



Solartechnik

Trends, Technologien, Speichertechnik

Die Solartechnik befindet sich derzeit in einer Aufbruchphase – auch angesichts der politischen Rahmenbedingungen mit aktuellen Zielen in der Stromerzeugung. Neue Effizienzrekorde, neue Materialien und Technologien, neue Anwendungsgebiete, die zunehmende Bedeutung der Speichertechnik und des Eigenverbrauchs – das sind die Themen, die wir an dieser Stelle aus der Sicht des privaten Anwenders mit einer kleinen Solaranlage betrachten. Dabei kommen auch neue Einsatzszenarien und unkonventionelle Arten, Strom aus dem Sonnenlicht zu erzeugen, sowie langjährige Praxiserfahrungen mit kleinen DIY-Anlagen zur Sprache.



AUFBAU SOLARZELLE

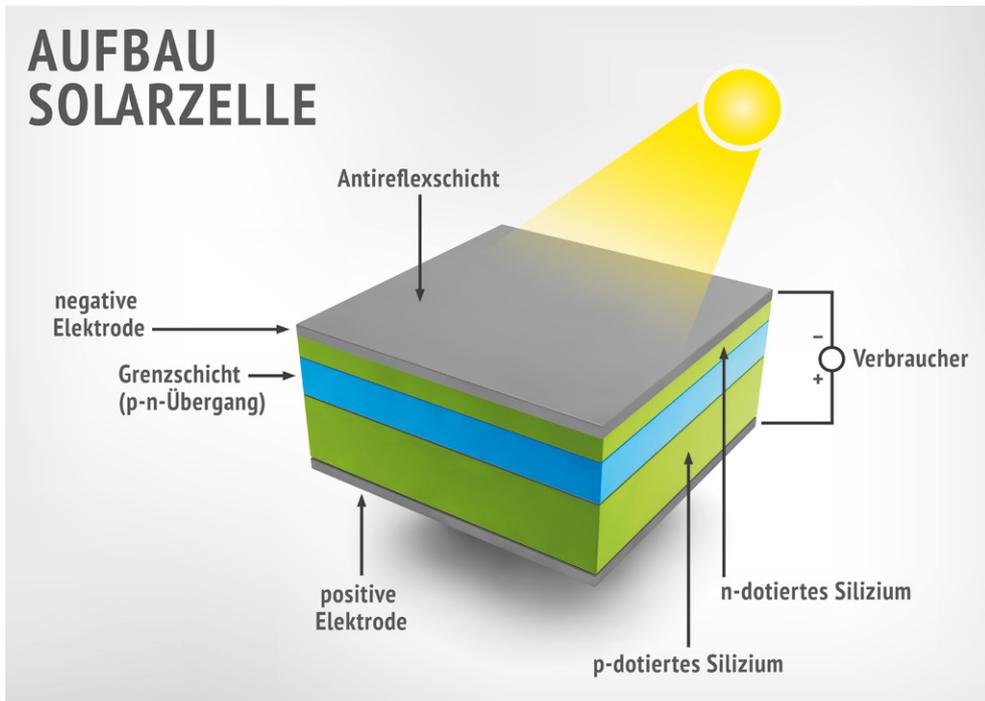


Bild 1: Der prinzipielle Aufbau und die Funktion einer Solarzelle

Die Evolution der Solartechnik

Seit vielen Jahren kennen wir die kristallinen Solarzellen, die sich in die Dickschicht-Ausführung „Monokristallin“ und „Polykristallin“ aufteilen. Dazu kam zunächst die Dünnschicht-(Amorph-)Technologie. Bild 1 zeigt den grundsätzlichen Aufbau einer Solarzelle. Als hauptsächliches Halbleitermaterial kommt dabei Silizium mit unterschiedlichen Kristallstrukturen zum Einsatz. Die polykristalline Zelle besteht aus vielen, gut sichtbaren Einzelkristallen, die durch Korngrenzen voneinander getrennt sind. Diese Kristallstrukturen entstehen beim Herstellen der als Grundlage für die später daraus geschnittenen Scheiben dienenden Siliziumblöcke. Wenn diese nach dem Gießen abkühlen, bilden sich die charakte-

ristischen Kristallstrukturen. Durch das im Vergleich weniger aufwendige Herstellungsverfahren haben polykristalline Solarzellen zwar ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis, ihr Wirkungsgrad ist mit derzeit bis zu 18 % allerdings relativ gering. Dazu tragen vor allem die geringe Reinheit des Siliziums im einstufigen Herstellungsverfahren und die Lichtbrechungen durch die unregelmäßige Kristallstruktur bei. Aufgrund der im Verhältnis zu anderen Zellenarten geringen Kosten dominierten polykristalline Zellen lange den Markt.

Die Herstellung monokristalliner Solarzellen ist aufwendiger. Hier werden (es gibt mehrere Herstellungsverfahren) in einem weiteren Herstellungsschritt nach der Schmelze einkristalline Stäbe aus der Siliziumschmelze gezogen und zu Wafern verarbeitet. Dadurch wird eine hohe Reinheit des Halbleitermaterials erreicht und damit auch ein höherer Wirkungsgrad (Effizienz) im Bereich von bis zu 25 %. Sie sind zwar teurer als polykristalline Zellen, benötigen aber aufgrund des höheren Wirkungsgrads weniger Fläche als in der Leistung vergleichbare polykristalline Zellen.

Im Aussehen lassen sich die beiden Technologien deutlich unterscheiden, wie Bild 2 dokumentiert. Monokristalline Module findet man im typischen Dunkelblau und in Schwarz. Hauptsächlich sind hier, neben verschiedenen Siliziumtypen, die auf die eigentliche Solarzelle aufgetragenen Anti-Reflexionsschichten, die die ungewollte Eigenreflexion der Solarzelle mindern, verantwortlich. Gleichzeitig ergibt sich durch die Beschichtung der Solarzellen auch eine unterschiedliche Verarbeitung des Lichtfarbspektrums. So nutzen schwarz beschichtete Zellen gegenüber blau beschichteten Zellen auch einen Teil der Infrarotstrahlung besser und sie absorbieren das Licht insgesamt besser, auch daher rührt die höhere Effizienz. Schließlich ist Schwarz auch ein bei Anwendern beliebtes Designelement, dazu zählen dann auch schwarze statt weiße Rückseitenfolien und schwarze Rahmen.



Bild 2: Im Aussehen gut zu unterscheiden: Links oben eine polykristalline Zelle, die monokristallinen Zellen sind in unterschiedlichen Färbungen und Strukturen verfügbar.



Beiden Technologien ist zu eigen, dass die Effizienz mit steigender Zelltemperatur (Betriebstemperatur) sinkt, weshalb die Hersteller diesen auch stets unter den Standard-Testbedingungen (Abkürzung STC in den Datenblättern und auf dem Modul) von 25 °C angeben. Zu den STC zählen auch die Standardsonneneinstrahlung (Bestrahlungsstärke bei klarem Himmel) von 1000 W/m² und „Air Mass“ (AM), der Strahlungseinfall im Verhältnis zum Weg der Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre. Hier trifft man den Standardwert 1,5, das heißt einen Einstrahlungswinkel der schräg stehenden Sonne von 48,2 Grad. Eine senkrechte Einstrahlung, wie man sie bei genau senkrechtem Einfall der Sonnenstrahlung, z. B. über dem Äquator und mittags im Hochsommer findet, wird mit AM = 1 definiert, AM = 0 hieße ungefilterte Einstrahlung ohne Atmosphäre. In der Praxis werden, wie bei den Emissions- oder Verbrauchsversprechen der Autoindustrie, diese Werte jedoch nur als Idealfall erreicht. 25 °C sind im Sommer, vor allem bei Windstille, schnell und weit überschritten, und auch die Luft ist selten ganz klar, sodass die 1000 W/m² kaum einmal erreichbar sind.

