

Inhaltsverzeichnis

6 Was wollen Sie wissen?

11 Strom erzeugen mit der Energie der Sonne

- 15 Einführung in die Photovoltaik
- 21 So funktioniert Photovoltaik
- 32 Solarstrom und Umweltbilanz
- 38 Strom speichern: die Technik
- 46 Der Boom der Balkonkraftwerke

51 Wie Balkonkraftwerke funktionieren

- 52 Module und Wechselrichter
- 61 Leistung und Ertrag
- 63 Aktuelle Entwicklungen und Stand der Technik

69 Voraussetzungen für den Betrieb

- 70 Was sagt das Gesetz?
- 81 Ihr gutes Recht
- 85 Gewährleistung und Garantie
- 93 Widerruf und Umtausch
- 99 Stecker-Kraftwerke im Schrebergarten
- 103 Versicherungen
- 108 Fördermöglichkeiten

111 Anlage zusammenstellen und kaufen

- 112 Den aktuellen Stromverbrauch ermitteln
- 118 Mehr Power für den künftigen Strombedarf?
- 122 Was ist wichtig beim Anlagenkauf?
- 125 Für Bastler und Recycler: ein Balkonkraftwerk selbst bauen

135 Ein Balkonkraftwerk installieren

- 139 Den besten Ertrag herausholen
- 145 Installation am Balkon



57

Unverzichtbar:
Was ein MPP-Tracker macht und warum er so wichtig ist

114

Stromverbrauch reduzieren: Diese Tipps machen's einfach





47

Wann es sich lohnt:
Wirtschaftlichkeits-
berechnung mit
dem Stecker-Solar-
Simulator



145

Montage leicht
gemacht:
So installieren
Sie ein Balkonkraft-
werk Schritt für
Schritt

153 Die Solaranlage optimal nutzen

- 154 Pufferspeicher und
Balkonkraftwerk
- 160 Balkonkraftwerk und
Smart Home
- 162 Pflege, Wartung und
Erweiterung

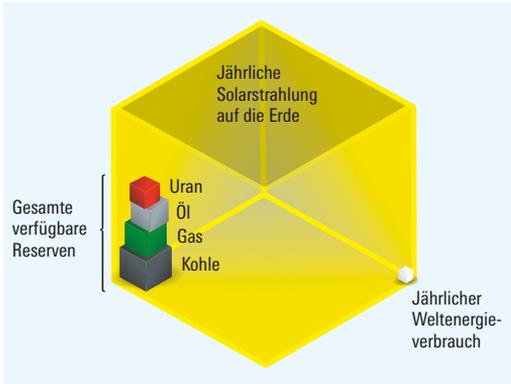
166 Hilfe

- 166 Glossar
- 168 Wohngebäudeversiche-
rung: Top-Tarife aus unse-
rem Test
- 170 Privathaftpflichtversiche-
rung: die 21 besten Tarife
- 172 Stichwortverzeichnis

162

Noch mehr Leistung:
Wie Sie Ihr Balkon-
kraftwerk erweitern
können





Großes Potenzial für Photovoltaik

Jährlich verfügbare Energie aus Solarstrahlung im Vergleich zu den Energiereserven fossiler Stoffe sowie dem jährlichen Weltenergieverbrauch

Bei der solaren Einstrahlung auf den Erdboden addiert sich neben der direkten Einstrahlung zusätzlich die diffuse oder reflektierte Strahlung hinzu. Diese ergibt sich zum Beispiel bei einem durchgehend bewölkten Himmel. Durch die Lichtreflexion an den Wolken können tagsüber bei wechselnder Bewölkung Spitzenwerte der Einstrahlung von bis zu 1400 W/m^2 erreicht werden.

