



Balkonkraftwerk für alle

Der Leitfaden für die
Energiewende zum
Selbermachen

Dr. Andreas Schmitz, Christian Ofenheusle,
Sebastian Müller, Prof. Dr. Stefan Krauter

Die Autoren



Andreas Schmitz hat Maschinenbau und Computational Science studiert und über mathematische Optimierung und KI promoviert. Er arbeitet als Wissenschaftler beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt und betreibt nebenbei den [YouTube Kanal Akkudoktor](#) mit über 300.000 Abonnenten und die Webseite [akkudoktor.net](#), mit einem großen DIY Forum und zahlreichen kostenfreien Tools für Heizungs- und PV Berechnungen.



Christian Ofenheule hat eine Ausbildung als Finanzfachwirt und ein Magisterstudium abgeschlossen. Nach vielfältiger Erfahrung in der freien Wirtschaft ist er bereits 2018 mit der Gründung der Agentur EmpowerSource in den Balkonsolar-Markt eingestiegen. Heute betreibt er mit [MachDeinenStrom.de](#) und [Zackstrom.de](#) zwei zentrale Portale zum Thema, berät Unternehmen der Solar- und Wohnungswirtschaft und ist in der Lobbyarbeit aktiv.



Sebastian Müller hat an der Pädagogischen Hochschule der Albert-Ludwigs-Universität in Freiburg und an der Universität Turku studiert. Er hat eine Ausbildung als Rettungsassistent. Über Balkonsolar hat er in verschiedenen Medien publiziert, etwa im Make Magazin oder dem Volksverpetzer. Er ist Gründungsmitglied des Freiburger Vereins Balkon Solar e.V. und gibt zahlreiche Vorträge zu dem Thema.



Stefan Krauter hat an der TU Berlin über das Betriebsmodell von PV-Modulen promoviert. Über PV zum Klimaschutz hat er dort auch habilitiert. Er war Mitgründer der Solon AG. Anschließend war er 10 Jahre lang im Vorstand des Photovoltaik-Instituts Berlin und ist seit 2010 Professor für Elektrische Energietechnik - Nachhaltige Energiekonzepte an der Universität Paderborn. Seine Vorlesungen und Stellungnahmen zu Energiethemen finden sich auf www.youtube.com/@Stefan_Krauter.

Inhaltsverzeichnis

01

Grundlagen

Unterstütze uns S.4
Vorwort S. 5
Wie funktioniert Photovoltaik S. 9
Einheiten S. 6

02

Technik

Solarmodule verstehen S. 10
Upcycling S. 23
Wechselrichter S. 24
Stromspeicher S. 27
Planung und Aufbau S. 32

03

Anbringen & Montage

Balkon S. 36
Glas-Folie-Module S. 37
Glas-Glas-Module S. 38
Leichtmodule S. 39
Flachdach, Terrasse, Garten S. 40
Bauaufsichtsrechtliche
Zulassung S. 41

04

Selbst zusammenstellen

Kompatibilität S. 43
Auswahl von Komponenten S. 44
Testdatenbank S. 46

05

Tipps + Tricks

Verbrauchsoptimierung, Schaltbare
Steckdose,
Fensterdurchführung S. 49
IT-Sicherheit S. 50
Hinweise für Vermieter S. 51
Vollausstattung
Brandschutz S. 52
Anmeldung S. 53

06

Finanzielles

Beispielrechnung S. 57
PV Rechner S. 58
Beispielrechnung 800W S. 60

Unterstütze uns

Dieses Buch ist in der elektronischen Version kostenfrei verfügbar.

Wir finden, dass solare Energieerzeugung besonders kleinere und weniger wohlhabende Haushalte unabhängiger machen kann und ein Stück Freiheit bietet. Zudem bringt sie Vorteile für die Allgemeinheit, da viele Menschen durch sie lokal Strom erzeugen und erneuerbare Energien günstig und unkompliziert kennenlernen können. Ein Balkonsolargerät ist der ideale Einstieg in dieses Verhalten. Wenn man sich daran gewöhnt, z.B. die Spülmaschine mittags einzuschalten, wenn Sonnenstrom im Überfluss vorhanden ist, dann ist das letztendlich gut für unser Stromnetz und damit für uns alle.

Menschen mit einem geringen Einkommen können sich möglicherweise kein Buch für 30 Euro kaufen. Natürlich bleiben aber dennoch Fragen, wie das alles funktioniert und worauf man zu achten hat. Deswegen haben wir uns dazu entschlossen, dieses Buch in der elektronischen Version kostenlos anzubieten und in der Druckversion auf einen Verlag zu verzichten, um das Buch auch in Papierform für unter 10 Euro anbieten zu können.

Trotzdem hat die Erstellung des Buchs viel Zeit und Ressourcen gekostet, da wir das in unserer Freizeit machen und an diese Sache glauben. Wenn ihr also möchtet und vor allem auch könnt, dann unterstützt uns gerne. Quasi nach dem Motto: "Zahl was dir das Buch wert ist oder auch einfach was du geben kannst".

Auch eine nette Nachricht freut uns.

Spende

Balkon.Solar e.V.
IBAN: DE06430609671266323100
BIC: GENODEM1GLS



Bibliographische Angaben

ISBN für die Print-on-Demand Ausgabe:

Erste Auflage April 2024

Herausgeber: Dr. Andreas Schmitz
Grafik: Sebastian Müller
Lektorat: Simone Herpich

Haftungsausschluss

Alle in diesem Buch veröffentlichten Ratschläge erheben keinen Anspruch auf Konformität mit Normen, Vorschriften oder Gesetzen. Die Anwendung erfolgt auf eigene Gefahr, für Schäden können wir keine Haftung übernehmen.



Dieses Buch steht unter CC BY-NC-SA Lizenz.

Für Details: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Es darf geteilt, verändert und adaptiert werden, so lange die Urheber genannt sind und es für nichtkommerzielle Zwecke verwendet wird.

Vorwort

Liebe Leser:innen

wir sind eine Gruppe von leidenschaftlichen PV- und Balkon- / Steckersolar Nutzer:innen und setzen uns seit einiger Zeit (ehrenamtlich) dafür ein, dass insbesondere kleine Solaranlagen für jeden Menschen in Deutschland erschwinglich, unbürokratisch und maximal sicher zur Verfügung stehen.

Wir sind der Meinung, dass besonders Steckersolaranlagen das Potenzial haben, **auch Menschen mit kleinem Geldbeutel an der Energiewende teilhaben zu lassen.**

Für viele Menschen gibt es aber zahlreiche Hindernisse: Bürokratie und vor allem mangelnde Beratung: Was kaufe ich? Was muss ich nach dem Kauf tun? Was darf ich alles? Wie nutze ich ein Steckersolargerät am effektivsten?

Um gegen die Bürokratie vorzugehen, haben einige von uns **2023 eine der größten Petitionen im Deutschen Bundestag eingereicht**, bisher mit sehr großem Erfolg. Wir haben eine **Wechselrichter-Bestenliste** ins Leben gerufen und zahlreiche kritische Mängel bei Mikrowechselrichtern aufgedeckt.

Was aber viel wichtiger ist:

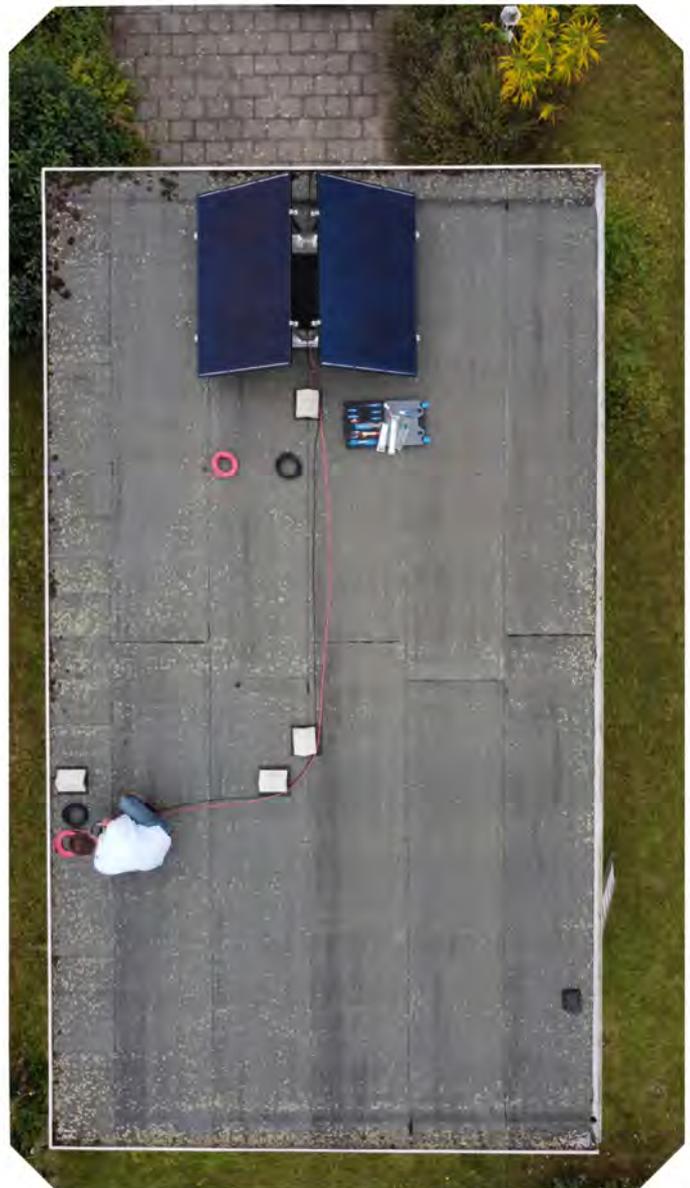
Jede:r von uns lebt und liebt Balkonkraftwerke, Steckersolargeräte oder wie auch immer man diese kleinen Generatoren nennen möchte.

Um uns selbst das Leben etwas einfacher zu machen, haben wir dieses Buch geschrieben und möchten insbesondere Menschen mit kleinem Geldbeutel dabei unterstützen, die ersten Erfahrungen mit erneuerbaren Energien zu sammeln, selbst das Gefühl zu erleben, "seine eigene Energie zu erzeugen" und damit ein Stück Unabhängigkeit und Freiheit in sein geliebtes Heim zu bringen.

Dieses Buch ist in der elektronischen Version kostenlos und wird von uns ohne Verlag in den Handel gebracht. Die gedruckte Version möchten wir so günstig wie möglich anbieten.

Wir hoffen, damit maximal viele Menschen zu erreichen und auch wenn wir im Selbstverlag auf Dinge wie "Spiegel Bestseller" und grenzenlosen Reichtum ;-) verzichten müssen, so freuen wir uns deutlich mehr über positive Nachrichten und natürlich über jedes Balkonkraftwerk, das an das Netz geht und uns allen dient.

Wir wünschen viel Spaß beim Lesen und hoffentlich beim Erzeugen eigener Energie.



Einheiten V & A

Volt - Volt ist die Maßeinheit für elektrische Spannung, mit der **Abkürzung V** und dem **Formelzeichen U**.

Spannungen, die **unter 48 V** liegen, gelten als **Kleinspannung**. Aufgrund ihres geringen Gefahrenpotenzials dürfen auch Personen, die fachlich nicht geschult sind, Arbeiten mit Kleinspannung durchführen.

Jede gewöhnliche elektrische Leitung bietet Widerstände, gegen die der Strom "ankämpfen" muss.

Man kann sich das vorstellen wie eine Wasserleitung, die einen Höhenunterschied überwindet: Je größer der Höhenunterschied ist, desto höher ist der zu seiner Überwindung erforderliche Druck - bei der Elektrizität ist dieser Druck die Spannung.

Erhöht man bei gleichbleibendem Widerstand (= Höhenunterschied) die Spannung (= Druck), resultiert ein höherer Strom (wie der Wasserstrom).



Ampere - Ampere ist die Maßeinheit für elektrische Stromstärke, **abgekürzt als A**, während die **Abkürzung für die Stromstärke selbst als I** bezeichnet wird.

Wie bei der Erklärung für die Einheit Volt beschrieben, ist sie das Resultat aus dem Verhältnis von Spannung in Volt und der Leistung in Watt.

Genauer gilt: **Watt/Volt = Ampere** bzw. $P/U = I$.

Also ergibt sich bei einem 800 W Kraftwerk, $P = 800$ Watt geteilt durch $U = 230$ Volt Netzspannung, eine Stromstärke von $I = 3,48$ A.

Die **Stromstärke gibt demnach an, wie viel Strom durch eine Leitung fließt**. Auch hier ist das Bild einer Wasserleitung sinnvoll: Durch eine Leitung kann viel fließen, wenn der Druck hoch ist.

Wenn der Querschnitt der Wasserleitung aber klein ist, dann muss ein höherer Druck aufgebaut werden, damit dieselbe Wassermenge durchfließt wie bei einem Rohr mit einem großen Querschnitt.

Genauso verhält es sich mit der elektrischen Leitfähigkeit bzw. umgekehrt (dem "Kehrwert") mit dem **elektrischen Widerstand R, gemessen in Ohm, abgekürzt Ω** . Es gilt: Je größer der Widerstand, desto mehr Spannung baut sich bei gleichbleibender Stromstärke auf.

Einheiten W & Wp

Watt - Die elektrische Leistung wird in **Watt (W)** gemessen und mit dem Kürzel **P** abgekürzt. Sie berechnet sich aus der **Multiplikation (dem "Produkt") von Strom und Spannung**.

Je höher die Leistung eines Geräts, desto mehr Strom verbraucht bzw. erzeugt es (bei gleicher Spannung). Man kann sich Verbraucher wie ein Wasserrad vorstellen, das je nach Größe mehr Wasser zum Antrieb braucht.



Watt Peak - (Wp) - Die potenzielle Leistung eines Solarmoduls unter (Fast-) Idealbedingungen, wenn es von der Sonne beschienen wird.

Dabei handelt es sich um die Angabe der Spitzenleistung, die im Labor unter "Standardprüfbedingungen" gemessen wird.

Diese Bedingungen sind: **25 °C Zelltemperatur und 1.000 W/m² Bestrahlungsstärke mit senkrechter Einstrahlung**. Das Spektrum entspricht dem **Sonnenspektrum bei einer Sonnenhöhe von 42°**. Eine so hohe Einstrahlung tritt in Deutschland relativ selten auf, und wenn, dann ist die Zelltemperatur wesentlich höher (meist 30 °Celsius höher als die Außentemperatur). Diese (meist theoretische) Leistung wird unter anderem in den Datenblättern der Solarmodule vermerkt.



Kilowatt - 1000 Watt sind **1 kW** - ein Staubsauger hat eine Leistung von ca. 2 kW.

Megawatt - 1000 kW sind **1 MW** - eine Windkraftanlage liegt in diesem Bereich.

Gigawatt - 1000 kW sind **1 GW** - die Leistung eines großen Kohlekraftwerkblocks.

Kilowattstunde kWh

Kilowattstunde - Wenn eine elektrische Leistung von **1.000 Watt für genau eine Stunde (1 h) genutzt** wird, spricht man von einem Verbrauch von 1 Kilowattstunde (kWh), was die entsprechende Energiemenge repräsentiert.

Den gleichen Verbrauch hätte auch ein Gerät mit 1 Watt, das für 1.000 Stunden genutzt wird.