So geht man bei einem zweiten Testverfahren, NOCT genannt, eher von realistischeren Bedingungen aus, also geringere Bestrahlungsstärke (800 W/m²) und andere Temperaturwerte (Umgebung 20 °C, Betriebstemperatur 42 bis 48 °C) sowie nahezu Windstille (Windstärke 1). Dazu muss in dieser Prüfung die Leerlaufspannung des Moduls (U_{0c}) angegeben werden. Module, die nach NOCT geprüft sind, tragen das Gütezeichen RAL-GZ 966 [1]. Natürlich unterliegen auch alle anderen Zellentechnologien diesen Normen.

Problem Teilverschattung

Ein Problem sowohl bei polykristallinen als auch monokristallinen Solarmodulen ist das der Teilverschattung oder partiellen Verschmutzung. Die meist 60 oder 72 Zellen eines Moduls sind in Reihe geschaltet.

Werden eine oder mehrere Zellen durch Verschattung nicht ausreichend beleuchtet – es findet also ein geringerer Elektronenfluss in der Zelle statt –, wird der Stromfluss im gesamten Zellenstrang abgesenkt. Das darf man sich grob so vorstellen, als ob in einer Reihenschaltung von Widerständen einer der Widerstände erhöht wird und so den fließenden Strom in der gesamten Reihenschaltung absenkt.

Damit wird der vom Modul insgesamt gelieferte Strom erheblich reduziert. Außerdem erhitzt sich die betroffene Zelle bei länger andauernder Teilverschattung stark und es kann zum gefürchteten Hotspot kommen: Die Zelle schmilzt und zerstört das Modul. Vielfach wird auch hier der bekannte Vergleich mit einem geknickten Wasserschlauch herangezogen: Das weiter fließende Wasser staut sich, bis der Schlauch genau hier platzt. Die Hersteller steuern diesem Effekt entgegen, indem sie sogenannte Bypass-Dioden installieren. Diese sind antiparallel zum Solarmodul bzw. einem Zellenstrang geschaltet. Fällt eine Zelle und damit der Strang durch Verschattung aus, leitet die Bypass-Diode den Strom ab und verhindert so den Hotspot-Effekt.

Um trotz Teilverschattung weiter den maximal möglichen Restertrag aus dem Solarmodul zu gewinnen, greifen Hersteller vielfach zu der Methode, die Zellen des Moduls in mehrere separate Teilstrings aufzuteilen und diese jeweils mit einer Bypass-Diode zu versehen. So wird idealerweise nur der Teil des Moduls deaktiviert, der von der Verschattung betroffen ist. Die Konfiguration des Moduls sollte man darum auch bei Planung einer Anlage berücksichtigen – je nach Bypass-Bestückung kann schon eine andere Lage des Moduls etwa die Teilverschattung durch Bäume über den Tag kompensieren. Oder es werden, z. B. bei jahreszeitlich bedingter Verschattung (z. B. belaubte Bäume), die betroffenen Module einem eigenen Wechselrichter mit MPPT-Tracker zugeordnet. Bei einer tageszeitlich wandernden Verschattung kann man sogenannte Leistungsoptimierer direkt an den Modulen einsetzen, die die zentrale MPPT-Trackerfunktion des Wechselrichters auf die Modulebene herunter dezentralisieren. Leistungsoptimierer auf Modulebene sind allerdings u. a. aufgrund des höheren technischen und Wartungsaufwands umstritten.

Sinkt die Leistung eines Moduls oder eines Modulstrings (mehrere in Reihe geschaltete Solarmodule) länger drastisch ab, sollte man bei einer Einzelmessung der Module die Bypass-Dioden ausmessen (sofern man an sie herankommt). Denn eine etwa durch Gewitter beschädigte Diode kann nicht wirken und das teilverschattete Modul senkt die Leistung des gesamten Modulstrings stark ab.

Bild 3: Flexible Monokristallinzellen sind leistungsstark und lassen sich auch auf nicht ebenen Flächen unterbringen. Bilder: Renogy



Einige Solarmodulhersteller wenden zur Verringerung der Verschattungsverluste und der möglichen Schäden auch die sogenannte Halbzellentechnik an. Dabei werden die Solarzellen nochmals geteilt und so verschaltet, dass sich der hindurchfließende Strom jeweils halbiert und damit die Widerstandsverluste sinken. Durch die Parallelschaltung der Zellenstränge können somit die Verschattungsverluste ebenfalls gesenkt werden.

Monokristallin und flexibel

Monokristalline Zellen gibt es nicht nur in der Standardausführung als starres Modul, es gibt sie auch als sehr dünn ausgeführte und auf eine stabile und flexible Trägerfolie auflaminierte Zelle, die dann alle Eigenschaften einer monokristallinen Zelle hat, aber



Bild 4: Das typische Erscheinungsbild amorpher Dünnschichtzellen, gleichmäßig, ohne hervorstechende optische Struktur



Bild 5: CIGS-Solarmodule können sehr flexibel ausgeführt werden und sich an nahezu jeden Untergrund anpassen. Bild: Solarion



Bild 6: Auflaminierte CIGS-Solarmodule fügen sich harmonisch in eine Dachstruktur ein. Bild: Solarion

sehr weitgehend flexibel ist. Damit eignet sie sich für eine Vielzahl an Einsatzfällen mit nicht ebenen Aufbauflächen (Bild 3).

Amorph – dünn, leicht, besser bei Schwachlicht

Amorphe Dünnschichtzellen werden durch das Aufdampfen einer dünnen Siliziumschicht auf einen Träger, z. B. aus Polyamid, hergestellt. Sie sind dadurch leicht und haben ein in der Fläche gleichmäßiges optisches Bild ohne auffällige Strukturen (Bild 4).

Ihre Effizienz ist zwar geringer als die der Dickschichtzelle (deshalb benötigen sie mehr Fläche bei gleicher Leistung), sie weisen aber ein gutes Schwach- und Streulichtverhalten auf. Zudem sind sie weniger anfällig gegen Teilverschattungen. Das einfache Herstellungsverfahren und der geringere Materialeinsatz gegenüber Dickschichtverfahren führen auch zu günstigeren Preisen.

Zunehmende Bedeutung erhalten neben den mikrokristallinen Dünnschichtzellen (μ -Si, Kombination aus reiner Dünnschicht und mikrofeinen Kristallstrukturen, ergibt höhere Effizienz und wird auch oft zur Effizienzsteigerung als Tandemzelle mit amorphem Silizium eingesetzt) die sogenannten CIGS-Dünnschichtzellen, die statt mit Silizium mit alternativen Materialien wie Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid in der Adsorbenschicht arbeiten. Dadurch wird das Licht besser absorbiert und die Zelle erreicht eine höhere Effizienz (in der Praxis bis 20 %) als die reine amorphe Siliziumzelle. Sie ist aufgrund des seltenen Materials Indium vergleichsweise teuer und unter Umweltaspekten aufgrund der verarbeiteten giftigen Materialien, z. B. Selen, noch nicht endgültig als sicher zu akzeptieren (Auswaschen, Materialabtrag bei langjähriger Nutzung, Entsorgung).

