagesystem solider als gewöhnlich ausgelegt werden. Bei großen Anlagen verursacht das vielleicht zwei oder drei Prozent höhere Baukosten, bei kleinen auch mal zehn Prozent.

Eben deshalb sollte man sich aber genau erklären lassen, wie denn der Preis zustande kommt. Und natürlich auch, weil der Satz »Hiermit bestelle ich auf Grundlage Ihres Angebots vom ...« ein juristisch verbindliches Vertragsverhältnis schafft. Es muss vorher also genau definiert sein, was denn da bestellt wird.

Genau wie beim Autokauf

Die nebenstehende Tabelle gibt nur eine grobe Übersicht, vor allem beim Thema »Speichersystem« - wenn denn eines gewünscht wird – lässt sich die Vielzahl der unterschiedlichen Konzepte nicht mit ein paar Stichpunkten abhandeln. Grundsätzlich aber gilt, was leider bis heute in der Solarbranche noch nicht selbstverständlich ist: Genau wie man ein Auto nur bestellt, wenn von Motorleistung und Getriebeart über die Sonderausstattung bis hin zur Farbe der Sitzbezüge alles geklärt ist, sollte man eben auch keinesfalls eine Photovoltaikanlage ordern, wenn nur »Solarmodule, LG, 300 Watt« oder »Wechselrichter, Marke Kaco, 10 kW« zugesagt sind. Die verwendeten Komponenten müssen vielmehr anhand exakter Typenbezeichnung und beigelegter Datenblätter beschrieben werden.

Was die Ausführung der Arbeiten betrifft, hat man die meisten wichtigen Punkte erfasst, wenn Planung und Montage gemäß der hierfür grundlegenden Norm DIN VDE 0100-712 »Solar- Photovoltaik- (PV-) Stromversorgungssysteme« zugesichert sind. Hier sind zum Beispiel die unabdingbaren Standards zu elektrischer Sicherheit und Brandschutz geregelt. Es schadet aber keinesfalls, wenn die weiteren, in der Übersicht aufgeführten Punkte ebenfalls einzeln fixiert werden – zumal sie nicht allesamt Bestandteil der Norm sind.

Drei Dinge sollten aber beachtet werden: Erstens ist es normalerweise immer gut, mehrere Angebote miteinander zu vergleichen. Zweitens ist – das soll unsere Übersicht ja unter anderem zeigen – der Preis hierbei ein wichtiges, aber nicht das allein entscheidende Kriterium. Drittens kann man nicht gleich bei der ersten Anfrage ein detailliertes Angebot mit verbindlicher Preisangabe erwarten Dies sollte, im Gegenteil, sogar misstrauisch machen, denn ohne Kenntnis der genauen Gegebenheiten kann der Solarteur ja nicht wissen, ob das Dach eine unproblematische Montage der Module erlaubt, wie lang die Kabelwege sind, ob möglicherweise erforderliche Durchbrüche durch zehn Zentimeter starke Trockenbauwände oder durch 30 Zentimeter Ziegelstein zu legen sind und vieles mehr.

Es gibt also einiges zu bedenken und beachten. Normalerweise gilt aber dennoch: Der Bau einer Photovoltaikanlage ist eine relativ unkompliziert und schnell zu erledigende Angelegenheit. Ganz besonders dann, wenn Handwerker und Kunde sich vorher über alle wichtigen Fragen ausgetauscht und geeinigt haben.