Ein **E-Auto** braucht im realen Einsatz etwa **20 kWh / 100 km (ADAC)**, ein **Benziner liegt bei 7 L / 100 km**. 1 Liter (L) Benzin hat eine volumetrische (aufs Volumen, also Liter, bezogen und nicht aufs Gewicht) Energiedichte von 9.7 kWh / L

Damit kommt man auf einen (**„spezifischen“**) **Energieeinsatz von 67,9 kWh / 100 km beim Benziner**. Also **Faktor 3,4 mehr als das E-Auto**, oder anders gesprochen: Ein durchschnittliches **E-Auto würde entsprechend 2 L / 100 km Benzin** verbrauchen.

Für eine umfassende Klima- bzw. Energiebilanz muss man allerdings die gesamte Lebensdauer eines Autos betrachten, also inklusive aller Vorketten und auch dem Recycling.



Häufig verwechselt kWh vs. kW

Das Beispiel des Elektroautos eignet sich hervorragend, um den **Unterschied zwischen Leistung (Watt) und verbrauchter Energie (Kilowattstunde) zu verdeutlichen**.

Um das Auto in Bewegung zu setzen, muss die Batterie mit elektrischer Energie (Strom) geladen werden. Die Menge an Energie, die in einer Batterie gespeichert werden kann, wird in Kilowattstunden angegeben.

Je größer der Energiegehalt der Batterie in Kilowattstunden ist, desto weiter kann das Auto fahren. Die Kapazität wird in Ah (Amperestunden) und nicht kWh gemessen.

Nehmen wir an, unser Elektroauto wurde mit 50 kWh aufgeladen, und wir planen eine 300 km lange Reise.

Wir fahren mit einer durchschnittlichen Leistung von **15 kW (15.000 W)**, was eine **Durchschnittsgeschwindigkeit von etwa 100 km/h** ermöglicht. Das bedeutet, dass das Auto, indem es die ersten 100 km in einer Stunde mit 15 kW zurücklegt, 15 kWh verbraucht. Für die gesamte 300 km lange Reise beträgt der Energieverbrauch 45 kWh.

Als Gleichung formuliert: $15 \text{ kW} * 3 \text{ h} = 45 \text{ kWh}$
An diesem Beispiel können wir gut nachvollziehen, wie lange die verfügbare Energiemenge (50 kWh in der Batterie) ausreicht, das heißt, wie weit wir mit dem Auto fahren können.

Wie funktionieren Solarmodule?

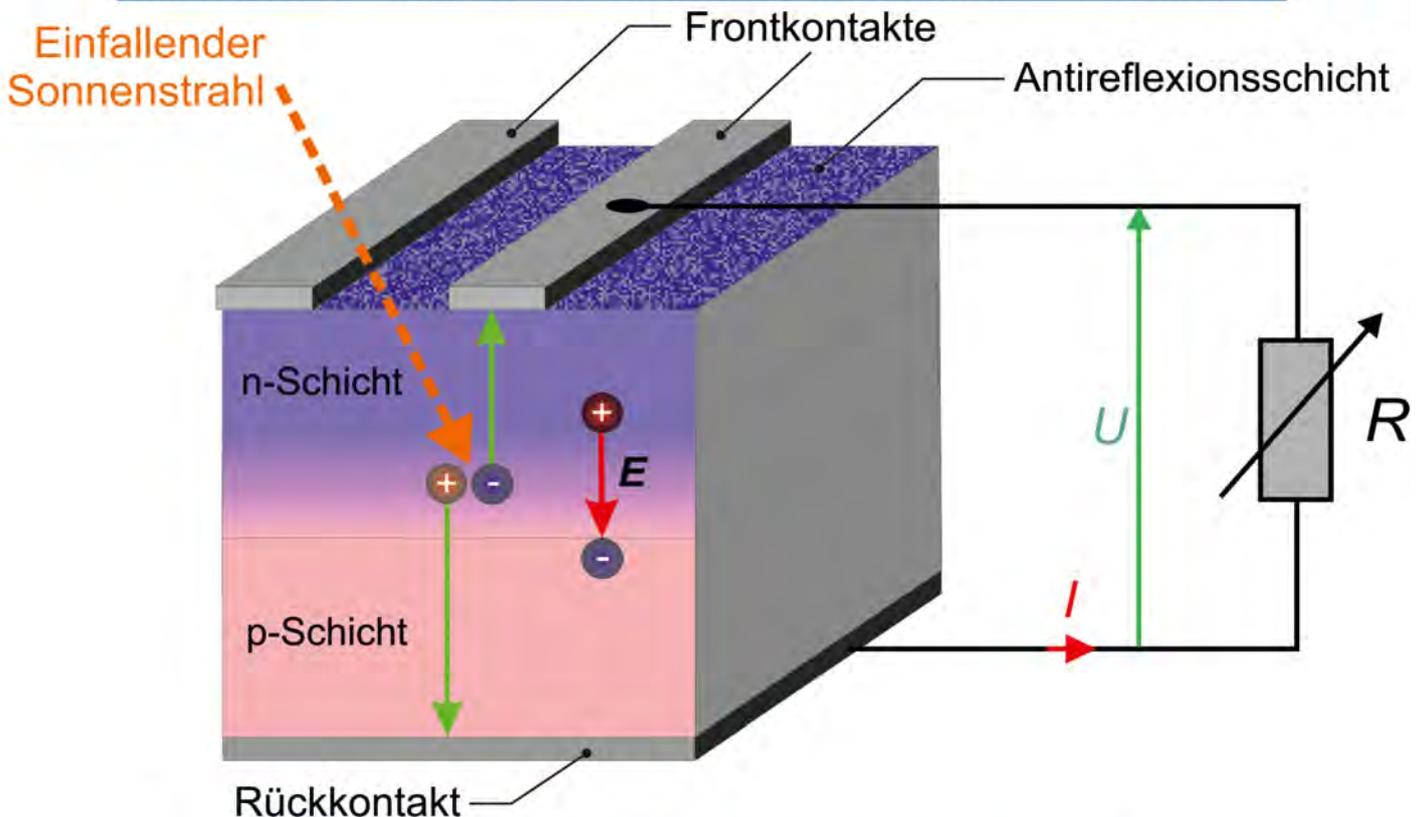


Abbildung 1: Photovoltaischer Effekt bei einer Solarzelle (schematisch).

Die Umwandlung solarer Einstrahlung in elektrischen Strom durch Photovoltaik

Das kleinste Element eines **Solarmoduls** ist eine **Solarzelle**. Ein Solarmodul besteht normalerweise aus 60 bis 72 Solarzellen, die **in Reihe geschaltet** sind.

Diese sogenannte **Reihenschaltung** dient dazu, die Spannung des Solarmoduls zu erhöhen, denn die Spannung einer einzelnen Zelle ist ziemlich klein – wie bei Batterien.

Der photovoltaische Effekt, auf dem die Solarzelle beruht, funktioniert wie folgt: Die Solarzelle fängt die einfallende Sonnenstrahlung, bestehend aus Photonen, ein. Wenn die Energie der einfallenden Photonen groß genug ist (das hängt von deren Wellenlänge ab - für den sichtbaren Bereich gilt: Je blauer das Licht, desto mehr, je roter das Licht, desto weniger Energie hat ein Photon), wird in der Solarzelle ein Elektron „befreit“. Dieses Elektron wird durch ein elektrisches Feld, das im Innern der Solarzelle erzeugt wird, vorwärts bewegt.

Die **Vorwärtsbewegung von vielen Elektronen** wird als „**elektrischer Strom**“ bezeichnet. Dieser kann vom Verbraucher genutzt werden, der in Abbildung 1 durch das graue Kästchen mit der Bezeichnung „**R**“ (für Resistance, elektrischer Widerstand) dargestellt wird.

Je größer die Sonneneinstrahlung, desto mehr Photonen, desto mehr befreite Elektronen und desto höher der Strom - kurz gesagt: der **Strom der Solarzelle ist proportional zur Einstrahlung**.

Die elektrische Spannung ist durch das elektrische Feld vorgegeben und ändert sich kaum (bei Siliziumsolarzellen theoretisch 0,7 V, meist aber um 0,6 V), nur bei höheren Temperaturen wird das Feld schwächer und die Spannung sinkt etwas.

Maximum Power Point Tracking

Die elektrischen Eigenschaften bzw. die elektrischen Kennlinien einer Solarzelle kann man aus dem Ersatzschaltbild in Abbildung 2 ableiten – diese sind in **Abbildung 3 dargestellt:**

Man sieht den Strom als Funktion der Spannung (blaue Kurve) sowie die elektrische Leistung als Funktion der Spannung (gestrichelte rote Kurve).

Lässt man den Verbraucher weg, so fließt kein Strom und man misst die sogenannte „Leerlaufspannung“ U_L .

Schließt man die Solarzelle kurz, so erhält man bei der Spannung 0 den maximalen Strom I_K .

Die Spannung im tatsächlichen Betrieb ist etwas niedriger als U_L , da die Solarzelle nicht im Leerlauf betrieben wird, sondern im sogenannten **MPP („Maximum Power Point“), dem Punkt maximaler Leistung.**

Durch den Wechselrichter werden auf der Strom-Spannungskennlinie (siehe Abbildung 3) **verschiedene Kombinationen aus Strom und Spannung ausprobiert, bis man sich der höchstmöglichen Leistung** (zur Erinnerung: Leistung = Strom x Spannung, siehe rote Kurve) **angenähert hat („Such-Schwing-Verfahren“).**

Wenn alle Kennlinien, die aktuelle solare Einstrahlung sowie die Betriebstemperatur bekannt sind, kann der MPPT („Maximum Power Point Tracker“) den Punkt sogar direkt anfahren (ohne Ausprobieren wie im „Such-Schwing“-Verfahren).

Auch andere Verfahren mit verschiedenen (manchmal geheimen) Algorithmen zum schnellen Finden des MPP werden in den MPPT der Hersteller verwendet.

Der MPPT ist meist im Wechselrichter eingebaut. Nur ganz vereinzelt gibt es auch Solarmodule, bei denen ein MPPT in der Anschlussdose eingebaut ist.

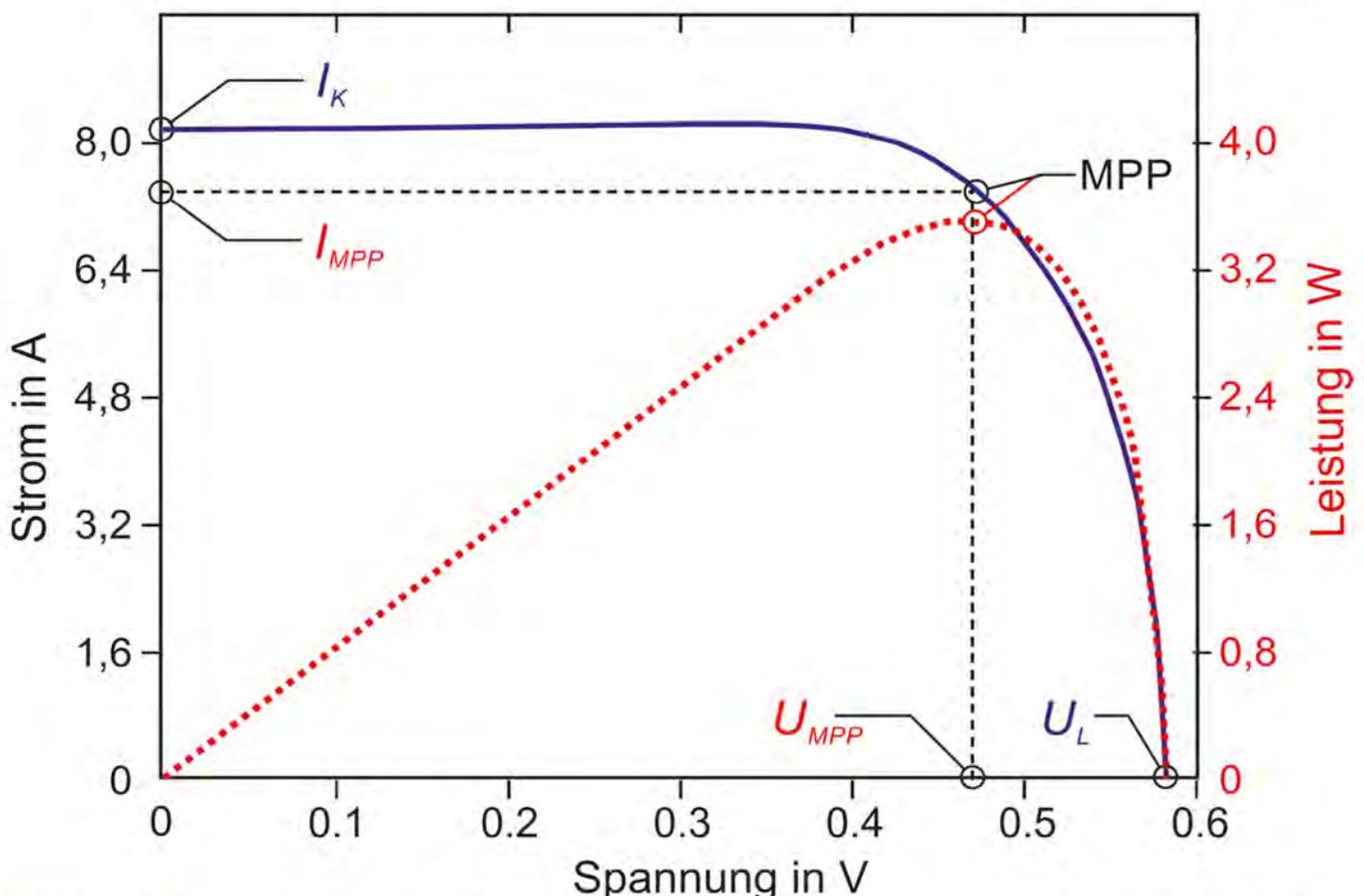


Abbildung 3: Spannungs-Strom-Kennlinie (blau) sowie Spannungs-Leistungs-Kennlinie (rot) einer einzelnen Solarzelle mit dem Punkt der maximalen elektrischen Leistungsentnahme (Maximum Power Point auf englisch, kurz: MPP; Bildquelle: Stefan Krauter).