Diese auch sehr leichten Solarzellen haben unter Einsatzaspekten einen weiteren Vorteil. Da sie sehr flexibel ausgeführt werden können, siehe Bild 5, sind sie nicht auf Rahmeneinbauten, völlig glatte Montageflächen etc. angewiesen. So kann man sie u. a. auch auf Dachschindeln laminieren und so sehr homogen an Dächer und Fassaden anpassen (Bild 6). Solche Dachschindeln wiegen dann gerade einmal ca. 3 bis 4 kg je Quadratmeter.

Bis zu einem gewissen Maß sind diese aufgrund der sehr dünnen Beschichtung im μ m-Bereich teilweise lichtdurchlässigen Zellen durchaus auch für die Montage auf Fenstern und anderen Glasflächen geeignet. Hier entsteht dann bei hohen Außentemperaturen auch ein klimatisierender Verschattungseffekt für den Raum. Es dürfte nur eine Frage der Zeit sein, bis es CIGS-Lösungen gibt, die als bewegliche Jalousie oder Lamellenvorhang ausgeführt werden. Dazu gibt es derzeit schon Lösungen auf anderer Basis, dazu kommen wir noch.

Eine andere Bauform des CIGS-Moduls ist eine Anordnung von zu einer Röhre gewickelten und auf Glasrohre aufgebracht Dünnschichtzellen ähnlich der eines Röhren-Solarkollektors für die Warmwasserbereitung. Diese Röhren sind in einem Modul mit starrem Rahmen untergebracht, das wie ein normales Solarmodul verbaut wird. Eine Reflektorfolie hinter den Röhren-Dünnschichtzellen sorgt für die weitere Ausnutzung des reflektierten Lichts.

Höhere Ausbeute durch Kombination und spezielle Materialien

In Kombination mit anderen Halbleitermaterialien wie z. B. Indiumgalliumarsenid werden sogenannte Tandem- und Tripelzellen (Multi Junction Cell) aufgebaut, die bezüglich der verarbeitbaren Wellenlänge breitbandiger, also mit höherer Ausbeute wirken (die Solarzelle arbeitet im Prinzip wie ein Halbleiter-Fotoelement, das entsprechend des Grundmaterials auf eine bestimmte Wellenlänge des sichtbaren Lichts reagiert und in Form der Solarzelle als Stromquelle agiert).

An dieser Stelle sollen auch die auf Galliumarsenid basierenden „III-V-Zellen“ aufgeführt werden, die zwar enorm hohe Wirkungsgrade und robuste Temperatureigenschaften aufweisen, aber noch sehr teuer in der Herstellung sind. Deshalb finden sie bisher fast nur in der Raumfahrt ihre Anwendung, da sie unter den Bedingungen im All eine robuste Lösung

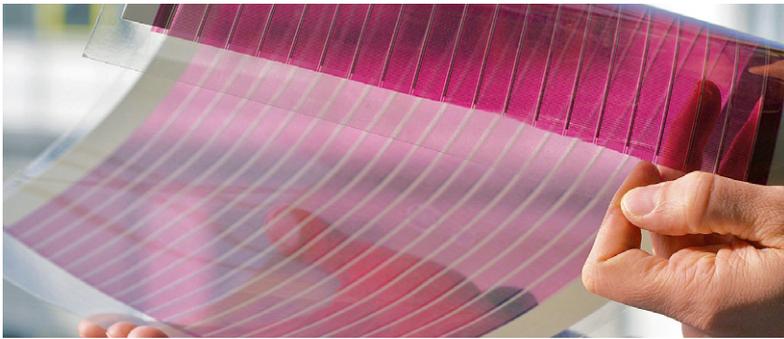


Bild 7: Organische Solarzellen: Superdünn, semitransparent, flexibel, einfach herzustellen, wenig Materialeinsatz – aber noch viel Forschungspotenzial. Bild: Fraunhofer ISE

darstellen. Sie müssen hier aber Erwähnung finden, da diese Zellen in den Berichten von Solartechnik-Forschern immer wieder auftauchen – man arbeitet an der ökonomischeren Herstellung der Zellen.

Organische Solarzellen

Eine große Zukunft haben wohl die organischen Solarzellen (OPV) vor sich. Hier wirken zwar prinzipiell die gleichen physikalischen Vorgänge wie bei den anorganischen Zellen, allerdings erleben wir hier organische Halbleiter in Form komplexer Kohlenstoffverbindungen, also Kunststoffe, in Aktion. Ein Vorteil liegt sofort auf der Hand: Man verzichtet hier auf viele kritische Bestandteile der kristallinen Zellen wie etwa Schwermetalle.

Die Zelle basiert auf der Kombination verschiedener Metalle an den Elektroden und der dazwischen liegenden Schicht aus organischem Material (Polymer). Der Stromfluss entsteht durch den schnellen Ladungstransport der Elektronen durch das Auftreffen des Lichts zwischen einem sogenannten konjugierten Polymer (Elektronendonator) und Fullerenen (geordnet gebildete, hohle Kohlenstoffmoleküle), die den Elektronenakzeptator bilden [2]. Allein die komplette Beschreibung der detaillierten Funktionsweise und der noch zu lösenden Probleme dieser Zellenart würde den Rahmen dieses Artikels sprengen.

Zahlreiche Forscher und Hersteller arbeiten mit Hochdruck an der Vervollkommnung und Effizienzsteigerung dieser Technik, denn sie verspricht mit ihren vielen Vorteilen der Solartechnik zahlreiche weitere Anwendungen zu erschließen. Führend ist in Deutschland das Fraunho-

fer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, das sich intensiv mit effizienten und einfach herzustellenden Materialstrukturen der OPV beschäftigt (Bild 7). So arbeitet man daran, die Materialien so aufeinander abzustimmen, dass die derzeit im Labor erreichte Effizienz von 14,9 % noch gesteigert werden kann. Wenn man unter [3] nachliest, kann man erahnen, dass der Weg noch lange nicht zu Ende gegangen ist, bevor man leistungsfähige, großflächige Module in dieser Technik herstellen kann.

Die Vorteile dieser Technik rechtfertigen gegenüber den noch vorhandenen Nachteilen wie der kurzen Lebensdauer (das kennen wir bereits von der OLED-Technik) und der geringen Effizienz den Aufwand. Allen voran der erwähnte Verzicht auf den Einsatz gefährlicher Stoffe, denn noch erfüllen die gängigen Solarzellentechniken nicht die Anforderungen der RoHS-Richtlinie. Auch die Herstellung ist sehr umweltfreundlich, da nur wenig Energie und sehr wenig Material benötigt wird. Die Solarzellensubstrate können im direkten Rolle-zu-Rolle-Verfahren auf eine flexible Folie gedruckt werden, die ganz einfach auch auf gebogenen Flächen per Klebefestigung (wie ein LED-Band) anbringbar sind. Es besteht keine Bruchgefahr und es sind auch transparente Zellen realisierbar – perfekt für die Beschichtung von Fensterflächen, Vorhängen etc.