Jochen Siemer

Wichtige Stichpunkte für ein verlässliches Angebot

Module	Hersteller, exakte Typenbezeichnung, Stückpreis	€	Die Identifizierung des Moduls ist nur mit genauer Hersteller- und Typenbezeichnung möglich. Einzelne Ziffern oder Buchstaben kennzeichen oft beispielsweise unterschiedliche Leistungsklassen oder auch die Länder, für die der Hersteller den Import freigegeben hat – und in denen er die Garantie übernimmt.
	Nennleistung		Erforderlich ist hier auch eine Angabe zur Leistungstoleranz, also der möglichen negativen oder positiven Abweichung von der Nennleistung.
	Zertifikate		Module ohne Zertifikat nach IEC 61730 sollten nicht verwendet werden.
	Produkt- und Leistungsgarantie		Zwei Jahre Gewährleistung sind gesetzlich festgelegt, evtl. darüber hinausgehende Garantiezeiten müssen verbindlich zugesagt werden. Die allgemeinen Garantiebedingungen des Herstellers sollten dem Angebot beiliegen.
	Datenblatt		Das Datenblatt sollte der DIN EN 50380 (Datenblätter und Typenschildangaben von Photovoltaikmodulen) entsprechen; dies ist normalerweise auf dem Datenblatt vermerkt.
Wechselrichter	Hersteller, exakte Typenbezeichnung, Stückpreis	€	Die Identifizierung ist nur mit kompletter Hersteller- und Typenbezeichnung möglich. Einzelne Ziffern oder Buchstaben kennzeichen oft beispielsweise unterschiedliche Gehäuseschutzklassen.
	Nennleistung und max. Leistung AC/DC		Ohne diese Angaben ist nicht nachvollziehbar, ob das Verhältnis von Modul- und Wechselrichterleistung stimmt. Bei Anlagen mit mehreren Modulstrings sollte auch deren Aufteilung auf den bzw. die Wechselrichter erläutert werden.
	Zertifikate/Normen		Der Wechselrichter muss der geltenden Norm »Sicherheit von Wechselrichtern zur Anwendung in photovoltaischen Energiesystemen« (DIN EN 62109-1) entsprechen.
	Europäischer Wirkungsgrad		Die Angabe des Spitzenwirkungsgrads reicht nicht aus.
	Produktgarantie		s. u. »Module«
	Gehäuseschutzart		wichtige Information zur Wahl des Aufstellungsortes
	Datenblatt		Das Datenblatt sollte der DIN EN 50524 (Datenblatt- und Typschildangaben von Photovoltaik-Wechselrichtern) entsprechen; dies ist normalerweise auf dem Datenblatt vermerkt.
Montagesystem	Hersteller, exakte Typenbezeichnung, Gesamtpreis	€	Solar-Montagesysteme bestehen aus aufeinander abgestimmten Komponenten, für die es auch Datenblätter mit wichtigen Angaben beispielsweise zur Korrosionsbeständigkeit gibt. Deshalb sollte (außer in wenigen, gut begründeten Ausnahmen) ein solches System – inklusive sämtlicher Komponenten wie Dachhaken, Profilverbinder, etc. – verwendet werden und keine vom Solarteur frei zugekauften Befestigungskomponenten.
	Ausführung: einlagig oder Kreuzverbund, Anzahl der Dachhaken, etc.		Je nach Ausführung bestehen erhebliche Unterschiede bei der statischen Belastbarkeit, aber auch beim Preis.
	Dacheindeckung (z. B. »Pfanneneindeckung«)		Es bedeutet für die Auswahl der Montagekomponenten und die erforderliche Arbeitszeit einen erheblichen Unterschied, ob ein Dach mit Pfannen oder z.B. mit Blech eingedeckt ist.
	Gestell- und Bauwerksstatik		Das Gestell als solches sowie die Verbindung mit dem Gebäude müssen gemäß DIN 1991/Eurocode 1 (früher DIN 1055) ausgeführt sein; dies sollte bereits im Angebot verbindlich zugesagt werden; mit der Planungssoftware eines guten Montagesystems kann der Solarteur auch eine Statikauslegung der Anlage erstellen.
Speichersystem	Hersteller, exakte Typenbezeichnung, Gesamtpreis	€	Die Identifizierung des Speichersystems ist nur mit genauer Hersteller- und Typenbezeichnung möglich.
	Zelltyp		Am weitesten verbreitet sind Lithium-Ionen-Batterien in unterschiedlichen Varianten. Bleibatterien sollten nicht verwendet werden, sie sind ökologisch bedenklich und (für diesen Einsatzzweck) auch technisch unangemessen.
	Topologie		Es gibt Batteriemodule, die nur in Kombination mit einem auf sie abgestimmten Wechselrichter einsetzbar sind sowie komplette Speichersysteme. Modular aufgebaute Systeme haben den großen Vorteil, dass sie später nach Bedarf erweitert werden können. Die wichtigsten Topologien sind: AC-gekoppelt (vor allem für Nachrüstungen in bestehende Anlagen geeignet, es wird ein separater Batteriewechselrichter benötigt), DC-gekoppelt (auf der Gleichstromseite des Wechselrichters oder als »DC-generatorgekoppeltes« System direkt hinter dem Solargenerator).