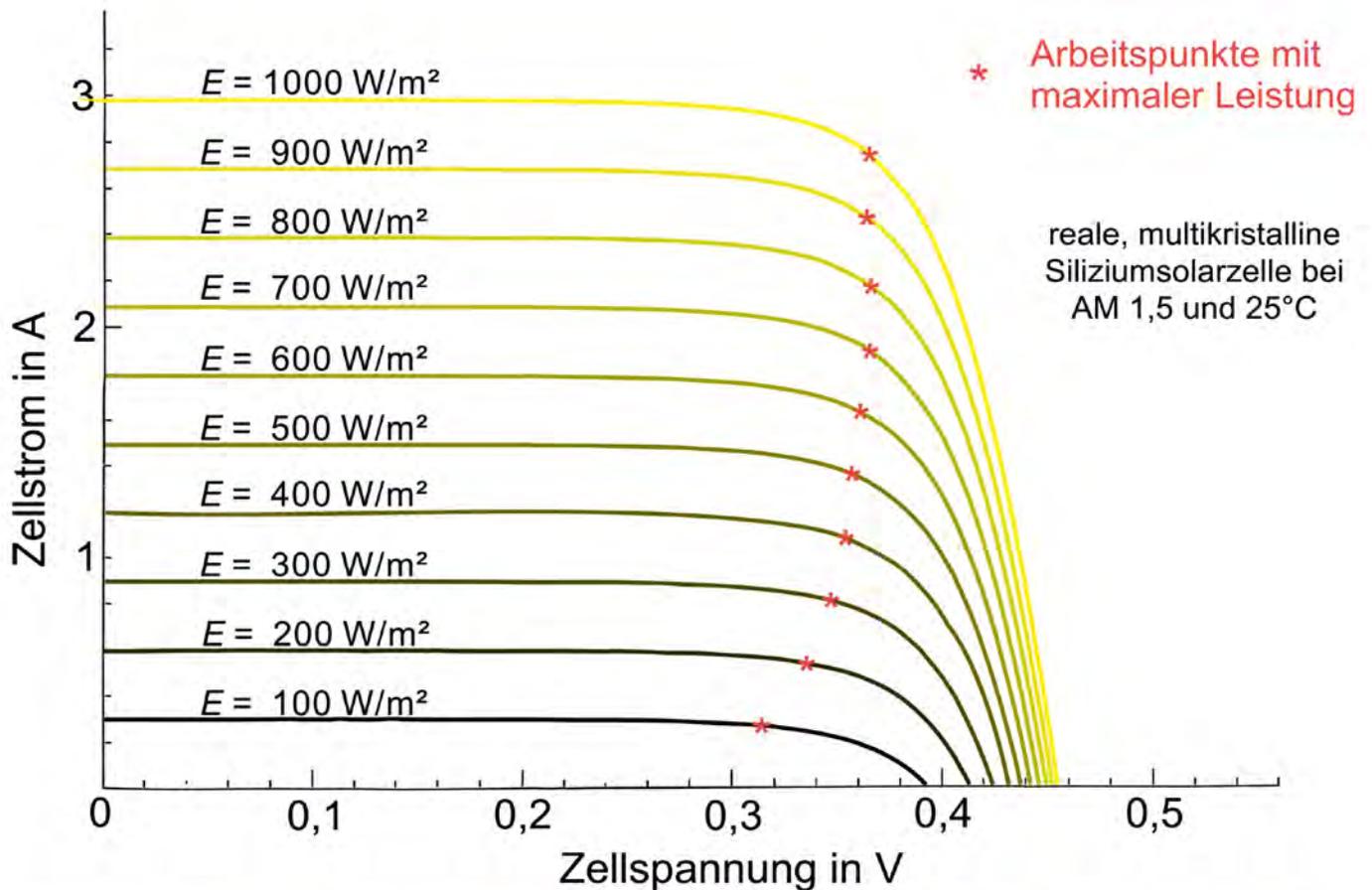
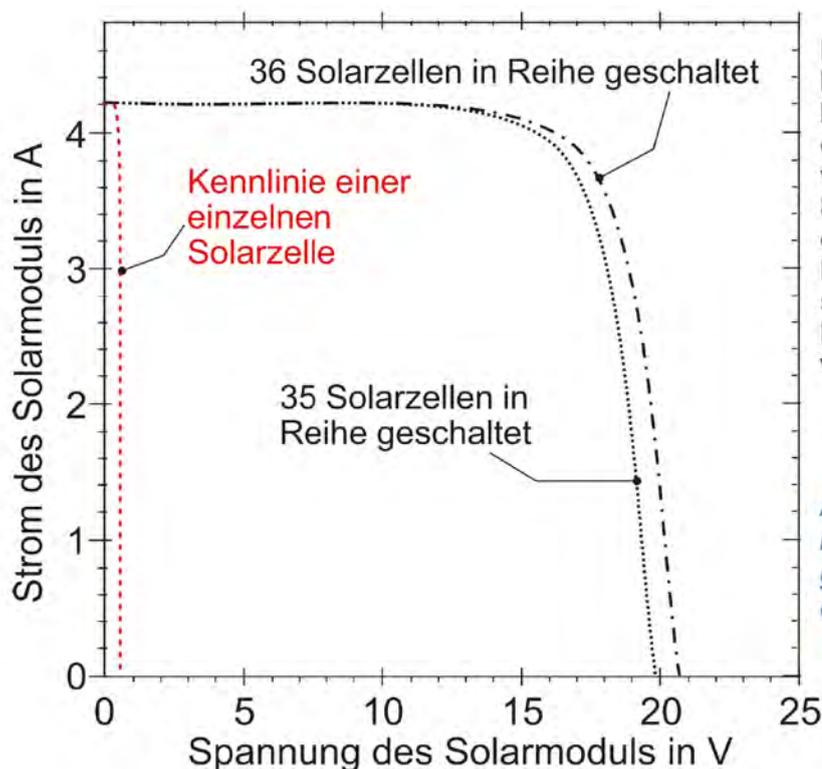


Abbildung 4: **Spannungs-Strom-Kennlinien einer einzelnen Solarzelle bei unterschiedlichen Bestrahlungsstärken mit den Punkten maximaler Leistung (in rot)** (Bildquelle: Stefan Krauter). Die Grafik zeigt die Kennlinien bei unterschiedlichen Bestrahlungsstärken. Man sieht, dass der Strom (wie zu erwarten) **direkt proportional zur Bestrahlungsstärke ist, die Spannung aber weitgehend konstant bleibt**. Erst bei geringen Bestrahlungsstärken reduziert sich die Spannung etwas - und damit auch der elektrische Wirkungsgrad.



Heutzutage wandelt ein **typisches PV-Modul ca. 20% der einfallenden solaren Einstrahlung in elektrischen Strom** um, d.h. wenn ein PV-Modul mit einer Fläche von 1 m^2 mit einer Bestrahlungsstärke von 800 W/m^2 beleuchtet wird (das entspricht einem relativ klaren Sommertag um die Mittagszeit), so erhält man eine elektrische Leistung von 160 Watt. Man spricht von einem „**Wirkungsgrad**“ von 20%.

Abbildung 6, links: **Spannungs-Strom-Kennlinie eines Solarmoduls mit in Reihe geschalteten 35 oder 36 Solarzellen** (Bildquelle: Stefan Krauter).

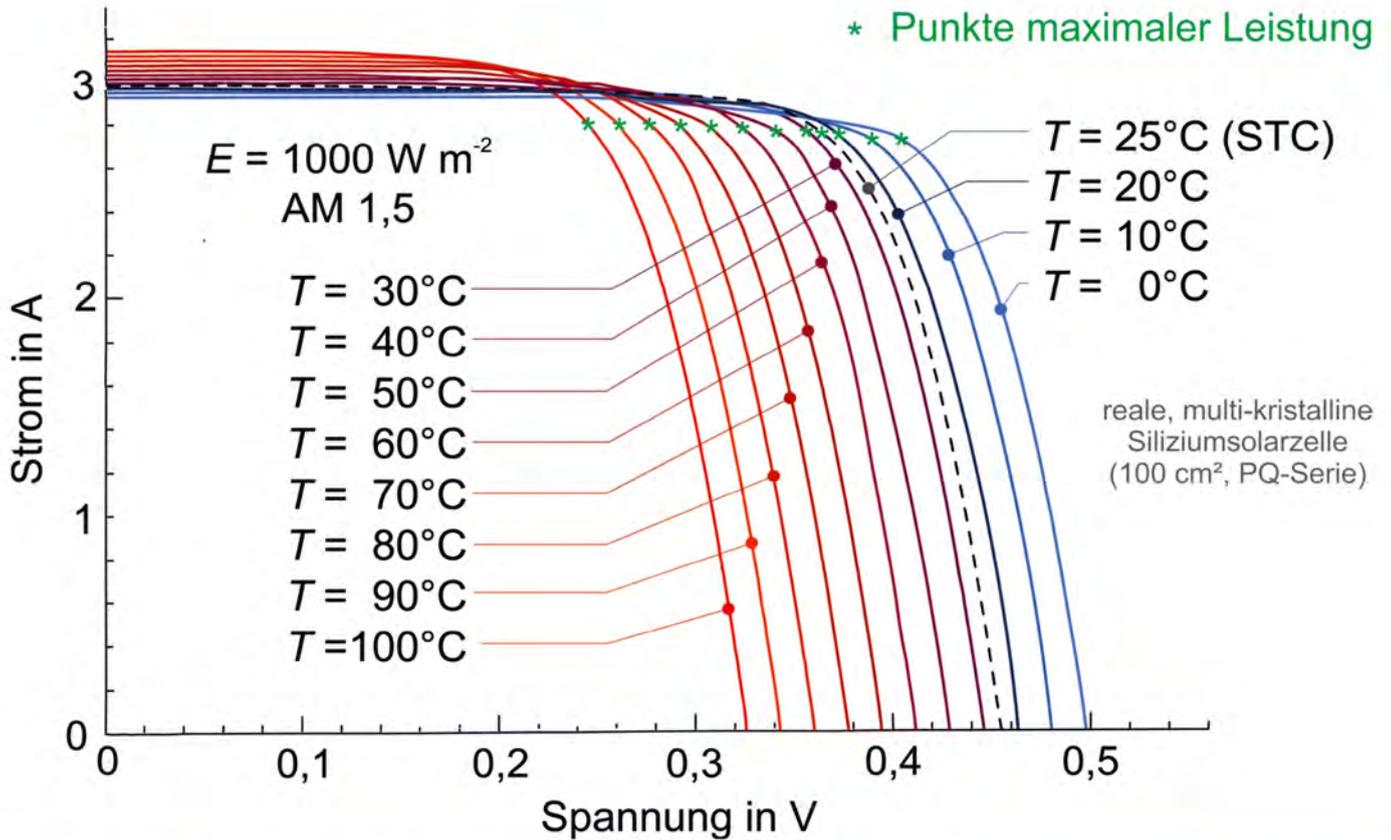


Abbildung 5: Spannungs-Strom-Kennlinien einer einzelnen Solarzelle bei unterschiedlichen Temperaturen (Zelltemperatur) mit den Punkten maximaler Leistung (in grün) (Bildquelle: Stefan Krauter). Die Kurve zeigt die Kennlinien bei unterschiedlichen Temperaturen. Man sieht, dass der Strom weitgehend konstant bleibt (eine geringe Erhöhung - durch erleichtertes Freisetzen der Elektronen bei erhöhter Temperatur), die Spannung sich aber bei größeren Bestrahlungsstärken reduziert (mit ca. $-0,4\%/K$ für Siliziumsolarzellen). Dadurch reduziert sich auch der elektrische Wirkungsgrad, etwa in gleichem Maße wie die relative Reduktion der Spannung.

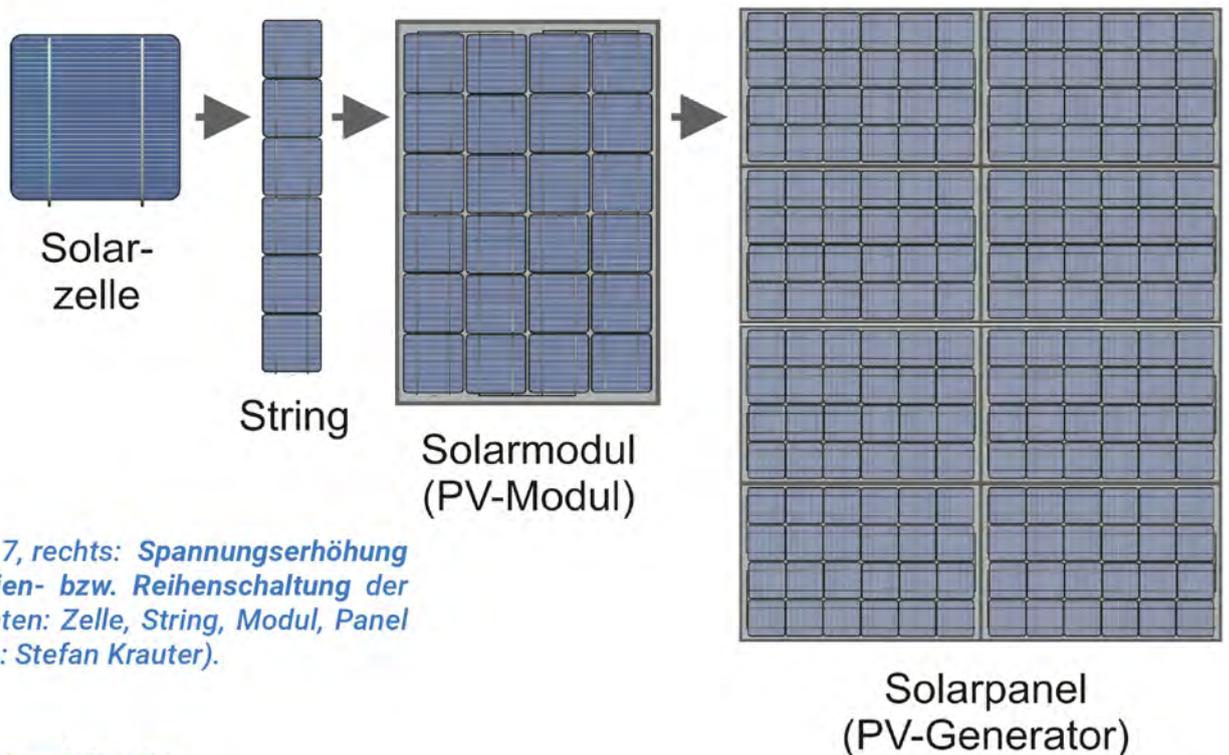


Abbildung 7, rechts: Spannungserhöhung durch Serien- bzw. Reihenschaltung der Komponenten: Zelle, String, Modul, Panel (Bildquelle: Stefan Krauter).

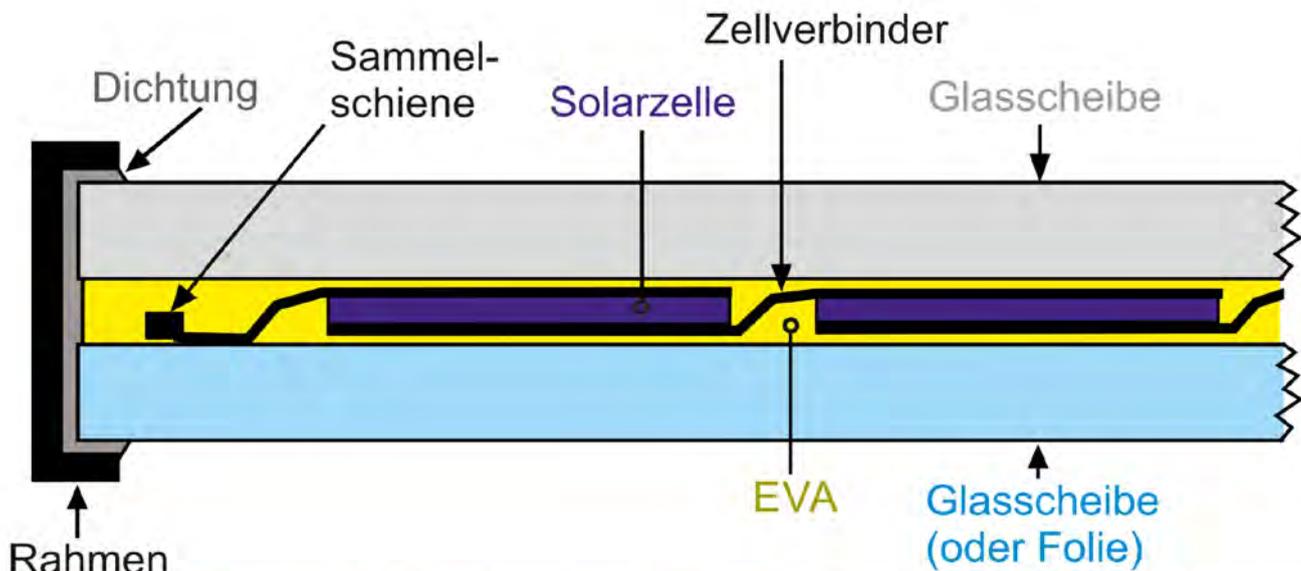


Abbildung 8: Querschnitt durch ein Solarmodul (Bildquelle: Stefan Krauter). Es zeigt den Querschnitt durch ein Solarmodul: Die Zellverbinder realisieren die Reihenschaltung der Solarzellen, EVA (Ethylen-Vinyl-Acetat) ist der Einbettungskunststoff. Besteht die Rückseite aus Glas, so spricht man von einem "Glas-Glas-Modul", besteht sie aus einer Folie (z.B. aus einem Polyester-Tedlar-Laminat), so spricht man von einem "Glas-Folie-Modul" oder von einem "laminierten Modul".