Apropos Vorhänge. Das deutsche Start-up „Suncourtain“ [3] hat ein Gebäude-Verschattungssystem entwickelt, das genau auf dieser OPV-Technik basiert (Bild 8). In den semitransparenten Lamellen des Vorhangs befinden sich OPV, die Strom erzeugen. So kann der Vorhang nicht nur zur Gebäudeklimatisierung (UV-Filter, Verschattung nach innen und Reflektion nach außen) dienen, sondern auch gleich den Strom für die weitere Gebäudetechnik liefern oder einen Energiespeicher laden. Solch ein System ist natürlich auch für jeden Bestandsbau geeignet, da keine Anbauten oder baulichen Veränderungen notwendig sind. Zudem ist



Bild 8: Suncourtain hat ein Gebäude-Verschattungssystem entwickelt, das auf OPV-Technik basiert. Bilder: Suncourtain



Bild 9: Die Solar-Dachschindel von SolteQ sieht aus wie eine normale flache Dachschindel und ergibt ein homogenes, vollflächiges Bild auf dem Dach.
Bilder: SolteQ Europe GmbH



das System je nach Umfang als für jederman einfach installierbares Stecker-Solarsystem verfügbar.

Bereits anhand solch einer Anwendung kann man den OPV eine große Zukunft prognostizieren. Sie könnten zu einer noch einfacheren, schnelleren und viele weitere Nutzer zu erreichenden Technologie der näheren Zukunft werden. Sie haben, wenn die Nachteile beseitigt sind, durchaus das Zeug, ein ernsthafter Konkurrent zur herkömmlichen Solartechnik zu werden. Fassaden und Fensterfronten können damit fast unsichtbar zu großflächigen Stromlieferanten werden. Außerdem könnten sie auch erheblich zur mobilen Stromerzeugung beitragen, auf Autodächern, in die Kleidung oder in portable Geräte integriert.

Spezialisten

Auf einige spezielle Formen und Einsatzzwecke sind wir ja bereits eingegangen. Während die polykristallinen Solarzellen auch angesichts des Effizienzfortschritts bei den monokristallinen Zellen (hier vermeldete Jinko Solar erst kürzlich einen neuen Rekord von 25,25 %) an Bedeutung verlieren, gewinnen Anwendungen mit monokristallinen und amorphen Zellen, die auch kreative Einsatzarten zulassen.

Solarzellen müssen nicht mehr als optischer Fremdkörper auf dem Dach montiert sein – der Solarziegel kann den herkömmlichen Dachziegel ersetzen. Die derzeit noch am meisten verbreitete Form ist die der „Solarschindel“, wie sie z. B. von SolteQ (Bild 9) oder von Tesla kommt. SolteQ [4] bietet diese Solarschindeln in vielen verschiedenen Formen und Farben an. So kann man die gesamte der Sonne zugewandte Dachfläche lückenlos nutzen und auch etwa auf der Nordseite mit normalen optisch entsprechenden Schindeln/Ziegeln decken. Denn die angebotenen Solardachzie-

gel/Schindeln sind in Standardformen ausgeführt. Gegenüber dem mit Solarmodulen, ob Aufdach oder Indach, ausgeführten Solardach gewinnt hier eindeutig die Optik, und man muss keine unregelmäßigen Restflächen wie beim Solarmodul auslassen. SolteQ belässt es aber nicht bei der reinen Stromerzeugung, die Firma bietet eine komplette Solardachkonstruktion an, bei der auch Heizungs- und Warmwasserwärme gewonnen wird – ohne zusätzliche Kollektoren. Dabei werden die Solarschindeln mit geringem Abstand zur Unterkonstruktion angeordnet. Unter ihnen steigt die Luft von der Dachkante Richtung Dachfirst, sie wird dabei von den Solarzellen erwärmt. Über ein Sammelrohr im First saugt eine Wärmepumpe die warme Luft an und leitet sie an die Wärmetauscher der Heizungs-/Warmwasserbereitungsanlage. Hier deckt ein Pufferspeicher den Bedarf an Heizungs- und Warmwasser ab. Dieses System kann man an alle Heizungsanlagen mit Solarspeichersystem sogar nachträglich anbinden, ein zusätzlicher externer Pufferspeicher kann für Reserven sorgen.

Schließlich sorgt das Solardach auch für eine wärmeisolierende Wirkung: Es hält Sonnenstrahlung vom Gebäude ab und durch die Hinterlüftung entsteht auch ein kühlender Effekt. Somit muss das Dach auch weniger stark isoliert werden.

Wem die glatte Schindeloptik nicht zusagt – es gibt inzwischen auch Solarziegellösungen in der herkömmlichen Dachziegeloptik. Die chinesische Firma Hanergy [5], ein Spezialist für hocheffiziente Dünnschicht-Solarzellen, und neuerdings auch Tesla realisieren Solardächer in der Form traditioneller Dachziegel mit all deren bautechnischen und optischen Vorteilen (Bild 10). Das Dach lässt sich wie mit normalen Dachziegeln aufbauen, ist genauso wind- und wasserdicht, beständig gegen Witterung, insbesondere auch gegen Hagel und Vereisung, und kann absolut vollflächig mit Solarzellen belegt werden. Hanergy hat über deren Niederlassungen in Amsterdam und Uppsala schon zahlreiche Pilotprojekte in Europa realisiert. Tesla steigt nun als nächster Anbieter dieser Dachziegel-form ein.

Die Solarziegel basieren auf Dünnschicht-Solarzellen, die sich ja bekanntlich auch biegen lassen. Diese sind in mehrere mechanisch schützende und die Befestigungsmöglichkeiten enthaltende Materialschichten eingebettet, sodass sich ein stabiler und robuster Glasziegel ergibt.

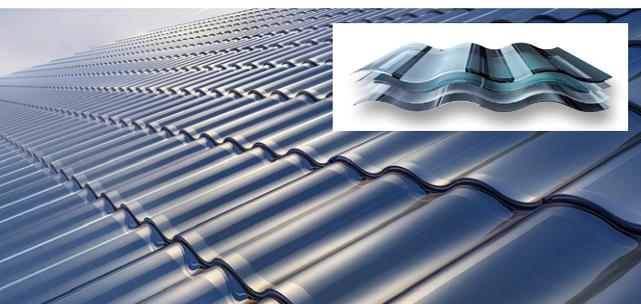


Bild 10: Verschiedene Hersteller bieten Dünnschicht-Solardachziegel in der traditionellen Ziegelform an. Bild: Hanergy Thin Film Power



Bild 11: Semitransparentes Solarmodul als Balkon- oder Terrassendach, Bild: Solarwatt



Bild 12: Semitransparente Module lassen sich direkt in Fassade und Fensterfronten integrieren. Bild: www.Solarterrassen.de

Apropos Glas – das ist bekanntlich durchsichtig und lässt Licht in Gebäude und Räume. Dem tragen Hersteller Rechnung, die Solarmodule anbieten, die teilweise lichtdurchlässig sind. So gibt es semitransparente Dünnschichtmodule ebenso wie monokristalline, rahmenlose Module, die nicht mit einer Abdeckfolie auf der Rückseite verschlossen sind und so über die freien Glasflächen Licht hindurchlassen. Gleichzeitig sorgen sie für eine Beschattung. Derartige Module können z. B. als Balkon- oder Terrassendach (Bild 11), als Carportdach oder in die Glasfassade integriert (Bild 12) eingesetzt werden. Letztere Technik kann auch ganz wesentlich dazu beitragen, die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden zu erhöhen.