	Technische Grunddaten		Speicherkapazität, Lade- und Entladeleistung, maximale Entladetiefe, Zyklenzahl, Lade- und Entladewirkungsgrad müssen zwar nicht im Angebot aufgeführt sein, aber im zugehörigen Datenblatt.
	Garantie		Die Garantie, üblicherweise Lebensdauer-Garantie und eine Zeitwertgarantie für die Batteriezellen, sollte als maximale Betriebsdauer des Systems betrachtet werden und hat entscheidenden Einfluss auf die Rentabilität (siehe Seite 41).
	weitere Angaben / Service		Wegen der Vielfalt der Speichersysteme ist eine allgemein gültige Auflistung der wichtigen Angaben kaum möglich. Ein ausführliches Datenblatt und fachkundige Beratung durch den Solarteur sowie der Vergleich mehrerer Systeme sind unabdingbare Grundlage für die Kaufentscheidung.
Sonstiges	Planung, Montage, Installation	€	Unbedingt sollte festgehalten sein, dass Planung und Installation der Anlage gemäß DIN VDE 0100-712 »Solar- Photovoltaik- (PV-) Stromversorgungssysteme« erfolgen. Ein Pauschalpreis Montage- u. Installationsarbeiten ist akzeptabel, wenn ausdrücklich alle anfallenden Arbeiten eingeschlossen sind (dies können z.B. Decken- oder Wanddurchbrüche für Kabel, Einbauten von Leistungsschutzschaltern u.ä. sein).
	Sicherungsmaßnahmen		Im Normalfall ist ein Gerüst aufzustellen. Diese (oder andere) Sicherungsmaßnahmen müssen im Angebot aufgeführt werden - nicht nur wegen der Kosten, sondern auch weil der Bauherr Mitverantwortung für die Sicherheit trägt.
	Kabel und Steckverbinder	€	Der genaue Typ von Kabeln und Steckverbindern gehört ins Angebot, ebenso Gesamtlänge und Querschnitt der Kabel (AC- und DC-Seite).
	Blitzschutz	€	Es muss verbindlich geklärt sein, ob – und in welcher Form – die Anlage in einen bestehenden Blitzschutz integriert werden kann oder ob ein eigener Blitzschutz geschaffen werden muss und welche Kosten dies verursacht.
	Zählerschrank	€	Wenn der vorhandene Zählerschrank nicht ausreicht, kann ein zusätzlicher Schrank erhebliche Mehrkosten bedeuten.
	Ertragsüberwachung	€	Nicht zwangslaufig nötig, aber sehr sinnvoll; Beratung sollte zu verschiedenen Varianten erfolgen.
Service etc.	Funktionsnachweis, Abnahmeprotokoll, Anlagendokumentation		Eine Prüfung der einwandfreien Funktion (z.B. durch Kennlinienmessung) sollte ausdrücklich zugesichert werden, ebenso die Erstellung eines Abnahmeprotokolls (einschließlich Einweisung des Kunden) und einer Anlagendokumentation mit (mindestens) Verschaltungsplänen, Datenblättern, Lageskizze (ggf. mit unter Putz liegenden Kabeln)
	Ertragsprognose		Die Prognose sollte nachvollziehbar und dokumentiert sein (z. B. Datenquelle der angenommenen jährlichen Solarstrahlung, verwendetes Simulationsprogramm).
	Montageversicherung, Haftpflichtversicherung		Das Bestehen einer Versicherung des Solarteurs muss auch im Interesse des Kunden verbindlich zugesichert werden.
	(Ertrags-) Versicherung der Anlage		Dies ist nicht Aufgabe des Solarteurs, er sollte hierzu aber beraten können.
	Gesamtpreis netto/brutto	€	muss eindeutig inkl. sämtlicher Positionen und Zahlungsbedingungen ausgewiesen sein
	Beginn und Dauer der Arbeiten, Termin der Betriebsbereitschaft		müssen verbindlich angegeben sein
	Verbindlichkeitsfrist		Angaben, wie lange Preis und Konditionen als verbindlich gelten

Für die mit einem Euro-Zeichen (€) markierten Positionen sollte im Angebot ein Preis ausgewiesen sein. Für alle anderen Posiitionen ist dies nicht erforderlich bzw. nicht angebracht, weil zum Beispiel die Erstellung einer Anlagendokumentation selbstverständlich im Preis enthalten sein muss.
Die hier genannten Anforderungen gelten für ein endgültiges Angebot, auf dessen Grundlage eine Bestellung erfolgen kann. Vorläufigen Offerten (wie sie zu Vergleichszwecken von mehreren Installateuren gleichzeitig eingeholt werden) können naturgemäß nicht derart detailliert sein (beispielsweise ist die genaue Ausführung des Montagesystems ohne eine Ortsbegehung normalerweise nicht möglich).