Leistungsangaben eines PV-Moduls

Da die elektrische Leistung eines PV-Moduls direkt von der Sonneneinstrahlung und der Betriebstemperatur abhängt, müssen diese Parameter festgelegt werden, um zu vergleichbaren Leistungsangaben zu gelangen.

Die Festlegung erfolgt durch die sogenannten **STC-Betriebsbedingungen (STC: Standard-Test-Conditions)** bei einer **Bestrahlungsstärke von 1000 W/m²** und einer **Betriebstemperatur der Solarzellen von 25°C** und natürlich im **MPP**.

Derart hohe Einstrahlungswerte werden in Deutschland relativ selten erreicht. Zudem ist die Betriebstemperatur dann meist 30 °C höher als die Außentemperatur, was zu Leistungseinbußen führt.

Über das Jahr kann man von maximal 1000 „Volllaststunden“ in Deutschland ausgehen, d.h. ein unverschattetes 400 Wp Solarmodul erzeugt maximal 400 kWh Elektrizität im Jahr.

Zusätzlich ist das Spektrum der Einstrahlung gegeben, dies entspricht der direkten Sonneneinstrahlung, wenn die Sonne 42 Grad über dem Horizont steht.

Um zu kennzeichnen, dass die Leistungsangaben unter STC-Bedingungen entstanden sind, wird in **Datenblättern die Einheit Watt oft mit einem Index „p“** ergänzt, z.B. $P_{STC} = 400 \text{ Wp}$

ZHEJIANG HONGCHEN PHOTOVOLTAIC ENERGY Co., Ltd	
Model: HCP180D-24	
Rated Maximum Power (Pmax)	180W
Voltage at Pmax (Vmp)	36.4V
Current at Pmax (Imp)	4.95A
Open-Circuit Voltage (Voc)	44.2V
Short-Circuit Current (Isc)	5.13A
Tolerance	-0/+5W
Nominal Operating Cell Temp(NOCT)	45°C
Maximum System Voltage	1000VDC
Maximum Series Fuse Rating	15A
Operating Temperature	-40°C to +85°C
Protection Class	Class A
Cell Technology	Mono-Si
Weight(kg)	15.5
Dimension(mm)	1580×808×45
All technical data at standard test condition AM1.5 E=1000W/m ² Tc=25°C	
ADD: Hongchen photovoltaic industry park Anhus town, Zhujia, Zhejiang TEL: (+86)0575-87547388 FAX: (+86)0575-87543388	

Leistungsangaben als Aufkleber auf der Rückseite eines PV-Moduls.

Verschattung und „Bypassdioden“

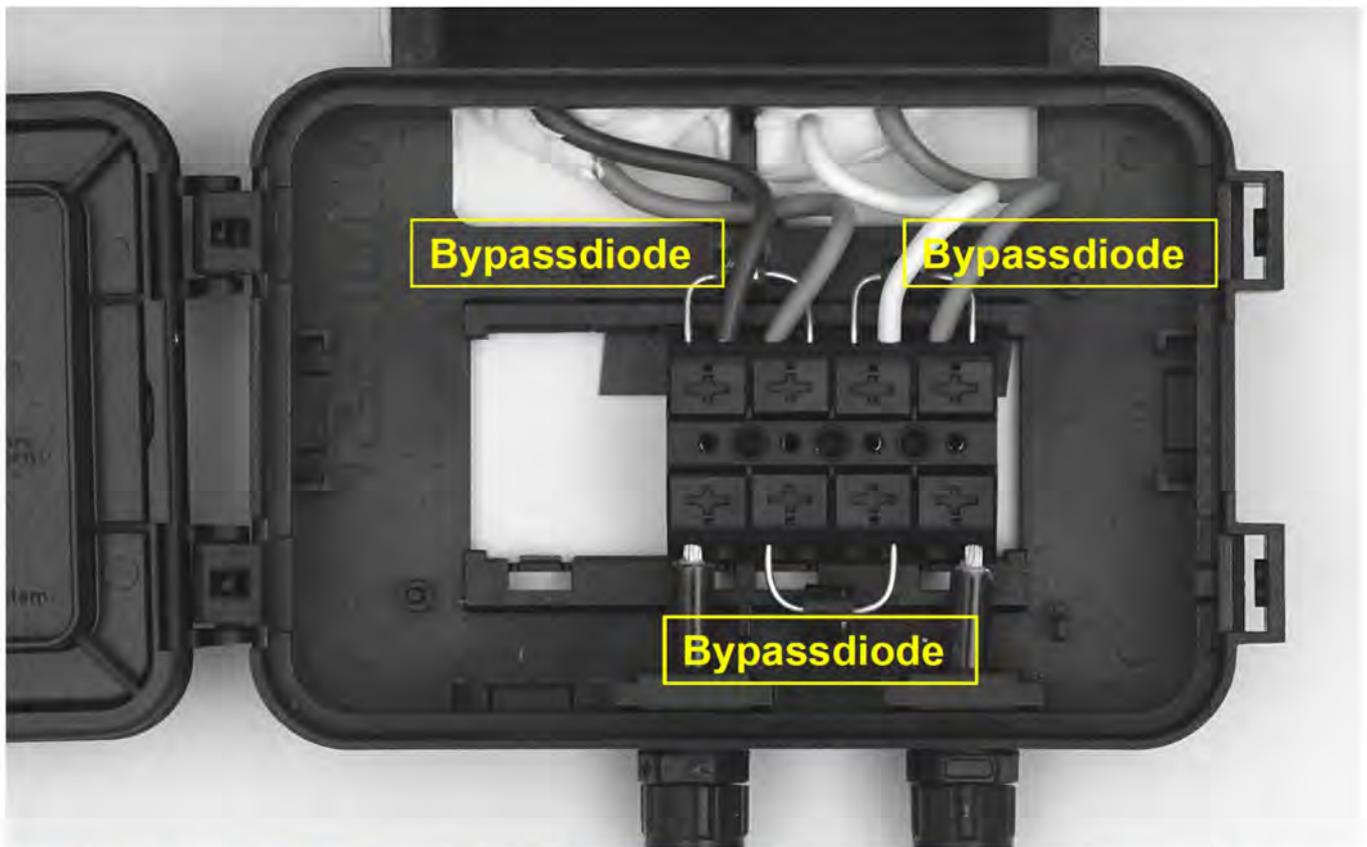


Abbildung 9: Geöffnete Terminalbox eines PV-Moduls mit 3 Bypassdioden (Bildquelle: Stefan Krauter). Da im PV-Modul alle Solarzellen in Reihe geschaltet sind, bestimmt die Solarzelle mit dem kleinsten Strom den Gesamtstrom - ähnlich wie bei einer Eisenkette die mögliche Belastung durch das schwächste Kettenmitglied bestimmt wird.

Die Reduktion des Stromes einer Solarzelle kann zum Beispiel durch einen Schatten (z.B. durch Geländer, Antenne, Pflanzen, Balkonbrüstung) geschehen. Die Gesamtleistung des PV-Moduls fällt bei teilweiser Beschattung überproportional zur beschatteten Fläche.

Zwar werden im Anschlusskasten („Terminalbox“) des Moduls sogenannte „Bypassdioden“ eingebaut, die den Strom teilweise umleiten und den Effekt etwas mindern können, trotzdem sollte man eine Verschattung möglichst vermeiden.

MC4 Stecker

Heutzutage sind am Solarmodul zwei Kabel angebracht, an deren Ende sich ein Stecker und eine Buchse befinden.

Meist ist dies ein sogenannter „MC4“-Stecker und eine entsprechende Buchse.

Dabei steht „MC“ für die Schweizer Firma „Multi Contact“ (inzwischen: „Stäubli“), welche diesen inoffiziellen Standard gesetzt hat.

Die „4“ steht für die Steckverbindung der vierten Generation.

Die Steckverbindungen sind **berührungssicher**, d.h. eine Isolationshülse verhindert die Berührung der Kontakte mit dem Finger.

Sie lassen sich leicht zusammenstecken, aber nur schwer wieder trennen („snap-in“). Dies ist so ge-

baut, weil MC4-Stecker ursprünglich für Großanlagen entwickelt wurden, wo es hohe Spannungen (bis zu 1.500 V) gibt und die Anlagen zwar schnell aufgebaut werden müssen, aber erst nach 20 bis 30 Jahren wieder abgebaut werden. In diesem Zeitraum sollten die Steckverbinder trotz Wind und Wetter kontaktsicher und dicht zusammenhalten.

Oftmals findet man Nachbauten, also Kopien dieser MC4-Steckverbindungen an PV-Modulen und Wechselrichtern. Meist sind diese gut brauchbar, teilweise kann es aber zu mangelhaften Kontakten kommen, vor allem wenn die Kopien voneinander abweichen.

D.h. wenn schon MC4-Kopien, dann sollten diese wenigstens von demselben Hersteller sein.



Eignung und Dauerhaftigkeit von PV-Modulen

Man sollte beim Kauf darauf achten, dass die PV-Module durch die Norm IEC 61215 zertifiziert wurden.

Für diese Norm wurden umfangreiche thermische, elektrische und mechanische Tests durchgeführt. Damit werden u.a. Hagelschlag, hohe Schnee- und Windlasten, Temperaturschwankungen zwischen -40°C und +85°C und Überspannungen simuliert.

Wenn die STC-Leistung (siehe: "Leistungsangaben") nach allen Tests um mehr als 8% abgefallen ist, ist das Modul durchgefallen.

Achtung: Teilweise werden IEC 61215-Zertifizierungen gefälscht, eine Überprüfung auf der Webseite des angegebenen Zertifizierers, des „Certification Body“ (z.B. TÜV Rheinland, TÜV Süd, TÜV Nord, VDE, Intertek, KIBA) verschafft Sicherheit.

Dazu kann man zunächst auf der Webseite <https://www.dakks.de/en/accredited-bodies-search.html> oder National Certification Bodies | IECCE (<https://www.iecee.org/members/national-certification-bodies>) nachschauen, ob ein Zertifizierer überhaupt ein zugelassenes Prüflabor (nach ISO/IEC 17025) hat und zur Prüfung von Solarmodulen zugelassen ist.

Dann sollte auf der Webseite des Zertifizierers bei Eingabe der Zertifikatsnummer einsehbar sein, ob es sich um ein gültiges Zertifikat des Modulherstellers handelt. Leider ist das nur ungenügend umgesetzt, denn man muss dann eine E-Mail an den Zertifizierer schicken und hoffen, dass dieser bald antwortet. Hier besteht erheblicher Verbesserungsbedarf.

Neben der Norm für Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit gibt es noch die Norm IEC 61730, bei der die Betriebssicherheit im Vordergrund steht. Dabei werden Tests u.a. zum Isolationsschutz und zur Feuerfestigkeit durchgeführt.



Abb. 10 Ein Zertifikat vom TÜV-Süd. Die Einheit nach der geprüft wurde ist nicht ersichtlich.

Wichtig beim Kauf von weiteren Komponenten wie Wechselrichter:

Wenn es kalt wird, liegt die Spannung eines Solarmoduls etwas höher als die Nennspannung bei 25°C Zelltemperatur aus dem Datenblatt.

Bei normalen Siliziumsolarmodulen liegt die Spannungszunahme bei etwa 4 bis 5% pro 10 Grad Temperaturabsenkung. Dabei ist es wichtig, die Leerlaufspannung als Bemessungsgröße zu wählen, weil im schlimmsten Fall der MPPT langsam reagiert, so dass eine Zeit lang die Leerlaufspannung am Wechselrichtereingang anliegt.

Beispiel: Bei Sonnenaufgang nach einer sehr kalten Winternacht kann ein Solarmodul -20°C kalt sein, dann ergibt sich für das Solarmodul, das normalerweise eine Nennleerlaufspannung (STC, d.h. bei 25°C Zelltemperatur) von $U_{L(STC)} = 40 \text{ V}$ hat, eine aktuelle Leerlaufspannung von

$$U_L(-20^\circ\text{C}) = 40 \text{ V} (1 - \Delta T \cdot TK_U) = 40 \text{ V} (1 + 45 \text{ K} \cdot 0,0045 /\text{K}) = 40 \text{ V} \cdot 1,2025 = 48,1 \text{ V}$$

Dabei ist ΔT die Temperaturdifferenz zu STC (d.h. 20°C) und TK_U der Temperaturkoeffizient für die relative Spannung (hier typischerweise: -0,45%/K).

Weil der Wechselrichter zerstört werden kann, wenn seine maximale Eingangsspannung überschritten wird, ist es notwendig, die maximal mögliche PV-Ausgangsspannung auch bei Extrembedingungen zu prüfen: Dies ist die Leerlaufspannung U_L bei den niedrigsten Temperaturen, die bei Tageslicht auftreten können

Kosten von PV-Modulen

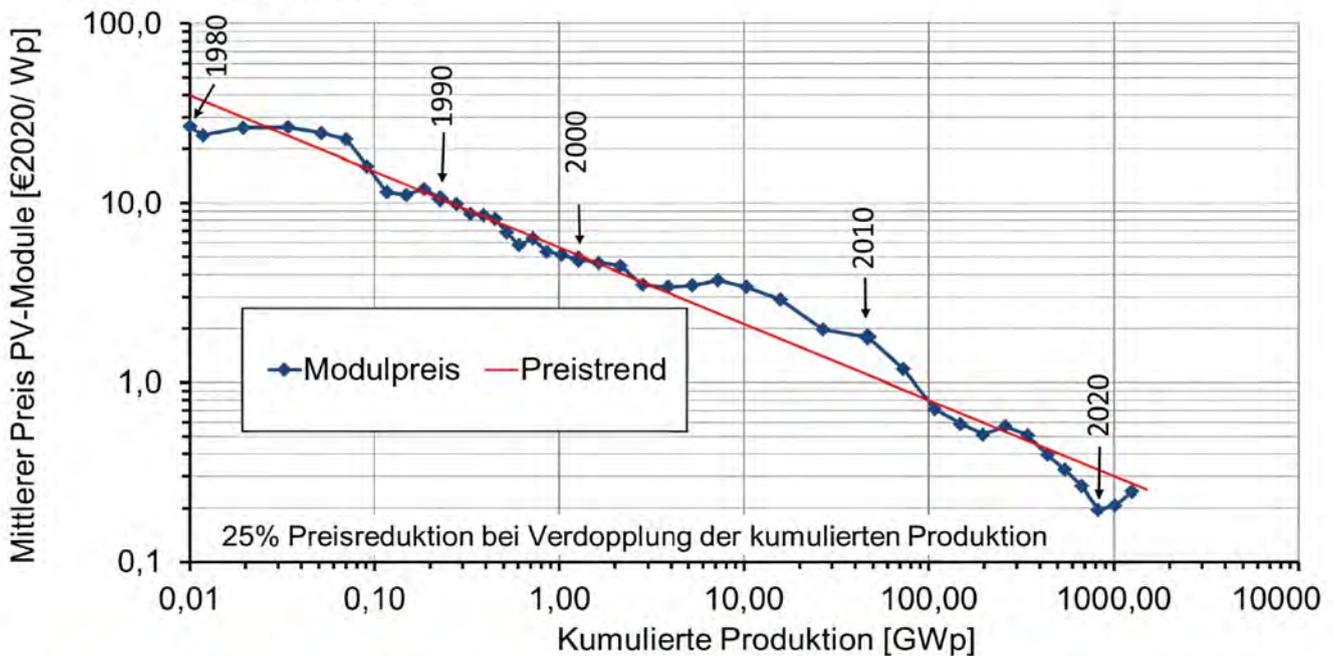


Abbildung 11: Entwicklung der Preise von Solarmodulen von 1980 (ca. 25 €/Wp) bis 2022 (ca. 0,25 €/Wp) als Funktion der insgesamt installierten PV-Leistung (Quelle: Fraunhofer ISE 2023). Die Preise in der Abbildung sind Fabrikpreise (Großabnehmer, ohne Umsatzsteuer und Transport). Im Einzelhandel sind die Module etwa um die Hälfte teurer. Das liegt am Transport, der Aufbewahrung und einer Marge für unter Umständen mehrere Zwischenhändler.