Ganz ähnlich ausgeführt ist die derzeit einen Run erlebende Bifacial-Technik (Bifacial – engl: zwei Gesichter). Auch diese Zellen sind ohne Rückseitenbeschichtung ausgeführt. Sie nehmen auf beiden Seiten Licht auf und bieten damit eine deutlich höhere Gesamteffizienz. Einmal weil sie ohne Nachführen über den Tagesverlauf verschiedene Sonneneinstrahlungswinkel („Ost/West“) abdecken können, aber auch weil sie von hellen Flächen reflektiertes Licht auf der Rückseite absorbieren (indirekte Strahlung). Wer aufmerksam beobachtet, kann diese Zellen mitunter an Brückengeländern, in Lärmschutzanlagen oder neuerdings auch als Grundstücksumfriedung, wie die aus den bifacialen AgriPV-Anlagen abgeleiteten Zaunelemente von Next2Sun [6], sehen. Die typischerweise als 400-W-Monokristallin-Zellen mit beidseitiger Glasabdeckung ausgeführten Zellen erreichen auf der Rückseite eine Effizienz von ca. 85 % der Vorderseite und machen sich damit quasi doppelt bezahlt. Next2Sun bietet diese Technik bereits seit einiger Zeit für den Agrarbereich an, als reine Solarfelder platziert oder praktisch als Umfriedung für Weiden (Bild 13). Als fertig vormontiertes Zaunelement kann man den Solarzaun auch für Grundstücksumfriedungen einsetzen (Bild 14).

Die bifacialen Zellen haben im Übrigen ein großes Potenzial für die immer stärker im Kommen begriffenen Balkonkraftwerke. Ob an der Bal-



Bild 13: Bifaciale Solarmodule in eine Weidenumzäunung integriert, Bild: Next2Sun

konbrüstung, auf einer hellen Fläche aufgestellt oder als architektonisches Element verwendet, liefern diese, allerdings auch etwas teureren Zellen mehr Strom über den Tag ab.

Strom selbst erzeugen – Balkonkraftwerke

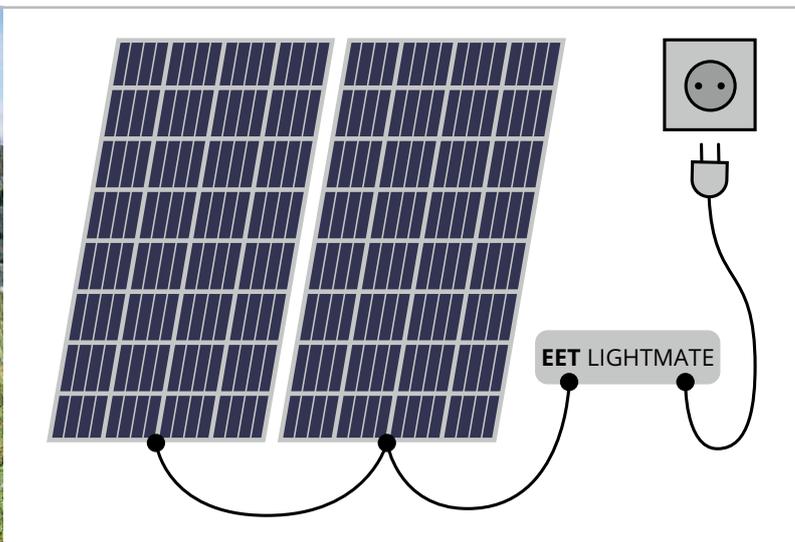
Für den privaten Anwender, der Strom aus dem Sonnenlicht selbst erzeugen will, kommen je nach Voraussetzung mehrere Anlagenvarianten in Betracht. Als Eigentümer hat man die Möglichkeit, eine ganz normale große Anlage im kWp-Bereich zu installieren, entweder bei fachlicher Voraussetzung in Eigenmontage mit Abnahme und Anbindung durch Elektrofachpersonal oder durch eine Solar-Fachfirma. Die hohen Investitionen und auch die fiskalischen Folgen der bei großen Anlagen fast unvermeidlichen Einspeisung ins öffentliche Netz will aber lange nicht jeder tragen, der aber dennoch seinen eigenen Beitrag zur Energiewende leisten will. Und als Mieter hat man ohnehin nur äußerst begrenzte Möglichkeiten.



Bild 14: Der bifaciale Solarzaun wird in verschiedenen Zaunfeldformen angeboten. So kann man damit auch das Grundstück umfriedern. Bilder: Next2Sun/solarcarport [7]



Bild 15: So einfach ist eine Stecker-Solaranlage, hier die EET LightMate, zu installieren. Bilder: EET/ELV



Betrachten wir aber genau diese Seite der Solarstromerzeugung. Eine kleine Anlage mit wenigen Modulen und unkompliziertem Anschluss an das hausin-



Bild 16: Typisches Balkonkraftwerk mit Montage der Solarmodule in der Balkonbrüstung, Bild: Energieagentur Kreis Konstanz



Bild 17: Für ein Solarmodul findet sich überall ein Plätzchen. Bild: indielux

Bild 18: Die Symbole für einen Stromzähler mit Rücklaufsperr (links) und einen Zweirichtungs-(Einspeise-)Zähler (rechts).



terne Stromnetz kann, auch angesichts rasant steigender Strompreise, der Weg sein, zumindest einen Teil des eigenen Stromverbrauchs selbst zu erzeugen, statt ihn aus dem öffentlichen Netz zu beziehen. Lange haben sich vor allem die Netzbetreiber gegen diese Art der Selbstversorgung gewehrt. Seit 2018 gilt aber auch in Deutschland, nachdem Hunderttausende dieser Anlagen ohne Probleme in Europa laufen (z. B. in den Niederlanden allein 200.000), dass man bis zu einer Einspeiseleistung von 600 W (entspricht bei nominal 230 V einem Strom von gerade 2,6 A) ein Solarsystem einfach selbst aufstellen und anschließen kann. Im einfachsten Fall greift man hier zur Stecker-Solaranlage, einer Variante des sogenannten Balkonkraftwerks. Diese ist tatsächlich sehr einfach aufgebaut (Bild 15 zeigt die Konfiguration der von ELV angebotenen LightMate-Anlage von EET [8]) und man kann sie einfach Plug & Play an eine beliebige Steckdose im Haus anschließen.

Die Strom liefernden Zellen können je nach zur Verfügung stehendem Aufbauort (und bei Mietwohnungen in Absprache mit dem Vermieter) an der Balkonbrüstung (Bild 16), an der Hauswand (Bild 17), auf dem Dach oder im Garten aufgeständert platziert werden. Das benötigte Montagezubehör wird mitgeliefert.

Die Zellen liefern ihren Strom an einen speziellen mitgelieferten Wechselrichter, der vor allem der VDE-AR-N 4105 entsprechen muss. Diese Norm legt neben den Parametern, die der Wechselrichter als netzkompatibler Stromerzeuger im Stromnetz zu erfüllen hat, in der Essenz vor allem fest, dass er immer netzgeführt (im Gegensatz zu insel-fähigen Wechselrichtern) zu arbeiten hat und bei Trennen vom Netz – immerhin hat man dann einen Schutzkontaktstecker mit blanken Kontakten in der Hand – sofort den Ausgang abzuschalten hat (NA-Schutz).