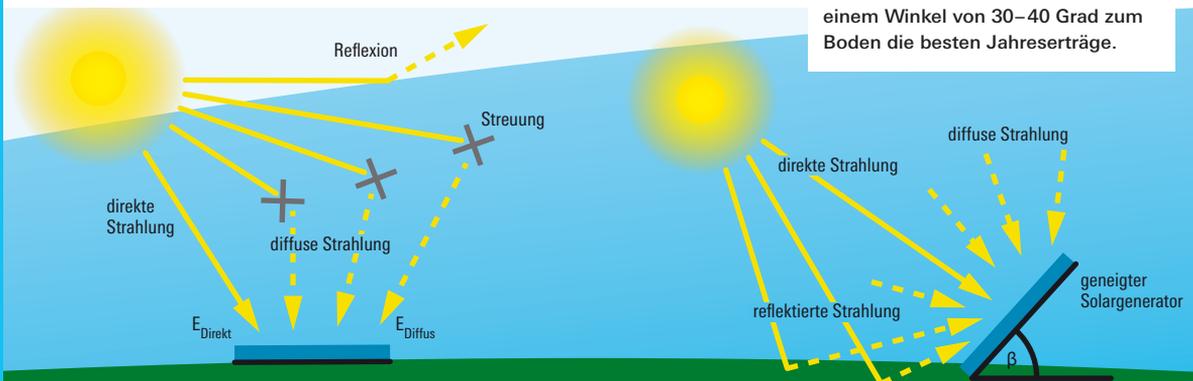
Die Summe dieser Strahlungsarten nennt man Globalstrahlung. Summiert man die Leistung der Einstrahlung auf ein Jahr, so erhält man die jährliche Globalstrah-

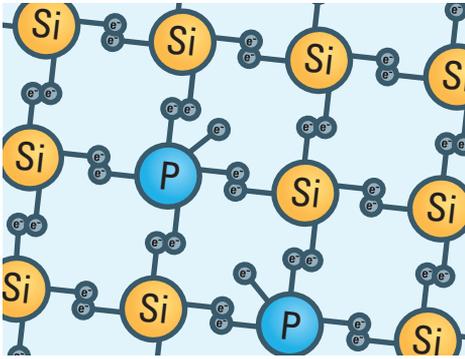
lung (in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr). In Deutschland liegen die Jahressummen der Globalstrahlung im langfristigen Mittel zwischen 940 kWh/m^2 bis rund 1290 kWh/m^2 . Dabei ergibt sich ein deutliches Süd-Nord-Gefälle.

Die jährliche Sonnenscheindauer liegt bei 1300 bis 1900 Stunden. Die regional unterschiedlichen Jahreseinstrahlungen lassen sich aus der Einstrahlungskarte des Deutschen Wetterdienstes recht deutlich erkennen (siehe Abbildung „Globalstrahlung in Deutschland“, Seite 24). Unter der Adresse dwd.de (Stichwort: Strahlungskarten) kön-

Die optimale Ausrichtung

In Deutschland erreicht man mit einem Winkel von 30–40 Grad zum Boden die besten Jahreserträge.





Elektronenüberschuss durch Dotierung mit Phosphoratomen

Ungebundene freie Elektronen im Phosphoratom wandern zu den Fehlstellen der Boratome.

Wie man am Atommodell erkennt, ergeben sich nicht gebundene, „freie“ Elektronen, die sich ebenfalls frei im Raum bewegen können. Was es damit auf sich hat, sehen wir etwas später. Zunächst wird die Zelle in weiteren Schritten bearbeitet.

Damit die Lichteinwirkung sowie der Elektronenfluss besser funktionieren, wird die Zelle zum einen mit einer Antireflexschicht versehen (dies verleiht ihr meist ihr dunkles, blaues Aussehen). Danach erhält die Zelle eine Kontaktierung sowohl auf ihrer Rück- wie auch auf der Vorderseite, vorderseitig mittels feiner Leiter aus Silberpaste (Grid – aus dem Englischen für „Gitter“) und Stromleiterbändchen (Busbars).

Wie funktioniert die Solarzelle?

Im Grenzbereich der beiden zuvor beschriebenen Schichten, in der sogenannten Raumladungszone zwischen oberer (negativer) und unterer (positiver) Schicht, binden sich die freien überschüssigen Elektronen der Elektronenspender (aus dem Phosphor) locker an die freien Fehlstellen aus der unteren