Die Stromerzeugung mit Solarmodulen war in den 80er und 90er Jahren die teuerste Form der Stromerzeugung und wurde weitgehend nur zur Versorgung von Satelliten eingesetzt.

Inzwischen ist PV meist die günstigste Möglichkeit, Strom zu erzeugen.

In manchen Ländern ist sie bei Großprojekten sogar die günstigste Form, um überhaupt Energie bereitzustellen - d.h. nicht nur Strom, sondern auch thermische Energie.

Um Solarmodule unterschiedlicher Leistungen vergleichen zu können, verwendet man meist die spezifischen Kosten in Euro je Watt elektrische Ausgangsleistung, wobei sich die Leistung auf die Standardprüfbedingungen (STC) bezieht. D.h. bei einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m², senkrechter Bestrahlung, einem Spektrum von AM 1,5 (das ist das Lichtspektrum des Sonnenlichts, wenn die Sonne ca. 42° über dem Horizont steht) und einer Betriebstemperatur von 25°C.

In Abbildung 11 ist die Preisentwicklung von Solarmodulen abgebildet (Fabrikpreise ohne Mehrwertsteuer und Transport). Da die Entwicklung ziemlich drastisch verlief (Preisreduktion auf 1/100 des Ursprungspreises), ist in der Grafik eine logarithmische Darstellung gezeigt.

Andernfalls könnte man über die letzten 15 Jahre nicht viel erkennen, weil die Kurve fast mit der x-Achse verschmolzen wäre.

Die x-Achse zeigt die insgesamt installierte PV-Kapazität aller jemals installierten Solarmodule. Man erkennt daraus, dass bei einer Verdopplung der installierten PV-Leistung (unabhängig von der Zeit) die Preise um ca. 25% sanken.



Solarmodule verstehen

Vor- und Nachteile verschiedener Solarmodule

In diesem Abschnitt wollen wir ein paar typische Begriffe erklären.

Dinge wie Busbars, Halbzellen, IBC, TOPCon oder PERC. Dies soll einen Überblick bieten und den Kauf erleichtern. Zudem ist es auch technisch interessant: Denn **bei PV-Modulen gibt es eine beachtliche technologische Entwicklung.**

Höhere Anzahl von „Bus-Bars“ bzw. Zellverbindern

Eine Solarzelle hat normalerweise ein Kontaktgitter, das gleichmäßig den Strom der Solarzelle über die Fläche einsammelt.

Zum **Weitertransport des Stromes zur nächsten Solarzelle (Serienschaltung!)** werden sogenannte **„Bus-Bars“ eingesetzt**, die den gesammelten Strom weiterleiten.

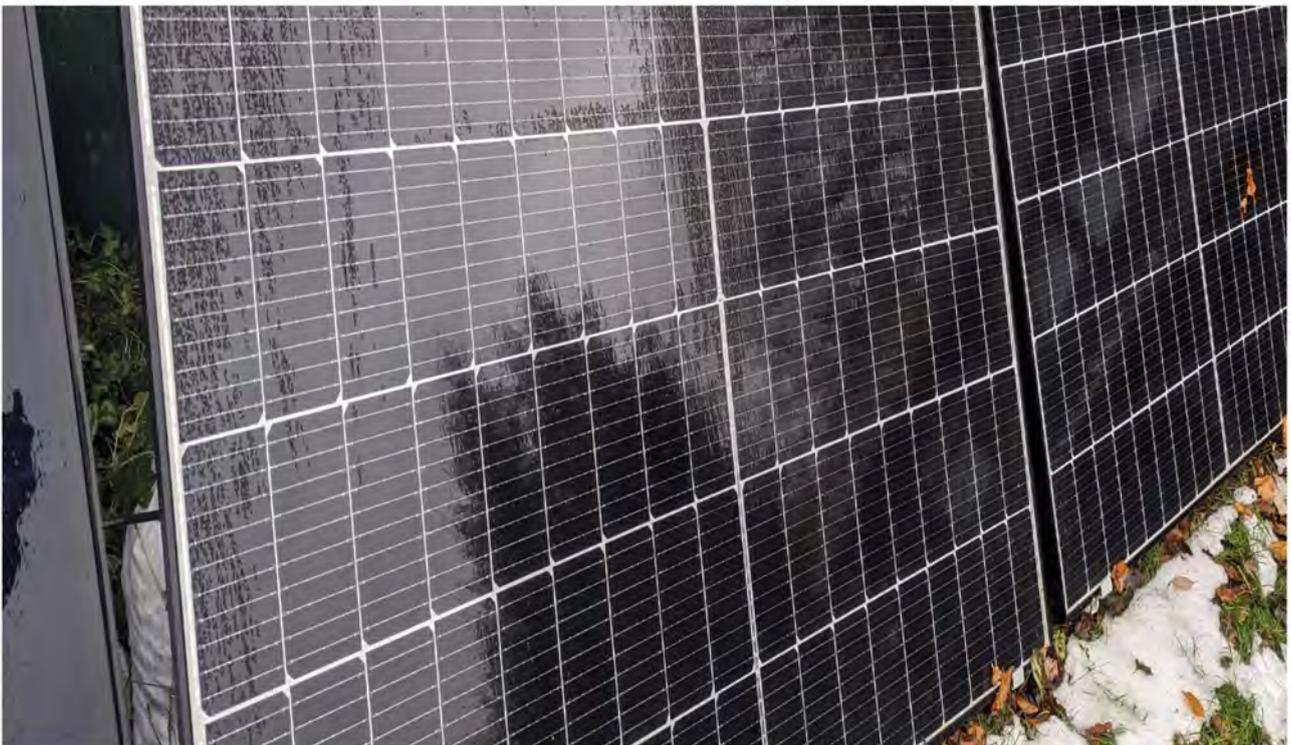


Abbildung 12: Zwei Halbzellenmodule.

Halbzellenmodule

Halbzellenmodule sind Photovoltaikmodule, die aus halbierten Solarzellen bestehen.

Dabei sind Halbzellen **ganz normale Solarzellen, die nach der Produktion in zwei Hälften** geteilt werden.

Statt **60 Solarzellen hat ein Modul dann 120 Zellen** (oder bei ehemals 72 Zellen dann 144 Zellen) - bei gleichbleibender Modulgröße.

Die Zellen werden in Reihe geschaltet, wodurch sich der Strom für diesen Solarzellenstrang (oder -string) halbiert und die Spannung verdoppelt.

Eigentlich müsste sich dann die Spannung des gesamten Solarmoduls durch die Halbzellen auch verdoppeln, dies wird aber **durch die Parallelschaltung von jeweils 2 Solarzellensträngen unterbunden**, so dass ein Halbzellenmodul final ähnliche elektrische Eigenschaften aufweist wie

ein Standardmodul. Analog kann man dies auch mit Drittel- und Viertelzellen machen.

Weshalb treibt man diesen Aufwand?

Halbzellenmodule bieten eine **Reihe von Vorteilen** gegenüber Vollzellenmodulen:

Erhöhte Spannung und reduzierter Strom: Durch den reduzierten Strom ist der Spannungsabfall am parasitären Serienwiderstand R_s einer Solarzelle (siehe Abbildung 2) geringer.

Dadurch geht weniger Leistung durch Kontaktgitter, Zellverbinder, Anschlüsse und Kabel verloren: Der Wirkungsgrad und die Leistung des Solarmoduls steigen etwas.

Etwas **besseres Verhalten bei Verschattung:** Wenn nur ein Strang der Parallelschaltung aus 2 (oder 3 bei Drittelzellen oder 4 bei Viertelzellen)

Solarmodule verstehen

In den Anfangszeiten der Photovoltaik (die Zellen hatten nur ca. 1-2 A) gab es nur einen Bus-Bar, dann zwei bis vier (bis 10 A). Inzwischen gibt es Zellen mit bis zu 16 Bus-Bars. Der einzelne Zellverbinder hat dabei aber einen geringeren Querschnitt, da er nur einen geringeren Strom transportieren muss.

Die Vorteile: Der unerwünschte Kontakt- und Leitungswiderstand R_s (siehe Abbildung 2) wird re-

duziert. Darüber hinaus können die Zellverbinder wegen des geringeren Querschnitts rund und nicht flach ausgeführt werden.

Dies reduziert die Abschattung der einfallenden Sonnenstrahlen durch die Kontaktoberfläche und erhöht den Strom. Insgesamt verringern sich die Verluste und der Wirkungsgrad steigt etwas.



Strängen verschattet wird, wird nicht der gesamte Strom entsprechend der Verschattung reduziert – wie beim Standardmodul, sondern nur etwa die Hälfte (oder ein Drittel bei Drittel- und ein Viertel bei Viertelzellen).

Zusätzlich spielen die normalerweise serienmäßig in der Anschlussdose eingebauten Bypassdioden eine Rolle, so dass die Verlustminderung durch die Halbzellen etwas geringer ausfällt als erwartet. **Prinzipiell sollte man eine Verschattung stets vermeiden.**

Etwas **geringere Wärmeentwicklung**: Da die Verluste über R_s etwas geringer sind und der Wirkungsgrad etwas zunimmt, sind auch die Zelltemperaturen geringer. Dieser Effekt ist aber klein und sollte nicht überbewertet werden.

Als **Nachteile sind die etwas höhere mechanische Empfindlichkeit** zu nennen. Wenn das Modul nach IEC 61215 geprüft wurde, dürfte sich dies aber nicht bemerkbar machen.

PERC Solarzelle

Eine PERC-Solarzelle, kurz für "Passivated Emitter and Rear Cell", ist eine Art von Solarzelle, die effizienter Sonnenlicht in Strom umwandelt als herkömmliche Solarzellen. Das Besondere an ihr ist eine zusätzliche Schicht auf der Rückseite der Zelle. Die hat zwei Funktionen:

Reflexion: Sie reflektiert das Licht, das durch die Zelle hindurchgegangen ist, zurück in die Zelle. Dadurch hat das Licht eine zweite Chance, absorbiert zu werden und in Strom umgewandelt zu werden.

Passivierung: Sie verringert den Verlust von elektrischer Ladung. In Solarzellen entstehen oft kleine Bereiche, wo Ladung verloren gehen kann. Die zusätzliche Schicht auf der Rückseite der PERC-Zelle hilft, diesen Verlust zu reduzieren.

Zusammengefasst ermöglichen diese Verbesserungen der PERC-Solarzellen, **mehr Strom aus der gleichen Menge Sonnenlicht zu generieren** als herkömmliche Solarzellen.

Der **Wirkungsgrad** von aktuellen PERC Solarzellen liegt bei **22,5 bis 23,5 %**, d.h. knapp ein Viertel des einfallenden Sonnenlichts wird in elektrischen Strom umgewandelt.

IBC Module

IBC steht für „**Interdigitated Back Contact**“ und bezeichnet eine spezielle Art von PV-Modulen, bei denen alle elektrischen Kontakte auf der Rückseite der Zellen angebracht sind.

Das Fehlen von Elektroden auf der Vorderseite **reduziert die Verschattung** der Zellen und verbessert die Lichtaufnahme. Dadurch steigert man die Effizienz und **verbessert die Ästhetik** (homogenes Erscheinungsbild, da sie keine sichtbaren Kontaktstreifen auf der Vorderseite haben). IBC-Module gehören zu den **effizientesten auf dem Markt**, mit Wirkungsgraden, die meist über 20% liegen und in einigen Fällen sogar die 25%-Marke überschreiten können.

Die IBC-Technologie kann mit z.B. PERC oder auch TOPCon kombiniert werden, bzw. das eine hat nicht direkt etwas mit dem anderen zu tun.

Allerdings ist die **Produktion von IBC-Modulen technologisch anspruchsvoller**, was zu höheren Herstellungskosten führt. IBC-Module stellen eine High-End-Lösung im Bereich der Photovoltaik dar. Sie sind eine ideale Wahl für Projekte, bei denen es auf **höchste Effizienz, geringsten Platzbedarf und Ästhetik** ankommt.



Full-Black-Module

Bei **Full-Black-Modulen** sind sowohl die Rahmen als auch die Rückseitenfolie schwarz.

Üblicherweise sind diese weiß oder transparent. Das sieht oft ästhetischer aus, verursacht allerdings eine stärkere Aufheizung der Module, wodurch die **Leistung im Betrieb gegenüber Normal-Modulen etwas reduziert** wird (ca. 1%).



Bifaziale Module

Als „**bifazial**“ bezeichnet man Solarzellen, die sowohl mit der Vorderseite als auch mit der Rückseite Strom gewinnen können.

Gerade für Zäune oder Anwendungen an einem hellen Haus können diese Vorteile bringen. In der Regel hat die Rückseite etwa 80% der Kapazität der Vorderseite.



Hot-Spot-Free-Modul



Hotspot-Free PV-Module sind so konstruiert, dass sie die Entstehung von Hotspots verhindern.

Hotspots entstehen, wenn **eine Zelle im Modul beschattet wird oder defekt ist**, wodurch der Stromfluss des Solarzellenstrings (der Reihenschaltung von Solarzellen) an dieser Stelle unterbrochen wird.

Dadurch baut sich dort eine hohe Spannung auf, die zu **einem lokalen „Durchbrennen“ der beschatteten Solarzelle führt**. Die Zelle ist dann dauerhaft geschädigt.

Hotspots können verhindert werden, indem die Solarzelle die sich aufbauende Spannung abbaut. Dies kann durch **externe oder in die Zelle integrierte Bypassdioden geschehen**.

Die Bypassdioden liegen dann parallel zu einer Solarzelle (oder einem Solarzellenstring) an, die Diodenrichtung ist aber umgekehrt zur Diode der Solarzelle aus dem Ersatzschaltbild (siehe Kapitel: "Die Umwandlung solarer Einstrahlung in elektrischen Strom durch Photovoltaik" mit Abbildung 2).

Im Normalbetrieb der Solarzelle ist die Bypassdiode dann in Sperrrichtung, wodurch sie keinerlei Einfluss ausübt. **Wenn sich aber durch Beschattung eine umgekehrte Spannung an der Zelle (und damit auch an der Bypassdiode) aufbaut, leitet die Bypassdiode den Strom an der betreffenden Solarzelle (oder dem Solarzellenstring) vorbei.**

Um Kosten zu sparen, wird teilweise unreineres Basismaterial in der Solarzelle verwendet, wodurch Strom auch in Rückwärtsrichtung durchgelassen wird. Derartige Zellen haben ein schlechteres Schwachlichtverhalten, können dann aber „hot-spot-free“ angepriesen werden.