Wir wollen an dieser Stelle nicht weiter auf die auch diese kleinen Anlagen betreffenden Meldepflichten und die vielfältigen Hindernisse eingehen, die manche Netzbetreiber den Nutzern immer noch in den Weg legen, nur so viel: Auch die kleine Stecker-Solaranlage muss im Marktstammregister der Bundesnetzagentur eingetragen und eine sogenannte vereinfachte Anmeldung an den Netzbetreiber abgegeben werden. Genaueres dazu und alle relevanten technischen Details zum Aufbau und Anschluss von Stecker-Solaranlagen findet man u. a. in [9]. Die eventuell größte Hürde kann für Mieter der Stromzähler sein. Ist dies noch ein herkömmlicher Ferraris-Zähler mit Drehscheibe und ohne Rücklaufsperr, muss dieser zwingend ausgetauscht werden gegen einen Zähler mit Rücklaufsperr, oder, wenn man tatsächlich beabsichtigt, in das öffentliche Netz einzuspeisen, einen Zweirichtungszähler. Ein einfacher Zähler könnte nämlich bei der Einspeisung rückwärts laufen – das wäre nicht zulässig. Bild 18 zeigt das Symbol der Rücklaufsperr. Wenn dies am Zähler zu sehen ist, besteht Rechtssicherheit.



Selbst bauen?

Eine solche Anlage kann man sich als Selbstbauer, der über die erforderlichen Fachkenntnisse verfügt, natürlich auch aus handelsüblichen Komponenten nach eigener Konfiguration aufbauen. Entscheidend ist dabei immer die Einhaltung aller fachlichen Regeln. Das beginnt bei der mechanisch und elektrisch sicheren Montage der Solarmodule, geht über einen normgerechten Wechselrichter und endet am zugelassenen Anschluss an das Stromnetz. Hält man die Parameter (max. 600 W Einspeisung, normgerechtes Verhalten des Wechselrichters und dessen Zulassung im eigenen Land) und die Art der Einspeisung in einer der zugelassenen Varianten ein, spricht aus technischer Sicht nichts gegen eine Eigenbaukonfiguration eines sogenannten Balkonkraftwerks.

Hier ist man flexibler in der Komponentenwahl. So kann man hocheffiziente Zellen einsetzen, so etwa gegenüber Standardzellen Platz sparen. Oder flexible Zellen, die sich besser platzieren lassen. Man kann durchaus auch mehrere Zellen in verschiedenen Ausrichtungen einsetzen, um den Sonnenstandverlauf über den Tag besser abzudecken. Für diesen Fall gibt es spezielle kleine Modulwechselrichter, die jedes Modul einzeln per MPPT tracken (Bild 19). Diese schaltet man ggf. in Reihe bis zur maximalen Leistungsgrenze von 600 W und schließt sie dann an das Stromnetz an.

Gebraucht – warum nicht?

Für den privaten Anwender und Selbstbauer ist auch durchaus ein Blick auf den Gebrauchtzellenmarkt interessant. Insbesondere Solarparkbetreiber oder Betreiber großer Anlagen wechseln oft, ähnlich den Akkus in Netzersatzanlagen von Kommunikationsanlagen, ihre Solarmodule lange vor Ablauf der nominellen Lebensdauer aus. Sei es aufgrund von einsetzendem Leistungsverlust oder aus Modernisierungsgründen. Solarzellen-Recycling ist eine teure Sache und technologisch noch nicht überall durchgehend abgesichert, deshalb ist es der ökonomischere und ökologischere Weg, ansonsten intakte Module wie Akkus einer Zweitnutzung zuzuführen. Die Zellen sind vergleichsweise preiswert und weisen vielfach noch nach durchschnittlich zehn Jahren Nutzung beeindruckende Leistungswerte auf. Wenn man Platz hat, nimmt man eben eine oder zwei Zellen mehr und kommt so günstig an seine Solarzellen.

Der Anschluss an das Stromnetz

Stichwort Anschluss – ein in Normungsgremien, Solarforen und Interessengemeinschaften viel diskutiertes Thema. Grundsätzlich ist der Anschluss eines normgerechten Wechselrichters an Endstromkreise entsprechend DIN VDE 0100-551-1:2016-09 durch Laien zulässig. Ist der entsprechende Stromkreis durch einen Sicherungsautomaten abgesichert bzw. bei einer Absicherung mit Schraubsicherungen eine Sicherung mit einer Auslösestärke unterhalb der zuvor vorhandenen Sicherung eingesetzt, ist kein Einsatz einer Elektrofachkraft zur Prüfung erforderlich. 600 W bzw. 2,6 A gelten so auch nicht als brandgefährdende Größen.

Der Anschluss an den Endstromkreis kann entweder durch einen Schutzkonstantstecker, noch sicherer



Bild 19: Kaskadierbarer Modul-Wechselrichter, Bild: Envertech



Bild 20: Sicherer Stecker-Solaranlagenanschluss an das Hausnetz: Wieland-Stecker, Bild: Wieland

durch eine Wieland-Steckdosen/Steckerkombination (RST20i3, Bild 20) oder aber durch Festanschluss erfolgen. Bei Letzterem muss eine Elektrofachkraft hinzugezogen werden. Für den sicheren Anschluss, die Absicherung und Ertragskontrolle kann man zu fachgerecht konzipierter und aufgebauter Anschlussstechnik greifen, wie es sie z. B. in einem großen Sortiment bei [10] gibt.

Ergibt sich zum Schluss die Frage: Macht eine so kleine Stecker-Solaranlage Sinn? Die Antwort: Ja, auf längere Zeit sogar, wenn man vollständigerweise die Anschaffungskosten einberechnet. Nicht jeder hat den Platz und Lust darauf, eine große Solaranlage aufzubauen. Aber vielen eröffnet sich mit dem Balkonkraftwerk die Möglichkeit, etwa die Grundversorgung der Wohnung zumindest am Tage, wenn man arbeiten ist, weitgehend komplett zu übernehmen. Man beobachte nur einmal seinen Stromzähler zu einer Zeit, wenn alle Großgeräte und weitgehend auch die Beleuchtungen abgeschaltet sind. Da bleiben auch bei etwas umfangreicherer haustechnischer Ausstattung nur wenige hundert Watt übrig, hier kann das eigene Solarkraftwerk die Versorgung vollständig übernehmen.

Geregelt und gespeichert

Zum Abschluss wollen wir noch einen Blick über die Plug & Play-Stecker-Solaranlage hinaus werfen. Auch wer eine etwas größere Eigenbauanlage wie etwa die vielfach anzutreffenden und finanziell gut zu schulternden 1- bis 4-kWp-Anlagen betreibt, kann heute die Nutzung einer solchen Anlage ganz individuell anpassen.