Fertige Solarzellen

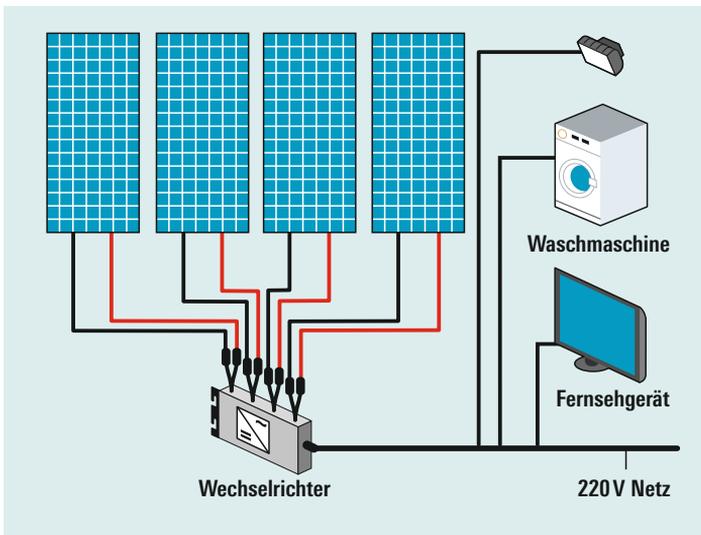
Die kristallinen Solarzellen werden noch zu verschiedenen großen Panels zusammengesetzt.

ren Schicht. Man kann es vereinfacht auch als einen „schwebenden Zustand“ betrachten. Die Elektronen besetzen die Fehlstellen im sogenannten Valenzband und bilden elektrisch eine neutrale Zone, den „p-n-Übergang“.

Da nun oben Elektronenüberschuss und unten Elektronenfehlstellen herrschen, bildet sich zwischen der oberen und unteren Kontaktfläche ein ständig vorhandenes elektrisches Feld, da die Elektronen und Fehlstellen einen natürlichen Ausgleich suchen.

Trifft Licht auf die Solarzelle, schlagen die Lichtteilchen mit ihrer Energie dabei die Elektronen aus ihren Bindungen heraus, die dann als frei bewegliche Teilchen in der Zelle verfügbar sind. Damit werden die Elektronen in das Leitungsband gehoben, wo sie frei verfügbar sind.

Viele dieser freien Ladungsträger (Elektronenlochpaare) verschwinden nach kurzer Zeit durch Rekombination wieder, das heißt die freien Elektronen fallen wieder in die Elektronenlöcher, wenn etwa die Photo-



Verschaltung einer einfachen Balkon-PV-Anlage

Die vier Panels der Stecker-Solaranlage speisen einen Wechselrichter mit Gleichstrom. Über einen integrierten oder externen Mess- und Schaltregler wird der Strom im Haushalt verbraucht oder ein Überschuss ins öffentliche Netz eingespeist.

Vorteile von Halbzellenmodulen

Solarzellen bestehen meistens aus zwei Siliziumschichten. Die Unterschiede zwischen monokristallinen und polykristallinen Solarmodulen können Sie ab Seite 26 nochmals nachlesen.

Bei Halbzellenmodulen oder auch Halfcut-Solarmodulen sind im Vergleich zu Vollzellenmodulen alle Solarzellen jeweils halbiert. Laut Messungen des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE) erzielen Solarmodule mit Halbzellentechnologie durchschnittlich 2 bis 3 Prozent mehr Leistung als Vollzellenmodule mit der gleichen Eingangszelle, obwohl sie aus dem gleichen Material bestehen.

Die Erklärung liegt in erhöhter Reflexion des Lichtes innerhalb des Panels und in physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Elektroleitung. Im Vergleich zur Vollzelle verringert

sich bei Halbzellen aufgrund der verminderten Größe der Zellen der durchlaufende Strom. Das reduziert die Leitungsverluste im Solarpanel, was in Summe zur erhöhten Ausbeute führt.

Halfcut-Solarmodule liefern nicht nur eine etwas höhere Stromausbeute als Vollzellen. Sie werden auch anders verdrahtet. Genauer gesagt werden die einzelnen Halbzellen zu zwei separaten Stromlaufpfaden zusammengefasst. Dazu werden die Halbzellen eines Segments (Bereich auf dem Panel) in sechs sogenannten Strings in Reihe verschaltet. Die Leitungen beider Segmente sind dann in der Mitte per Parallelschaltung miteinander verbunden. Diese sind ebenfalls in der Mitte des Moduls durch Freilaufbeziehungsweise Bypassdioden effizient verschaltet. Diese Aufteilung der stromproduzierenden Flächen (Segmente) hat den



Eher für größere PV-Anlagen

Kraftvoller Strang- oder Stringwechselrichter mit WLAN-Verbindung zum Online-Monitoring

durch die Vorteile aufgewogen: Modulare Wechselrichter funktionieren autonom und sind nicht miteinander verbunden, was die gesamte Mini-PV-Anlage sehr anpassungsfähig macht. Diese Unabhängigkeit ist ein Pluspunkt im Vergleich zu Leistungsoptimierern oder Stringwechselrichtern.