Diese Module eignen sich besonders für Installationen, bei denen **das Risiko von Verschattung besteht**, zum Beispiel bei komplexen Dachlayouts oder verschattenden Elementen (z.B. Gebäude, Bäume, Antennen).

Oftmals findet eine Verschattung (je nach Sonnenstand) nur zu einer bestimmten Tages- oder Jahreszeit statt. In kritischen Fällen empfiehlt sich eine **Schattenanalyse**: <https://www.volker-quaschnig.de/publis/schatt/index.php>

Leichtmodul

Diese Module zeichnen sich dadurch aus, dass **kein Glas, sondern Kunststoffe** oder Leichtmetalle zum Einsatz kommen.

Diese Module haben häufig Ösen am Rand und können mit Kabelbindern, mit Edelstahlkabelbindern, Industrieklettband oder anderen Verbindern aus witterungsresistentem Material leicht am Balkon befestigt werden.

Unklar ist bisher, wie lange diese Module halten. Sie wiegen in der Regel etwa 3 kg.



Farbige Module

Farbige Module erreicht man durch Modifikation der Anti-Reflexionsschicht auf der Solarzelle.

Normalerweise ist diese so dick, dass hauptsächlich das rote Licht geschluckt (Interferenzeffekt zur Reflexionsauslöschung) und das für die Silizium-Solarzelle weniger effiziente blaue Licht reflektiert wird - deshalb erscheint uns die Solarzelle blau, obwohl sie eigentlich silbern glänzend ist. Macht man die **Antireflexionsschicht (ARC) etwas dünner, so schluckt sie das blaue und reflektiert das rote Licht:**

Die Solarzelle erscheint rötlich, der Wirkungsgrad wird aber insgesamt etwas schlechter. Man kann durch Wahl der ARC-Schichtdicke so ziemlich jede Farberscheinung erzeugen.

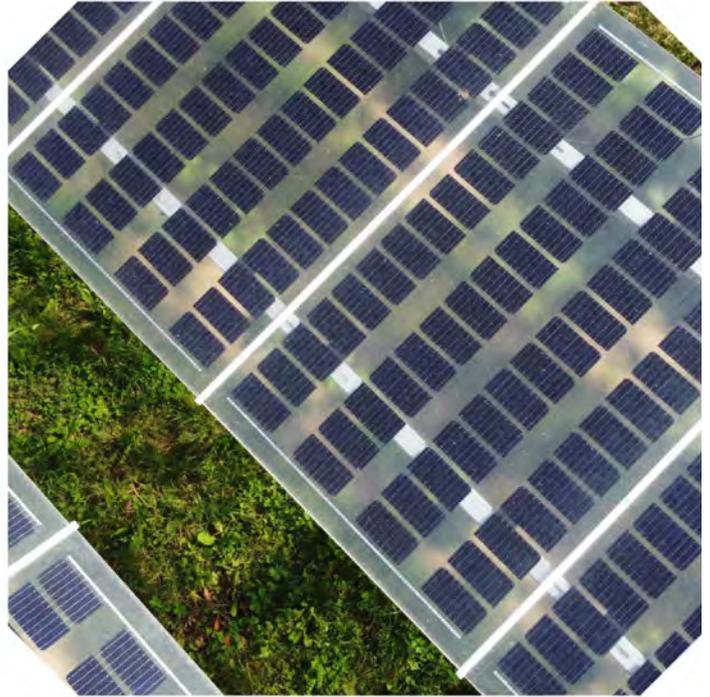
Schmetterlinge machen es genauso - durch unterschiedliche ARC-Schichten und Rillen auf ihren Flügeln.

Idealerweise ist eine Solarzelle schwarz, das kann man aber nur durch aufwendige Strukturierung (Samt-Effekt) oder mehrere, unterschiedliche ARC-Schichten erreichen.

Nicht-blaue/schwarze Silizium-Solarzellen haben einen reduzierten Wirkungsgrad.

Die Stärke der Reduktion hängt auch von der gewählten Farbe ab.

Semi-Transparente-Module



Bei **semi-transparenten-Glas-Glas-Modulen** werden die **Zwischenräume zwischen den Solarzellen bewusst groß gelassen**. So erzielt man eine gewisse Lichtdurchlässigkeit. Das eignet sich besonders für (Terrassen-) **Dächer, etwa bei AgriPV** oder auch für **Balkone**.

Oben ein Beispiel einer AgriPV Nutzung, als Dach über Weinreben. Unten ein Beispiel als Balkonsolar direkt beim Bau in das Balkongeländer integriert. Diese bringen natürlich bei gleicher Größe weniger Leistung als ein Modul, das kein Licht durchlässt.



Alte Solarpanels weiter nutzen - Balkonkraftwerke aus alten Modulen

Kann man Solarpanels, die nach 20 Jahren vom Dach runterkommen, weil dort eine neue Anlage installiert wird, **weiter verwenden**, oder muss man sie wegwerfen?

Grundsätzlich: **Ja, das geht**. Solarpanels halten lang. Die Panels aus der ersten Solaranlage in Europa wurden nach 35 Jahren abgebaut - weil das Dach saniert werden musste. Drei Fünftel dieser Panels konnten weiter benutzt werden.

Sind die **Panels unbeschädigt**, kann man sie mit **einem Multimeter durchmessen**. Defekte Panels nimmt in haushaltsüblichen Mengen der örtliche Recyclinghof.

In der Regel muss der **Stecker durch einen neuen MC4 Stecker ersetzt werden**. Aber: Neue Solapaneln sind inzwischen so billig geworden, dass sich eine **Weiterverwendung sehr alter Panels nur lohnt, wenn man die alten geschenkt bekommt, Transport und Lagerung nahezu kostenfrei sind und man die Arbeitszeit nicht berechnet**.

Detailliert ist das nachzulesen in der Make 1/22, zum download unter:
<https://balkon.solar/make>

Im Internet gibt es Firmen, die gebrauchte Module, Rückläufer oder B-Ware geprüft zu günstigen Preisen anbieten. Die Panels haben meist schon 300 W und sind nicht 20 sondern eher 10 Jahre alt oder teils sogar neu.



Projekt

Photovoltaik auf dem Balkon

Wir zeigen wie aus alten Solarmodulen nach 20 Jahren Nutzung neue Balkon solargeräte werden.

von Sebastian Müller



Wechselrichter

Was macht ein Wechselrichter?



Abbildung 15: Mikrowechselrichter

Der Wechselrichter ist neben dem Solarmodul das Herzstück des Balkonkraftwerks. Es gibt viele verschiedene Modelle, die alle denselben Zweck erfüllen: Die hocheffiziente **Umwandlung des im Solarmodul erzeugten Gleichstroms in haushaltsverträglichen Wechselstrom**.

Die Auswahl des Wechselrichters ist ebenso entscheidend wie die der Module.

Es haben sich zwei grundlegend verschiedene Wechselrichter-Typen für Balkonkraftwerke am Markt etabliert: die gebräuchlicheren **Modul- bzw. Mikrowechselrichter** und die sogenannten **String-Wechselrichter**.



Abbildung 16: Stringwechselrichter (Bildquelle: Growatt)

Mikrowechselrichter oder Modulwechselrichter

Diese zwei Wechselrichter-Typen unterscheiden sich bereits äußerlich.

Ein **Mikrowechselrichter** ist wesentlich kleiner und schlichter als ein String-Wechselrichter, hat aber meist mehr Anschlüsse. Letzteres liegt unter anderem daran, dass er mit weiteren Mikrowechselrichtern **über ein Verbindungskabel** gekoppelt werden kann. Außerdem gibt es für jedes Modul ein eigenes Anschlusspaar.

Dies lässt auch einen Rückschluss auf das Innenleben zu, denn hinter jedem Anschluss für ein Solarmodul verbirgt sich jeweils ein eigener sogenannter **“Maximum Power Point“- oder kurz “MPP“-Tracker/Regler**.

Da ein Mikrowechselrichter, sofern er für mehrere Module ausgelegt ist, **für jedes Modul einen eigenen MPP-Regler hat**, können etwa bei einem Balkonkraftwerk mit zwei Modulen diese **in verschiedene Himmelsrichtungen** ausgerichtet werden, etwa eines nach Südosten und eines nach Südwesten.

Das hat den Vorteil, dass diese sich im Laufe des Tages mit ihrer jeweiligen Spitzenleistung ablösen und so den Grundverbrauch im Haushalt über ei-

nen längeren Zeitraum abdecken können.

Zudem erzeugen sie so zur Mittagszeit weniger starke Überschüsse. Dies kann zwar einen etwas geringeren Gesamtertrag bedeuten, führt allerdings zugleich in den meisten Fällen zu einer erhöhten Eigenverbrauchsquote und damit zu höherer Ersparnis.

MPP-Tracker

Der MPP-Regler sorgt dafür, dass, abhängig von Außentemperatur, Art der Solarzelle und Einstrahlungsintensität, immer das Maximum an Leistung aus den Modulen gezogen werden kann. Das funktioniert über eine adaptive Anpassung der Sollwerte für die Spannung durch einen Mikrocontroller.

Sorgt etwa die Mittagssonne für besonders hohe Stromstärke, setzt dieser die Spannung so lange einen Schritt höher, wie dies zu einer Erhöhung der Leistung führt.

Nimmt die Leistung bei einem Spannungsschritt wieder ab, kehrt er auf den vorherigen Spannungswert zurück, den **“Maximum Power Point“**.

Zieht ein Schatten über das Modul oder geht die Sonne unter, sinkt die Stromstärke und der Wechselrichter regelt die Spannung wieder herunter, um im MPP zu bleiben.

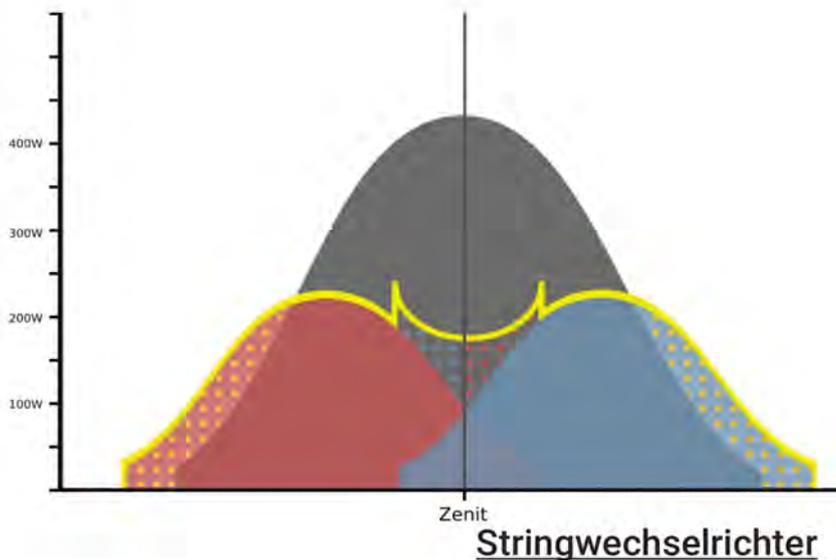


Abbildung 18 links: Idealisierte Darstellung der Ertragskurve bei Südost/Südwest-Aufständigung im Frühling. Grau=Südausrichtung im Vergleich (Bildquelle: Christian Ofenheusele).

Stringwechselrichter hingegen sind kleinere Versionen der großen Wechselrichter, die in erster Linie bei Photovoltaikanlagen auf dem Dach verwendet werden.

Hier ist jeweils nur ein Anschlusspaar für Solarkabel vorhanden und damit auch nur ein MPP-Regler. Man kann jedoch auch hier mehrere Solarmodule anschließen.

Dafür werden diese zu einem Strang oder "String" zusammengesteckt. Dies erfolgt "in Reihe", indem das Plus-Kabel des einen Moduls mit dem Minus-Kabel des anderen verbunden wird.

Nur der Anfangs- und Schlussstecker wird dann wieder mit dem Wechselrichter verbunden. Durch die Reihenschaltung summiert sich die Spannung der einzelnen Module.

Während das einen Mikrowechselrichter zerstören würde, ist es für String-Wechselrichter kein Problem. Diese vertragen mitunter sogar die

Spannung von drei klassischen Modulen und könnten damit Leistungen von über 1 kW erzeugen.

Das erklärt auch, warum sie insgesamt wesentlich größer sind und ein raumgreifenderes Temperaturmanagement benötigen. Allerdings sind natürlich auch diese Wechselrichter netzseitig auf die aktuellen Leistungsgrenzen für die Direkteinspeisung in den Haushalt gedrosselt.

Neben der Größe ist der klare Nachteil der String-Wechselrichter nun selbsterklärend: Ohne separates MPP-Tracking können die Module nur einheitlich ausgerichtet werden.

Liegt auch nur eines der Module im Schatten, ist das so als würde man auf einen Gartenschlauch treten: Der Druck des Wasserhahns (Sonne auf den anderen Modulen) kann noch so hoch sein, es kommt nichts mehr durch.

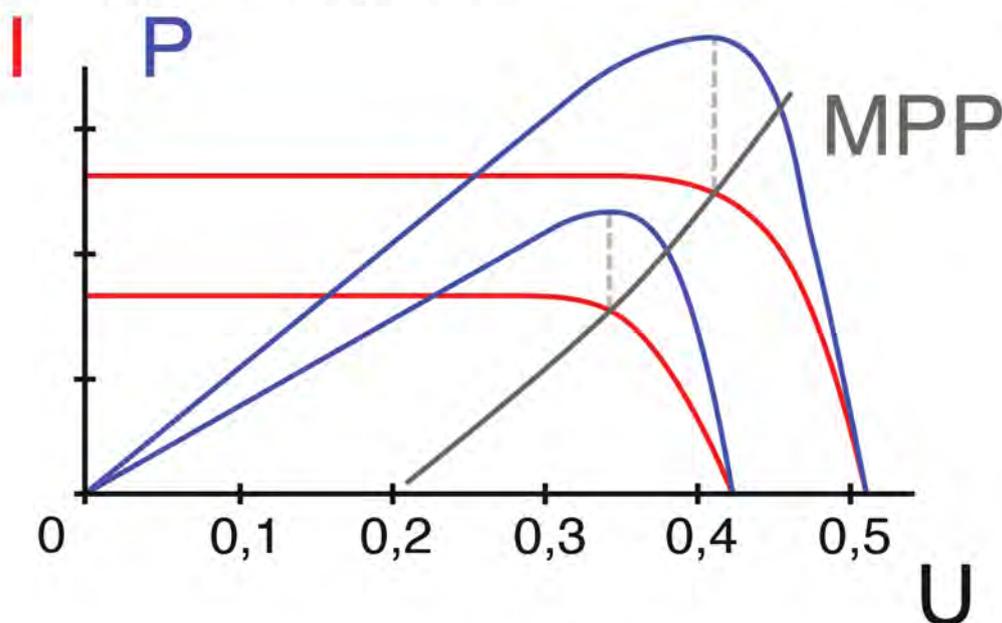


Abbildung 17: Linie mit MPPs, Schema des Maximum Power Point Trackings, MPPT. I: Stromstärke, U: Spannung, P: Leistung (Bildquelle: Stündle, Public domain, via Wikimedia Commons).