Regeln

Wer etwa Wert darauf legt, den erzeugten Strom nicht in das öffentliche Netz einzuspeisen – nicht jeder möchte sich den fiskalischen Abläufen als Kleinunternehmer aussetzen und zudem sinkenden Einspeisevergütungen zusehen –, kann heute zu einer Vielzahl von Wechselrichtern mit Nulleinspeisung greifen. In Bild 21 ist ein beliebtes Gerät dieser Art, der MultiPlus-II GX von Victron, zu sehen. So bleibt man in gewissen Grenzen



Bild 21: Bei Betreibern privater Solaranlagen äußerst beliebter und vielseitig konfigurierbarer Wechselrichter: Victron Multiplus-II GX, Bild: Victron Energy

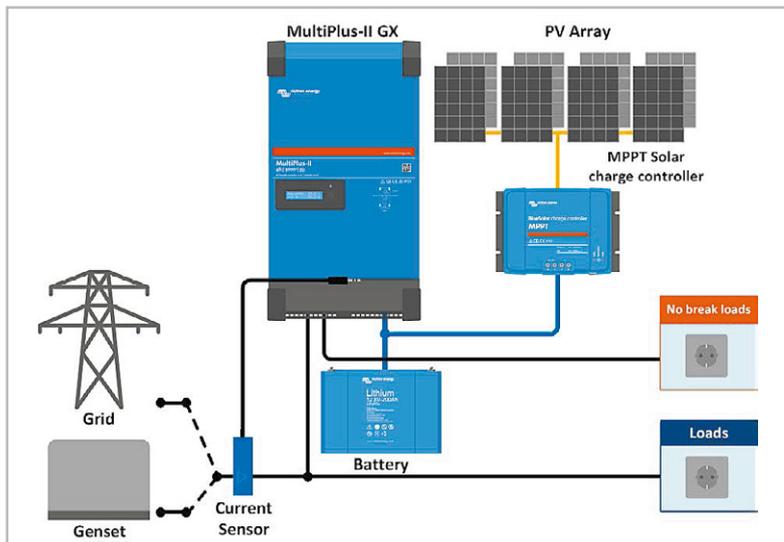


Bild 22: Das Prinzip der Nulleinspeisung mit Sensorsteuerung, Bild: Victron Energy

netzautark und kann steigenden Stromkosten gelassener gegenüberstehen. Wie funktioniert die Nulleinspeisung? Ein Stromsensor, der direkt hinter dem hauseigenen Zähler an der vom Wechselrichter gespeisten Phase den vom Haus aktuell benötigten Strom erfasst, meldet in Echtzeit diesen Bedarf an den Wechselrichter. Dieser speist nun genau so viel Strom in das Hausnetz ein, wie dieses „angemeldet“ hat. Ein Einspeisen in das Netz wird damit unterbunden (Nulleinspeisung). Bild 22 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer solchen Anlage. Will man, etwa im Sinne der 600-W-Stecker-Solaranlage, die eingespeiste Leistung generell begrenzen, geht auch dies über die Bediensoftware des Wechselrichters. Technisch könnte dieser also auch als 600-W-Kraftwerk arbeiten, eben mit Festanschluss ans Hausnetz statt Schukostecker.

Der hier gezeigte Wechselrichter speist einphasig ein, mehrphasige Wechselrichter werden dann entsprechend mit einem Dreifachsensoren gesteuert. Diese Sensoren gibt es auch mit RJ45-, ModBus-, LAN- oder Funkschnittstellen (WLAN/Zigbee). Bild 23 zeigt den zum o. a. Wechselrichter passenden 1-Phasen-Funksensor.

Speist man nur auf einer Phase ein, es wird aber auch Strom auf den anderen Phasen im Hausnetz gezogen, muss man sich darum (in den Leistungsgrenzen der Solaranlage) nicht kümmern, denn Stromzähler arbeiten saldierend – es wird tatsächlich nur die Strommenge erfasst, die auch wirklich aus dem öffentlichen Netz bezogen wurde. Betreibt man in seiner Haustechnik etwa den beliebten iOBroker als Middleware, kann man auch Sensoren und Wechselrichter unterschiedlicher Hersteller

miteinander verknüpfen, Regeln für Einspeiseleistungen, Verhalten bei unterschiedlicher Wetterlage, Batteriemangement etc. aufstellen und so den Solarbetrieb individueller und komfortabler gestalten.

Speichern

Das Stichwort ist gefallen – Batterie. So richtig Sinn macht die Eigenversorgung erst, wenn man wirklich alles an erzeugtem Strom selbst nutzen, sprich den am Tag erzeugten Überschuss speichern kann.

Dabei soll das Thema „Notstrom“ hier keine übergeordnete Rolle spielen – freilich ist es angenehm, für den Fall eines längeren Stromausfalls eine Reserve in Form eines voll geladenen Akkus im Haus zu haben. Hier braucht es aber einen Wechselrichter, der hybrid, also auch im Inselbetrieb und nicht nur netzgeführt arbeiten kann, bzw. einen reinen Insel-Wechselrichter, wie man ihn im Mobil- und Maritimbereich findet.

Der im Alltag wichtigere Aspekt ist die weitgehende Eigenversorgung, vielfach dazu das häusliche und somit preiswerte Laden von Elektrofahrzeugen. Eine Solaranlage mit einer Akkuanlage zu koppeln, erfordert zwar eine noch verhältnismäßig hohe Investition, aber auf lange Sicht gesehen und mit dem richtigen Akku rechnet sich diese Anschaffung, denn Strom wird ständig teurer.

Viele Jahre war der Bleiakku in verschiedenen Technologien das Mittel der Wahl, andere Akkuarten wie NiCd/NiMH erlangten nie eine signifikante Rolle. Der Bleiakku war auch vielfach für Betreiber privater, kleiner Anlagen erste Wahl: Er ist erschwinglich, robust, aber bis auf spezielle, teurere Ausführungen für den Solarbetrieb nicht zyklensfest genug. Aber er ist, wieder vorwiegend aus der Wartung von Kommunikations- und Industrieanlagen stammend, oft auch recht kurz gebraucht und sehr preiswert im Second-Hand-Markt verfügbar.

Die nächste ernst zu nehmende Technologie ist die LiIon-Technik. Hier ist, ob der Gefahren im falschen Umgang mit diesen Akkus, jedoch ein Eigenbau einer Batterieanlage eher ein riskantes Abenteuer. „Tickende Brandbomben im Keller“ nennen viele diese Bastelaufbauten. Ergo bleibt der industriell hergestellte LiIon-Speicher übrig. Er ist sicher im Betrieb, relativ kompakt, hat eine hohe Leistungsdichte, verfügt über intelligente Management-Algorithmen, zumal im Zusammenspiel mit passenden Wechselrichter/Ladegeräten. Er behauptet sich bis heute, hat aber einen entscheidenden Nachteil – er ist sehr teuer. Für Nicht-Selbstbau-Affine aber derzeit immer noch eine gute Wahl.

Wer allerdings seine Anlage selbst aufbaut, will auch beim Akku die volle Kontrolle haben. Hier kommt aus der Lithium-Akkutechnik der LiFePo₄-Akku ins Spiel. Er ist robust, sicher im Betrieb und hat eine enorm hohe Energiedichte. Er erobert schrittweise auch das Gebiet der Solar-Energiespeicher für das Haus. Schon früh haben sich hier auch Selbstbauer mit ganzen Batterien von Einzelzellen und zugehörigen Batteriemangement ihre Akkus selbst gebaut, zumal die Akkus mit vielen Laderegeln durch die I-U-Ladecharakteristik gut zurechtkommen.

Industriell konfektionierte LiFePo₄-Angebote für fertige Akkusysteme gibt es seit einigen Jahren, die waren allerdings zu Anfang ebenfalls sehr teuer. Erst gegen Ende 2020/Anfang 2021 kamen die Preise deutlich ins Rutschen, heute bekommt man ein komplettes 48-V-/2,4 kWh-Akkurack schon für um die 800 Euro.