Stringwechselrichter

Strang- oder auch Stringwechselrichter sind die am häufigsten eingesetzten Typen bei Photovoltaikanlagen, insbesondere bei größeren mit etlichen Panels.

Jeder dieser Wechselrichter überwacht eine ganze Reihe von Solarmodulen, die auch Strang oder auf Englisch String genannt wird. Im Gegensatz zu Modulwechselrichtern haben Stringwechselrichter einen etwas höheren Wirkungsgrad.

Ein Nachteil von Strangwechselrichtern ist, dass die Leistung des gesamten Strangs abfällt, sobald einzelne der in Reihe geschalteten Module teilweise verschattet werden. Bei großen PV-Anlagen kann auch die Leitungsführung von hohen Gleichströmen über längere Entfernungen zu Verlusten

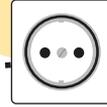


Wechselrichter als Störsender

In unserem Test von acht Balkon-Solaranlagen (test Mai 2024) hat sich ein Problem als schwerwiegend erwiesen, das man als Käufer eines Balkonkraftwerks wohl kaum erwarten würde: Drei der getesteten Anlagen fielen durch den Test, weil deren Wechselrichter andere Elektrogeräte und Funkverbindungen durch elektromagnetische Störstrahlung beeinträchtigen können. Das war so bedeutsam, dass die Bundesnetzagentur diese Wechselrichter (Hoymiles HM-800) bereits kurz darauf vom Markt genommen hat.

800 Watt Sonnenkraft

Balkonkraftwerke können bei voller Sonne je nach Verbrauch all diese Geräte unterstützen oder sogar gleichzeitig versorgen.



Router
5-15 Watt



Kühlschrank
15-25 Watt



Ventilator
10-30 Watt



Fernseher
50-80 Watt



E-Bike-Akku laden
100-150 Watt



Klimagerät (Split)
400-600 Watt

Strom ernten.

Zwei Solarpanels liefern auf vier Quadratmetern bis zu 800 Watt.

Versicherungen

Bei der Absicherung der Anlage muss man unterscheiden zwischen den Kosten einer Beschädigung des Balkonkraftwerks und den Gefahren, die von der Anlage ausgehen können.



In der Regel ist ein Balkonkraftwerk – zumindest in neuen Verträgen – in der Hausratversicherung eingeschlossen. Bei alten Verträgen sollten Sie mit Ihrem Versicherer Kontakt aufnehmen und sich das schriftlich bestätigen lassen; auch zu welchen Konditionen die Photovoltaikkleinanlage versichert ist.

Ist das Balkonkraftwerk fest mit dem Gebäude verbunden, kann das auch ein Fall für die Wohngebäudeversicherung sein.

Geht von dem Balkonkraftwerk eine Gefahr für andere Menschen oder Güter aus, zum Beispiel wenn ein Solarpanel bei einem Sturm aus der Befestigung gerissen wird, auf den Bürgersteig oder die Straße fällt und ein Auto beschädigt oder einen Menschen verletzt, greift eine private Haftpflichtversicherung.

Die Hausratversicherung

Vor allem Balkonkraftwerke mit Ständern für die Aufstellung im Garten oder auf dem Garagendach sind bei Langfingern beliebt. Diese sind oft nicht fest montiert und lassen sich somit sehr leicht stehlen. Aber auch wenn die Anlagen auf dem eigenen Balkon installiert werden und nicht ausreichend

befestigt sind, können Diebe diese nachts recht einfach unbemerkt abschrauben und mitnehmen. Eine Möglichkeit, die Balkonkraftwerke zu sichern, besteht darin, bei der Montage Spezialschrauben zu verwenden, die nur mit speziellem Werkzeug geöffnet werden können, nicht jedoch mit handelsüblichen Kreuzschlitz-, Inbus- oder Sechskantschraubenschlüsseln.

Die gute Nachricht für die Betreiber von Balkonkraftwerken: Eine spezielle Photovoltaikversicherung ist für derartige Kleinanlagen nicht erforderlich. Die übliche Hausratversicherung schließt die Absicherung von Stecker-Solaranlagen mit ein.