Sicherheitsmechanismen

Neben dem Finden des Maximum Power Points und der Umwandlung des Sonnenstroms in eine möglichst saubere Wechselstrom-Sinuskurve zur Einspeisung muss der Wechselrichter aber auch noch einige weitere wichtige Funktionen erfüllen. Hierzu gehören etwa die Inselnetzerkennung und die automatische Abschaltung bei einer Trennung vom Netz.

Als Inselnetze werden Bereiche des Stromnetzes bezeichnet, die auch bei Netzausfall weiter arbeiten. Solange bei einem Stromausfall oder einer gezielten Abschaltung des Netzes oder Hausstroms - etwa zu Wartungsarbeiten - alle Spannungsquellen von Netz getrennt werden, Solarmodule etwa automatisch auf einen Notstrom-Speicher umgeschaltet werden, ist gegen ihren Weiterbetrieb nichts zu sagen. Der Wechselrichter allerdings darf dann nicht mehr arbeiten, denn dies könnte zu Schäden oder Verletzungen führen - etwa beim Techniker, der besagte Wartungsarbeiten durchführt.

Daher muss der Wechselrichter bei Spannungswegfall sofort ausschalten. Wenn nun aber mehrere Wechselrichter am selben Netzabschnitt in Betrieb sind, könnten diese sich gegenseitig vorgaukeln, es wäre noch Netz da und auf diese Weise ein gefährliches Inselnetz bilden.

Daher muss der Wechselrichter solche Netze erkennen und dennoch abschalten. Beide Funktionen sind im sogenannten "Netz- und Anlagen-" oder kurz "NA"-Schutz des Wechselrichters zusammengefasst.

Für die Eignung zum Betrieb am deutschen Stromnetz müssen alle Wechselrichter ein Zertifikat über das Vorhandensein dieses NA-Schutzes vorweisen. Auf das Vorliegen dieses Zertifikats ist daher beim Kauf unbedingt zu achten! Mitunter werden hier auch sogenannte Herstellererklärungen ausgestellt. Diese genügen jedoch nach aktuellem Stand nicht. Stattdessen sind reguläre Zertifikate von akkreditierten Prüfinstituten erforderlich.



(Links) Ein Wechselrichter des Herstellers Northern Electric mit zwei Anschlüssen für Solarmodule und zwei Maximum Power Point Trackern. Auch wenn von diesem Gerät aus verschiedenen Gründen (Isolationsschutz) eher abzuraten ist.



Abbildung 19: Zertifikat für den NA-Schutz eines Wechselrichters (Bildquelle: Hoymiles).

Speicher

Die Entwicklung beim Balkonkraftwerk zeigt deutlich in Richtung Überschuss: Modulleistungen und Überbelegungskapazitäten der Wechselrichter steigen, die Preise für Solartechnik fallen kontinuierlich.

Das bedeutet: Die **Überschüsse werden größer und damit wird die Speicherung von Sonnenenergie immer interessanter.**

Dennoch sei vorweg gesagt, dass aufgrund der verhältnismäßig geringen Leistung eines Balkonkraftwerks und der noch immer recht hohen Speicherkosten ein Energiespeicher fast immer die **Amortisierungszeit des Gesamtsystems verlängert.**

Mit Speicher-Rechnern wie dem [Stecker-Solar-Simulator der HTW Berlin](#) oder dem [pvtool-Rechner von akkudoktor.net](#) kann man dies für den eigenen Anwendungsfall näherungsweise nachrechnen.

Da viele jedoch nicht nur aus finanziellen Gründen an der Speicherung von PV-Strom interessiert sind, finden sich bereits mehrere interessante Speichersysteme fürs Balkonkraftwerk auf dem Markt. Diese unterscheiden sich zum Teil jedoch gravierend, etwa in Hinsicht auf Kapazität, Anschluss, Notstromfähigkeit, aber auch in anderen Punkten.



Pv Tools

<https://pvtools.sektorsonne.de/>



Stecker-Solar-Simulator der HTW

<https://solar.htw-berlin.de/rechner/stecker-solar-simulator/>



Kommerzielle Speichersysteme für Balkonsolaranlagen



SOLMATE von EET

Bereits vor einigen Jahren hat EET aus Graz seinen SOLMATE Speicher erfolgreich im Markt etabliert. Das Unternehmen bietet auch eine Auswahl an hochwertigen Balkonkraftwerken an. SOLMATE ist ein Speicher mit integriertem Netz- und Inselwechselrichter und damit auch notstromfähig.

Die erste Version hatte eine Kapazität von unter 1 kWh, die aktuellen Modelle, die in 2024 verfügbar sein sollen, liegen bei 1,44 kWh. Die Steuerung der Einspeiseleistung erfolgt über eine Hochrechnung der auf der Anschlussphase gemessenen Impedanz.



Emily von Craftstrom

Craftstrom ist ein österreichisch-texanisches Startup. Sein 1 kWh-Speicher wird in Verbindung mit dem zusätzlich bereitgestellten Power Meter im Sicherungskasten zum hochintelligenten Energiespender. Er speist dann exakt verbrauchsgerecht die gespeicherte Energie ein. Emily ist zudem mit weiteren Speichereinheiten koppelbar und kommt so auf bis zu 8 kWh Kapazität. Der Speicher wird im Netzbetrieb nicht direkt mit Gleichstrom aus Solarmodulen geladen, sondern nimmt die Energie aus der Steckdose, die gerade vom Balkonkraftwerk erzeugt wird. Das funktioniert, da der ebenfalls von Craftstrom stammende Wechselrichter mit der Speichereinheit kommuniziert. Mit 70 V verträgt der Speicher im Inselbetrieb übrigens die höchste Spannung der verglichenen Modelle. Damit wäre potenziell sogar die Reihenschaltung von hocheffizienten Modulen möglich - etwa der Kunststoffmodule, die Craftstrom eigens dafür entwickelt hat.



Solarflow von Zendure

Das Solarflow-System vom Silicon-Valley Unternehmen Zendure geht einen anderen Weg. Die Steuerung des Speichers erfolgt über einen PVHub, der zwischen Modulen, Speicher und Wechselrichter sitzt. Die einzelne Speichereinheit verfügt über knapp 1 kWh Kapazität, kann aber durch Kopplung auf 3,84 kWh erweitert werden. Grundsätzlich kann die Einspeisung per App auf einen Fixwert zwischen 100 und 1.200 W eingestellt werden. Da der dahinterliegende Wechselrichter dann wieder 600 W (perspektivisch 800 W) daraus macht, sollte man es maximal bei diesem Wert belassen. Seit kurzem ist das System auch um SmartPlugs erweiterbar, welche Realverbräuche an den Speicher melden und von einer niedrigeren Fixleistung auf die tatsächlich gebrauchte Leistung hochregeln sollen. SolarFlow ist wasserdicht und daher uneingeschränkt für den Außeneinsatz geeignet.



TRIOS von der Sonnenrepublik

Eine weitere Entwicklung aus Deutschland ist TRIOS von der Sonnenrepublik aus Berlin. Das in schlichtem Weiß gehaltene Speichersystem ist teilweise an Powerstations orientiert. Daher ist es auch für Inselbetrieb und Notstrom gemacht und kann dank Griff einfach dahin getragen werden, wo es gebraucht wird. Zudem verfügt es über ein robustes Metallgehäuse, USB-Anschlüsse zum Laden von Smartphones und anderen Geräten und kann neben PV und Netz auch per Zigarettenanzünder-Anschluss im Auto geladen werden. Die Einspeisesteuerung erfolgt über selbst einpflegbare Lastprofile. Man kann dabei zwischen mehreren bereitgestellten Standardlastprofilen oder individuell erstellten Profilen wählen. Hervorzuheben ist auch, dass TRIOS "Made in Germany/EU" und die Sonnenrepublik ein deutscher Garantiegeber ist.



PowerStream von EcoFlow

Genau genommen ist PowerStream kein Speichersystem sondern ein Wechselrichter. Er ist aber auf die Verwendung mit allen solarladefähigen EcoFlow-Powerstations hin entwickelt worden und verwandelt selbige so in smarte Balkonkraftwerk-Speicher mit Kapazitäten von 0,25 kWh bis zu 25 kWh.

Für das Balkonkraftwerk empfiehlt sich natürlich eher eine passende Größe zwischen 1 und 3 kWh. Die Powerstations von EcoFlow bieten je nach Modell eine Vielzahl an Verwendungsmöglichkeiten und Anschlüssen.

Smart ist das System dadurch, dass mit Smart-Plugs der Strombedarf von Einzelverbrauchern an den PowerStream kommuniziert und seine Einspeiseleistung damit automatisiert gesteuert werden kann. Einige relevante Verbraucher wie etwa Herd und Backofen sind damit dann zwar nicht erfasst, aber der Grundverbrauch und potenziell alle Verbraucher an gewöhnlichen Steckdosen durchaus.



GreenSolar Plug & Play Balkonkraftwerk Batteriespeicher 2,2 kWh

Auch das österreichische Balkonsolar-Unternehmen GreenSolar hat mit dem Plug & Play Batteriespeicher 2,2 kWh eine eigene Lösung vorgelegt. Mit Platz für zwei Solarmodule à max. 500 Wp setzt er auf ein schlichtes, aber effektives Konzept.

Der Batteriespeicher kann mittels App-Monitoring gesteuert werden. Dabei kann man beide Module den Speicher laden lassen oder eines direkt zum Wechselrichter durchschleifen.

Auch die Ausgangsleitungen kann man separat ansteuern. Es kommt ein moderner LiFePo₄-Akku zum Einsatz. Die Betriebstemperatur wird mit 0 - 50° C angegeben.



Anker Solix

Nachdem EcoFlow vor kurzem bereits mit seinem Rückspeise-System "PowerStream" den Schritt zum Balkonsolar-Speicher gegangen war, hat dessen Wettbewerber Anker mit der Anker Solix Solarbank E1600 ein Gegenkonzept vorgelegt.

Anders als bei EcoFlow ist neben dem Speicher kein Zusatzgerät notwendig, allerdings kann man dafür aber auch keine bereits im Besitz befindlichen Powerstations verwenden. Vielmehr werden die Module (max. 2 x 400 W) direkt an den Speicher angeschlossen und dieser dann wiederum an den Wechselrichter.

Die Einspeiseleistung aus dem Akku wird per App festgelegt und ist - ebenfalls anders als bei EcoFlow - nicht verbrauchsabhängig steuerbar, sondern ein fest eingestellter Wert. Mit 1.600 kWh Kapazität und einem Preis um 1.000 EUR ist der LiFePo₄-Speicher dafür aber auch besonders günstig.



Daylight Eclipse

Besonders smart hingegen ist der "Eclipse"-Speicher von Daylight. Die Intelligenz des Systems beruht auf einem Energiemanagementsystem, das die verbrauchsangepasste Einspeisung auch ohne Energiemessgerät im Sicherungskasten ermöglichen soll. Details hierzu gibt es leider vorerst keine. Zudem bezieht es Wetterdaten mit ein, mit deren Hilfe auch für die Folgetage die optimale Speicher- menge vorausberechnet werden soll.

Mit einer Kapazität von 2.800 kWh und einer maximalen modulseitigen Eingangsleistung von 2x1.000Wp ist "Eclipse" ein echtes Hochleistungsgerät. Mit einer integrierten 230V-Steckdose und einem USB-Anschluss ist das Modell auch notstromfähig. Zehn Jahre Garantie und ein System für Rücknahme und Wiederverwertung von Altgeräten macht es zu einem noch spannenderen Produkt. Leider ist der Speicher noch nicht bestellbar und daher fehlen auch noch einige Eckdaten.

Interessenten können sich jedoch auf der Daylight-Webseite bereits für den Produktnewsletter eintragen und erfahren dann frühzeitig von Bestellmöglichkeiten.



Powerness M01

Auch Powerness, ein bereits seit über 10 Jahren aktiver und in den USA gegründeter Anbieter von Powerstations, hat mit den Balkonsolar-Speichern einen neuen Geschäftszweig für sich entdeckt. Der Powerness M01 Speicher kann einfach in ein bestehendes Balkonkraftwerk-System zwischen Modulen und Wechselrichter eingefügt werden.

Mit IP65 ist es für den Außenbereich geeignet und kann bis -20° betrieben werden. Es verfügt über einen LiFePo₄-Speicher mit einer Kapazität von 1,5 kWh. Der Hersteller gibt eine Lebensdauer von zuversichtlichen 6.000 Ladezyklen an.

Mit einer maximalen Eingangsspannung von 90 Volt könnten auch zwei Module in Reihe angeschlossen werden, auf den Abbildungen ist es allerdings immer nur eines. Besonders sicher ist das System dadurch, dass es eine Kapsel mit Feuerlöschgel enthält. So kann auch im - bei LiFePo₄ sehr unwahrscheinlichen - Brand der Batterie kein größerer Schaden entstehen.

Leider werden keine Angaben zur Leistungsregelung gemacht, daher liegt die Vermutung nahe, dass eine Fixleistung voreingestellt ist. Mehrere Händler verkaufen den Speicher unter eigenem Namen. Die Leistungsdaten sind allerdings immer gleich.



Maxxisun Maxxicharge

Maxxisun aus Leipzig bietet mit seinem Maxxicharge-System einen Balkonsolar-Speicher in drei verschiedenen Größen an. Davon dürften allerdings in den meisten Fällen nur die 1,5 und 3 kWh-Varianten für das Balkonkraftwerk sinnvoll sein. Den größten Speicher mit 5 kWh bekommt man nur mit großer Modulleistung regelmäßig und sinnvoll befüllt.

Dieser verfügt daher auch über 6 Anschlüsse für Module, während die kleineren Modelle lediglich 2 bzw 4 Anschlüsse vorweisen. Die Leistungsregelung des Systems übernimmt eine Steuerbox (Maxxicharge CCU), die mit einer Messeinrichtung für den Haushaltsverbrauch (Powerfox Poweropti Smart Meter oder Shelly 3 Phasen Messgerät) gekoppelt werden soll, um verbrauchsgenaue Einspeisung zu ermöglichen.

Das System soll mit allen gängigen Mikrowechselrichtern kompatibel sein. Der Vorverkauf für das Maxxicharge System hat bereits am 31.07.2023 begonnen.



JurSol Storage Mini 1,3 kWh

Jurasol aus Neumarkt in der Oberpfalz präsentiert einen eigenen Balkonsolar-Speicher. Der JurSol Storage Mini 1,3 kWh bildet eine Ausnahme unter den Speicherlösungen fürs Balkonkraftwerk, denn er ist von Hause aus mit einem integrierten Hybridwechselrichter ausgestattet, statt mit getrennten Insel- und Netzwechselrichtern. Eigentlich handelt es sich um den ASW0800/1250A-S Speicher von Solplanet, der hier jedoch von einem deutschen Fachunternehmen unter Eigennamen verkauft wird.

Der integrierte Hybridwechselrichter ist auf 600 W gedrosselt, kann aber per App auf 800 W erweitert werden. Das macht ihn nach aktueller Normenlage noch nicht vereinfacht anmeldbar. Bis zu 1.600 Wp, verteilt auf bis zu 4 Solarmodule, verträgt das System. Der fixe Output wird am Gerätedisplay oder per App eingestellt.

Die wichtigsten Eckdaten der hier vorgestellten Speicher finden sich in der folgenden Tabelle.