Besonders beliebt für Eigenbauanlagen sind die Akkus aus dem Hause Pylontech. Pylontech ist einer der renommiertesten chinesischen Hersteller für Solarspeichersysteme. Neben Großspeichersystemen und anschlussfertig konfigurierten Heimspeichern bietet Pylontech auch Einzel-Akkumodule in LiFePo₄-Technik an. Die als 19"-Rackeinschub ausgeführten 48-V-Akkus (Bild 24) sind in zwei Leistungsklassen, 2,4 kWh und 3,45 kWh verfügbar. Die Daten auf dem Papier sind beeindruckend, vor allem die bei der neuesten Generation USxxxx zugelassene Entladetiefe (DOD, Depth of Discharge) bis 95 %, die Zyklenzahl bis zu 6000 Zyklen (>4500@ 90% DOD) und der weite



Bild 23: Zum Victron-Wechselrichter passender Funk-Stromsensor, Bild: Victron Energy



Bild 24: Beliebter und preisgünstiger LiFePo₄-Speicher – die USxxx-Serie von Pylontech kommt im gut handhabbaren 19"-Rackformat ins Haus. Hier die Version US3000. Bild: Pylontech

Temperatureinsatzbereich bis herab auf -10 °C. Damit ist eine sichere Lebensdauer von weit mehr als zehn Jahren angesagt. Da LiFePo₄-Akkus allgemein in dem Ruf stehen, aufgeführte Daten gut einzuhalten, kann man diesen Zahlen auch Glauben schenken.

In der Praxis wird der private Nutzer die Entladetiefe im Interesse einer langen Lebensdauer freilich nicht regelmäßig komplett nutzen. Die Akkus haben

ein eigenes Batteriemangement, das vor Fehlbehandlung schützt. Über mehrere Kommunikationsschnittstellen (Konsole, CAN und RS485) ist der Speicher überwach- und steuerbar, der Hersteller bietet eine lange Liste kompatibler Wechselrichter/Laderegler an, die ständig erweitert wird.

Bis zu sechs dieser Speicher können als Gruppe kombiniert werden, Bild 25 zeigt eine solche Gruppe. Mehrere Gruppen sind über ein Management-Modul miteinander kombinierbar, sodass Ausbauwünsche keine Grenzen gesetzt sind.

Damit eignet sich dieser Speicher hervorragend für den privaten Betrieb, zumal er jederzeit erweiterbar ist und die einzelnen Generationen dieser Speicher miteinander kompatibel sind. So hat man eine langfristig nutzbare, unkompliziert handhabbare und betriebssichere Akku-Konfiguration, die man je nach Bedarf ausbauen kann.

Leider gibt es derzeit noch zu wenige Möglichkeiten, auch ein kleines Balkonkraftwerk in der fertig ab Werk konfigurierten Stecker-Solaranlagenform ohne Weiteres mit Akkutechnik zu erweitern – hier ist der Selbstbau im Rahmen der Normen angesagt. Natürlich ist hier ein Akku, der den Grundbedarf auch über Nacht deckt, besonders wertvoll. Einige Hersteller haben jetzt angekündigt, auch für diese Form der Solaranlage steckerfertige Lösungen anzubieten. **ELV**

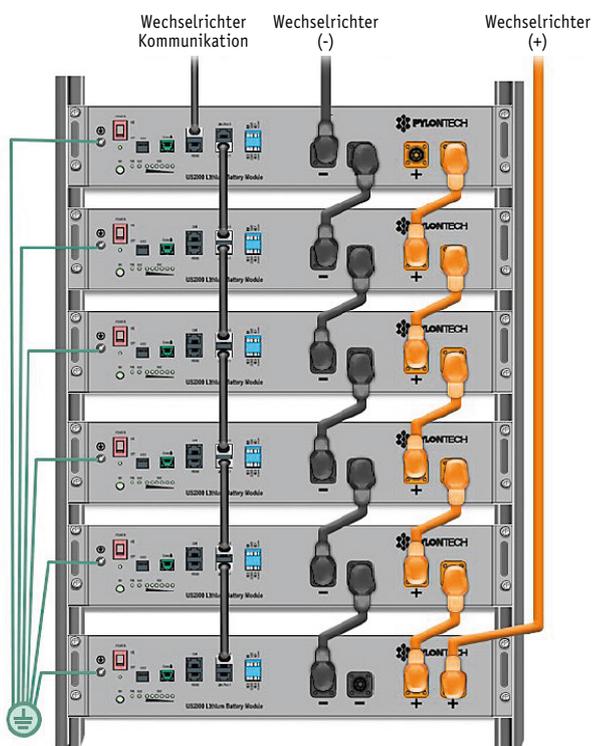


Bild 25: Die Pylontech-Akkus sind zu nahezu beliebig großen Speichern erweiterbar, Bild: Pylontech



Weitere Infos:

- [1] RAL Gütegemeinschaft Solaranlagen + Speicher: <https://gg-solar.de>
- [2] Organische Solarzellen: https://de.wikipedia.org/wiki/Organische_Solarzelle
- [3] Solar-Beschattungssysteme mit organischen Zellen: <https://www.suncurtain.solar>
- [4] Solardach-System: <https://www.solardachziegel-solteq.com>
- [5] Dünnschicht-Solardachziegel: <https://www.hanergy.eu>
- [6] Bifacial-Technik: <https://www.next2sun.de/solarzaun>
- [7] Solarcarport/Carportwerk: <https://www.solarcarporte.de>
- [8] EET-Balkonkraftwerk LightMate: <https://de.elv.com/eet-plug-in-photovoltaik-balkonkraftwerk-lightmate-b-210-wp-steckerfertig-251313>
- [9] Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie: <https://www.pvplug.de>
- [10] Netzanschlusstechnik: <https://volxpower.de/Netzanschluss-Technik>

Alle Links finden Sie auch online unter: de.elv.com/elvjournals-links

Mini-Glossar Solarzellen/Akkus

Solarzellen

- kWp - Spitzenleistung unter Norm-Testbedingungen
 P_{MPP} - Leistung im Maximal Power Point
 I/U_{MPP} - Strom/Spannung im Maximal Power Point
 U_{OC} - Leerlaufspannung
 I_{SC} - Kurzschlussstrom
 PERC - Zelle mit passivierter Emissionselektrode für höhere Effizienz
 PID - Potentialinduzierte Degradation – Wirkungsgradverschlechterung durch Spannungsdifferenz zwischen Solarzelle und Erdung, PID-Beständigkeit wird u. a. durch verbesserte Einbettungsmaterialien (POE) erreicht

Akkus

- kWh - Maximale Speicherkapazität des Akkus
 DOD - Entladetiefe (in Prozent der Kapazität)
 Cycle Life - Zyklenzahl (jeweils Auf- und Entladezyklus)
 BMS - Batterie-Management-System, sorgt für Spannungsausgleich zwischen den Zellen, verhindert Über- und Tiefentladen
 xC - Lade-/Entladestrom, 1C bei einem 100-Ah-Akku bedeutet, der Akku gibt 1 Stunde einen Strom von 100 A ab
 Discharge Voltage - Entladeschlussspannung
 Charge Voltage - Ladeschlussspannung