Seit November 2023 wurden die Musterbedingungen für die Hausratversicherung durch den Gesamtverband der Versicherer (GDV) entsprechend erweitert. Wer also eine neue Hausratversicherung abschließt und bereits ein Balkonkraftwerk hat oder sich eines anschafft, kann davon ausgehen, dass die Anlage mit versichert ist. Mit einer Hausratversicherung ist das Balkonkraftwerk so wie der übrige Hausrat unter anderem gegen Einbruch/Diebstahl, Sturm, Hagel, Feuer und Überspannungsschäden durch Blitzschläge versichert.

Was ist wichtig beim Anlagenkauf?

Für das Prüfprogramm zum Test „Balkon-Solaranlagen“ haben unsere Experten die Kriterien bestimmt, auf die es beim Kauf und Betrieb eines Steckerkraftwerks besonders ankommt.



Im Test waren acht Balkonkraftwerke mit jeweils zwei Photovoltaikmodulen und einem Wechselrichter, die im Zeitraum November bis Dezember 2023 anonym im Handel eingekauft wurden.

Alle Modelle waren monokristallin, monofazial und leisteten laut Anbieter maximal knapp über 400 Watt_{Peak} pro Modul. Wir prüften gemäß den damals geltenden rechtlichen Vorschriften mit Wechselrichtern im auf 600 Watt Einspeisung gedrosselten Betrieb. Zusätzlich erwarben wir die Montagesets der Anbieter für Balkon und Flachdach.

Leistung im normierten Messbetrieb

Die wichtigste Frage beim Kauf lautet: Bringen die Anlagen die versprochene Leistung? Dazu ließen wir einen Sonnensimulator mit 1000, 600 und 200 Watt pro Quadratmeter auf die Balkonkraftwerke scheinen, prüften, wie viel elektrische Leistung sie erzeugten, und berechneten daraus den Wirkungsgrad ohne Schatten. Bei vollflächiger Bestrahlung schöpften alle getesteten Anlagen reichlich Strom. Sobald die Solarpanels aber

etwas abgedeckt beziehungsweise verschattet wurden, sahen die Stromleistungen ganz anders aus.

Leistung bei teilweiser Verschattung der Solarpanels

Verdunkeln Laub oder Vogelkot einen Teil der Panels, sinkt ihre Ausbeute deutlich. Bei 1000 Watt pro Quadratmeter und diagonaler Abdeckung von einem Viertel sowie einem Achtel der Fläche prüften wir, wie stark der Wirkungsgrad der Solarpanels bei einer Teilverschattung sank.

Im Test haben wir sie jeweils zunächst zu einem Viertel abgedeckt. Die Anlage von Absaar brachte dann gerade noch die Hälfte ihrer maximalen Leistung – und war damit noch die beste.

Für alle getesteten Panels aber galt darüber hinaus: Lagen sie zur Hälfte im Dunkeln, erzeugten sie gar keinen Strom mehr. In die Produktbewertung flossen auch die Funktionsweise bei diagonaler Verschattung eines Viertels und eines Achtels ein. Der extreme Fall einer Verschattung von 50 Prozent wurde zwar im Artikel erwähnt, aber nicht be-

Installation am Balkon

Ist mit dem Vermieter oder den Miteigentümern des Hauses geklärt, dass eine Anbringung an der Balkonbrüstung in Ordnung ist, können Sie Ihre Mini-PV-Anlage dort installieren.



Um Solarpanels außen an der Balkonbrüstung anzubringen, muss diese tragfähig genug sein. Die meisten Solarmodule aus Glas (Maße etwa 1,50 Meter mal 1,00 Meter) wiegen 20 bis 25 Kilogramm. Bei zwei Modulen nebeneinander sind das schon bis zu 50 Kilogramm. Hinzu kommt das Gewicht des Wechselrichters und der Traggestelle, wenn die Module angewinkelt werden sollen. Es gibt auch leichtere Module aus Kunststoff, die unter 10 Kilogramm wiegen. Sie bringen aber einen geringeren Ertrag und gelten als weniger langlebig.

Prüfen Sie zusätzlich, wie jedes Modul beziehungsweise die Halterung am unteren Ende gesichert werden kann.

Die Montage – Schritt für Schritt

Für unsere bebilderte Montageanleitung kam das Absaar Balkonkraftwerk 600 Watt / 800 Watt (2 mal 410 W) zum Einsatz, das wir bei einem Baumarkt bestellt und abgeholt haben.

Im Lieferumfang für den Balkon zum Anschluss ans Stromnetz des Haushalts gehörten in diesem Paket:

- ▶ 2 Solarpanels mit je 410 Watt_{Peak} Leistung

- ▶ Ausgangsleistung auf 600 W gedrosselt mittels eines Deye Mikro-Inverters VDE 4105 (mit externem Schutzrelais)
- ▶ WLAN-Anschluss ermöglicht Software-Update auf 800 W Ausgangsleistung.
- ▶ Drei DC-Verlängerungskabel, je ein Meter lang
- ▶ Die Gerüstträger und die Halterungen waren im Angebotspreis für das Paket mit enthalten.

Bevor Sie mit dem Auspacken loslegen, sollten Sie noch ein paar Vorbereitungen treffen:

- ▶ Die großen Solarpanels und die zwei Tragegerüste brauchen eine größere Arbeitsfläche. Der Balkon sollte deshalb vorher freigeräumt werden, sodass man ungestört darauf arbeiten kann.
- ▶ Als Werkzeug brauchen Sie hier nur Maul- oder Ringschlüssel für die Verschraubungen der Tragegerüste und ein Maßband, um die Abstände der Befestigungslöcher in den Rahmen der Panels zu messen.
Ein paar Kabelbinder können genutzt werden, um die Kabel an der Balkonbrüstung zu befestigen.



05 Alle benötigten Bauteile zusammen mit den Werkzeugen bereitlegen. Bei der Montage exakt nach der beiliegenden Bedienungsanleitung vorgehen.



06 Die Gerüstelemente der Balkonbefestigung zusammenschrauben und den Winkel zur optimalen Ausrichtung der Solarpanels vorgeben.



07 Dabei die Abstände der Befestigungslöcher für die Montage der Rahmenelemente beachten.



08 Die Panelträger an den vorgelochten Stellen der Panelrahmen festschrauben.

Mobile Powerstation

Batteriespeicher wie der Ecoflow River 2 Max speichern nicht ins Hausnetz ein.



Notfall über Verlängerungskabel umgesteckt werden.

Einige Anbieter vermarkten seit Kurzem spezielle Heimspeicher oder Sets zum Nachrüsten, um Powerstations direkt mit Balkonkraftwerken zu verbinden.

Und ein weiterer Punkt ist zu beachten: Wo muss oder soll ein Batteriespeicher fürs Balkonkraftwerk stehen? Die Chemie arbeitet zum Beispiel bei niedrigen Temperaturen deutlich schlechter als bei Zimmertemperatur. Am besten steht ein Batteriespeicher für das Balkonkraftwerk also geschützt in einem Innenraum. Wer den Speicher drinnen platzieren will, muss aber überlegen, wie die Kabel ins Innere geführt werden sollen. Es gibt zum Beispiel spezielle Flachkabel, die zwischen Fensterflügel und -rahmen durchgeführt werden können (siehe Seite 137).

Wenn das keine Option ist, geben die Hersteller an, was für die Aufstellung im Freien jeweils zu beachten ist. Ein wasserdichtes Gehäuse ist immer nützlich. Einige neuere Modelle verfügen sogar über eine Heizfunktion, die den Akku bei tieferen Temperaturen schont.

Eine mobile Powerstation als Speicher nachrüsten

Spezielle Batteriespeicher für Balkonkraftwerke sind teuer und funktionieren gewöhnlich nicht bei Stromausfall. Wie bereits gezeigt, können mobile Powerstations da eine alternative Speicherlösung bieten.

Wenn man bereits eine normale Stecker-Solaranlage hat, stellt sich die Frage: Wie bekommt man den Strom vom Balkonkraftwerk in die Powerstation und von dort ins Haushaltsstromnetz?

Über den vorhandenen Wechselrichter ist das dann nicht ohne Weiteres möglich. Klassische Mikrowechselrichter von Balkonkraftwerken benötigen auf der Eingangsseite mehr als 12 Volt Spannung, nur wenige Powerstations liefern das. Modelle mit 24 Volt Ausgangsspannung Gleichstrom sind (noch) Ausnahmen. Man kann deshalb – technisch ist das allerdings bereits leicht veraltet – die Powerstation parallel zum eigentlichen Balkonkraftwerk betreiben.

Der mobile Speicher wird zum Beispiel an zwei von insgesamt vier Solarpanels angeschlossen, die dann nur noch den Speicher aufladen. Damit sich das lohnt, muss