Modell	Hersteller	Kapazität	Batterietechnik	max. Einspeiseleistung	Input	Entladesteuerung	Netzwechselrichter	Notstrom/Inselanlage
Eclipse	Daylight Eco	2,8 kWh	LiFePo4	600/800W	Solar	Hochrechnung (keine genauen Angaben)	nein	-
Emily	Craftstrom	1,8 kWh	LiFePo4	300W	Solar, 230V	Realverbrauch (separater PowerMeter)	ja	ja
JurSol Storage Mini ASW0800	JuraSol / Solplanet	1,3 kWh	LiFePo4	600/800W	Solar, 230V	Fixleistung	ja	-
M01	Powernes	1,5 kWh	LiFePo4	1.200W (DC)	Solar	k.A.	nein	nein
Maxxicharge	Maxxisun	1,25; 2,5; 5 kWh	LiFePo4	1.800W (DC)	Solar	Realverbrauch (separater PowerMeter)	nein	nein
Minitower1	Soleis	1-2 kWh	LiFePo4	600W	Solar	Fixleistung (Regelung am Gerät)	nein	nein
Plug & Play Batteriespeicher	GreenSolar	2,2 kWh	LiFePo4	600W	Solar	Fixleistung	nein	nein
PowerStream	Ecoflow	0,25-25 kWh	Li-Ion/LiFePo4	600/800W	Solar, KFZ, 230V	Fixleistung+Realverbrauch (Smart-Plugs)	ja	ja
Solarflow	Zendure	0,36-3,84 kWh	LiFePo4	600/1.200W	Solar	Fixleistung+Realverbrauch (Smart-Plugs)	nein	nein
Solix	Anker	1,6 kWh	LiFePo4	600W	Solar	Fixleistung (per App, 0-800W)	nein	ja
SOLMATE	EET	1,44 kWh	LiFePo4	600/800W	Solar, 230V	Hochrechnung (Impedanzmessung)	ja	ja
TRIOS	Sonnenrepublik	1,1-4,4 kWh	LiFePo4	400/800W	Solar/KFZ, 230V	Lastprofile (voreingestellt und selbst einstellbar)	ja	ja

Die vollständige Tabelle mit allen Daten kann unter <https://machdeinenstrom.de/balkonkraftwerk-speicher-im-vergleich/> heruntergeladen werden.

Dieser Ratgeber richtet sich weniger an Bastler, deshalb verweisen wir hier auf Videos und weiteres Material zu diesem Thema.

DIY Speicher

SUN/Lumentree Wechselrichter mit Trucki2X + 12 V / 24 V Akku

Eine sehr beliebte Möglichkeit ist die Nutzung der Software: trucki-eu/Trucki2Shelly-Gateway in Verbindung mit einem Sun / Lumentree Wechselrichter: <https://github.com/trucki-eu/Trucki2Shelly-Gateway>

Offys Werkstatt und Der Kanal haben sehr gute Videos dazu gemacht:

→ <https://youtu.be/A3vaPTg7LwE?si=N-fJEUjmg00LZL>

→ <https://youtu.be/SNDrvWKNmys?si=koA0LeQCJLVdVzJx>

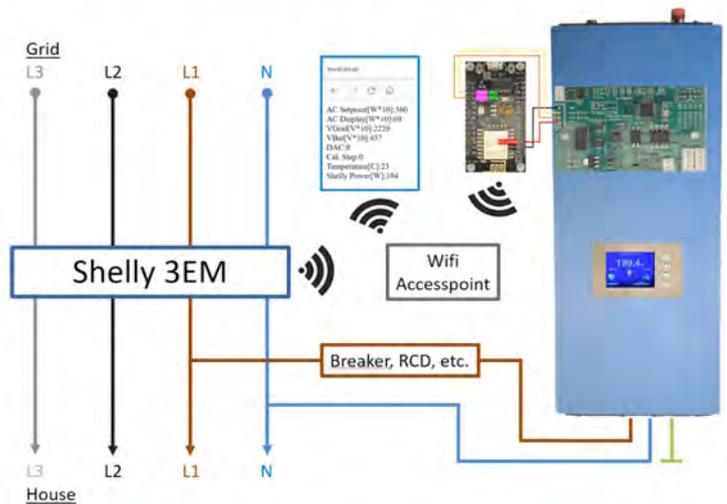
Steuerbaren DC DC-Wandler / AC-DC Regler zum Einspeisen nutzen:

→ <https://youtu.be/ZXHAXrJS9CU>

Passive Anbindung

Die passive Anbindung bedeutet, dass man die PV-Module direkt an den Akku hängt und dann an den Wechselrichter. Auch das kann funktionieren.

Das ist die einfachste und günstigste Option, allerdings bedarf es hier einer sehr genauen Auslegung der Komponenten. Der Vorteil: Man kann auch E-Bike Akkus dafür nutzen.



Das Trucki2Shelly Gateway liest Ihren Hausstromverbrauch von einem Energiezähler (z. B. Shelly 3EM) ab und begrenzt die Leistungsabgabe Ihres SUN-GTIL2-600/1000/2000 Solarwechselrichters auf Ihren tatsächlichen Hausverbrauch.



Planung & Aufbau



Balkonkraftwerke mit 800W - So ist der Stand WIRKLICH und so SICHER sind sie!

<https://youtu.be/Adehia8T3CA>

In diesem Abschnitt und Video geht es darum, woher die 600 W / 800 W Grenze kommt und was das mit Sicherheit zu tun hat.

600 W oder 800 W Balkonsolar - Warum diese Zahlen? Und ist das sicher?

Das Photovoltaik-Institut Berlin hat Berechnungen angestellt, um herauszufinden, inwiefern Balkonkraftwerke mit 600 Watt sicher sind oder ob es technische Bedenken gibt. Zumindest Teile dieser Untersuchung lassen sich auf Anlagen mit 800 W übertragen.

Es wurde z.B. berechnet, ab welchem Stromfluss welche Temperatur maximal erreicht werden kann. Außerdem wurden verschiedene Verlegearten verglichen, beispielsweise in starker Wärmedämmung oder offen an der Luft etc.

Von welchem Strom reden wir?

800 W entsprechen bei 230 V nur

$$I = P/U = 800 \text{ W} / 230 \text{ V} = 3,47 \text{ A}$$

Wenn eine Solaranlage Strom produziert, verbraucht man automatisch weniger Strom aus dem öffentlichen Netz.

Das hat einen interessanten Effekt auf die Haus-technik: **Am Leitungsschutzschalter wird der Stromfluss um etwa 3,47 Ampere reduziert.** Das bedeutet, der Schalter löst nicht aus, selbst wenn ein sehr starker Verbraucher hinzukommt. Die meisten Leitungsschutzschalter sind auf 16 Ampere ausgelegt. Das kann unter gewissen Umständen zum Problem werden.

Ein Leitungsschutzschalter löst nicht genau bei 16 Ampere aus. **Im Haushalt übliche Schalter reagieren meist erst bei einer Überlast vom 1,13- bis 1,45-fachen des Nennstroms, also zwischen 18,08 und 23,2 Ampere,** und das auch nicht sofort, sondern erst nach einer Stunde bei einer Umgebungstemperatur von 30°C. Das ist der thermische Schutz der Anlage.

Ein Kurzschlusschutz ist allerdings auch vorhanden.



Wenn ein Verbraucher sehr viel Last benötigt (durch die Glühbirne dargestellt), so kann es passieren, dass der Leitungsschutzschalter nicht auslöst, weil der Strom aus dem öffentlichen Netz um den Strom des Balkonkraftwerks reduziert wird.

Hier stellt sich die Frage: **Reichen die Leistungsreserven bei handelsüblichen Kabeln aus?**

In der genannten Untersuchung des Photovoltaik Instituts Berlin wurden unter anderem drei Szenarien (I_{max1} , I_{max2} , I_{max3}) betrachtet für eine Leitung in einer Wand mit starker thermischer Dämmung:

$$I_{max1} = 16,0 \text{ A} + I_{\text{Balkonsolar}}$$

$$I_{max2} = 16,0 \text{ A} * 1,13 + I_{\text{Balkonsolar}} = 18,1 \text{ A} + I_{\text{Balkonsolar}}$$

$$I_{max3} = 16,0 \text{ A} * 1,45 + I_{\text{Balkonsolar}} = 23,2 \text{ A} + I_{\text{Balkonsolar}}$$

Der Strom vom Balkonsolargerät variiert je nach Modul- und Wechselrichterleistung. Im Folgenden berechnen wir die Szenarien für 600 und 800 Watt.

Wie sieht es konkret mit 600 W d.h.

$$\text{einem } I_{\text{Balkonsolar}} \text{ bei } = 2,6 \text{ A aus?}$$

$$I_{max1} = 16,0 \text{ A} + 2,6 \text{ A} = 18,6 \text{ A}$$

$$I_{max2} = 18,08 \text{ A} + 2,6 \text{ A} = 20,68 \text{ A}$$

$$I_{max3} = 23,2 \text{ A} + 2,6 \text{ A} = 25,8 \text{ A}$$

Wenn Szenario 3 überstanden wird, werden die anderen auch in Ordnung sein. Das heißt konkret: Es gibt einen Verbraucher an der Leitung, der nicht nur 5336 Watt aus dem öffentlichen Netz zieht, sondern zusätzlich die 600 Watt von der Balkonsolaranlage bereitgestellt bekommt.

Also insgesamt 5936 Watt, was sehr viel ist. **Die Leitung in der Wand ist in diesem Szenario sehr gut gedämmt und es würde trotzdem keine kritische Temperatur erreicht.**

Wie sieht es mit 800 W aus?

Die drei Fälle sehen mit 800 W, d.h. bei einem $I_{\text{Balkonsolar}} = 3,48 \text{ A}$ folgendermaßen aus:

$$\begin{aligned} I_{\text{max1}} &= 16,0 \text{ A} + 3,48 \text{ A} = 19,48 \text{ A} \\ I_{\text{max2}} &= 18,08 \text{ A} + 3,48 \text{ A} = 21,56 \text{ A} \\ I_{\text{max3}} &= 23,2 \text{ A} + 3,48 \text{ A} = 26,68 \text{ A} \end{aligned}$$

In den Szenarien 1 und 2 passiert ebenfalls nichts, weil sie unter den Bedingungen von Szenario 3 mit 600 Watt liegen.

Aber wie sieht es bei Szenario 3 aus, wenn man 0,88 Ampere mehr hat als bei der 600-Watt-Version?

Laut Berechnungen des Photovoltaik Instituts Berlin könnten dort Leitertemperaturen von ungefähr 151 - 152°C entstehen. Die Grenze für PVC-Material liegt bei 150°C.

Zum Vergleich:
Bei 600 Watt liegt man bei etwa 148°C.

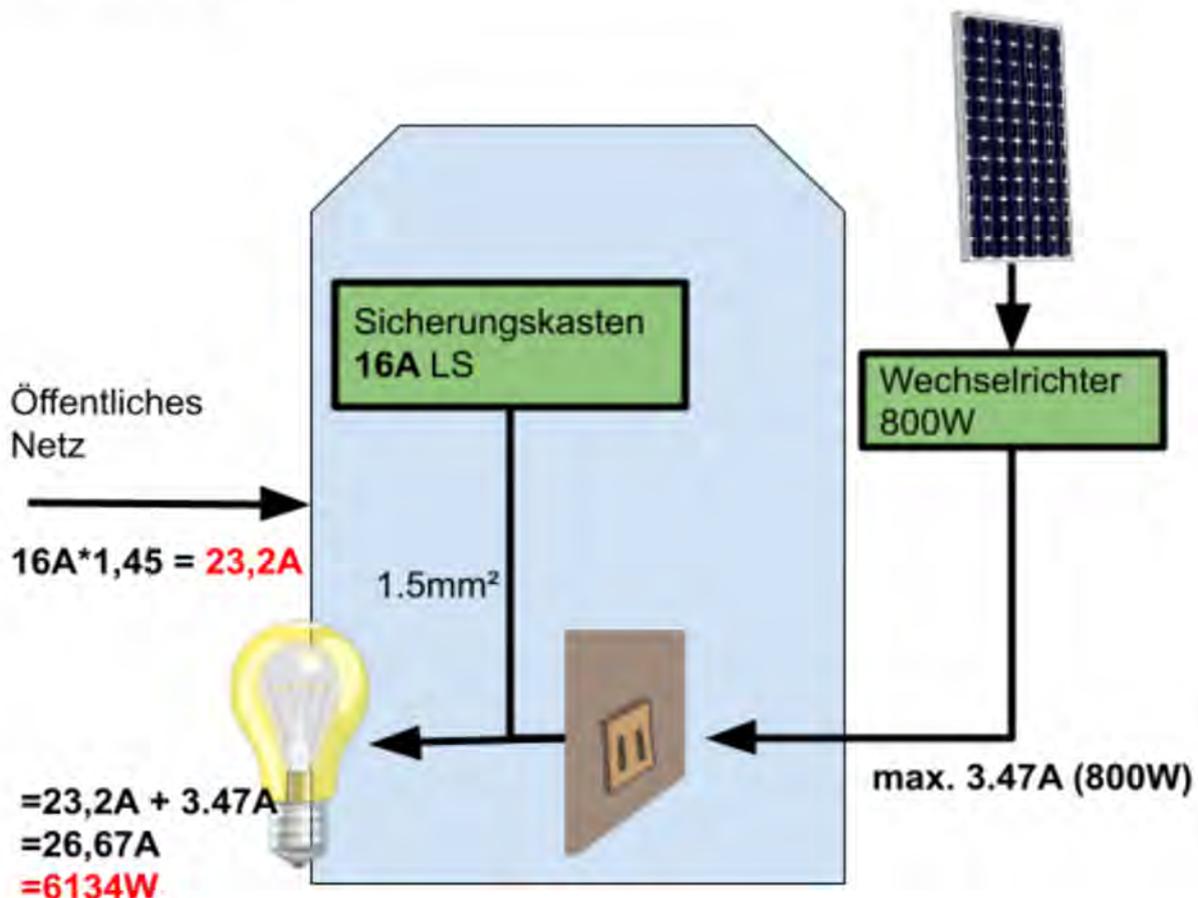
Die Maximaltemperaturen im Überblick:
600 Watt ergeben 148°C, die Grenze liegt bei 150°C.
Bei 800 Watt sind es 151°C.

Wir bewegen uns hier also in beiden Fällen an der Grenze und das alles bei einem Verbrauch von über 5000 Watt an einer Leitung, die von starker Dämmung in der Wand umgeben ist. Diese Zahlen zeigen das absolute thermische Maximum bei der Maximalleistung des Balkonkraftwerks.

In diesem Fall ist die theoretisch berechnete Temperatur etwa 3°C höher als bei 600 Watt. Zudem sollte man davon ausgehen, dass die Berechnung nicht 100% genau ist. Wir sprechen hier also von sehr geringen Differenzen der Leitertemperatur, mit einer Berechnungsmethode, die nicht die erforderliche Genauigkeit für so kleine Unterschiede aufweist. Dennoch ist der Wert über der Grenze.

Hinzu kommt noch, dass die Bedingungen für die Überschreitungen der Grenze sehr extrem sind und in der Realität nur selten auftreten werden.

Abschließend kann man an dieser Stelle leider nur sagen: Es ist sehr schwer und irgendwer muss irgendwo eine Grenze setzen. Zum jetzigen Zeitpunkt scheint es so, dass sich die Normungsgrenzen in Richtung 800 W bewegen werden.



Serien & Parallelschaltung von Solar-Modulen

Am einfachsten ist es, wenn man an jedem Eingang des Mikrowechselrichters genau ein passendes Modul anschließt, dann kann man sich die Berechnungen ersparen und das MPPT sowie das Monitoring funktionieren unabhängig. Manchmal geht das jedoch nicht.

Serienschaltung von Solarmodulen

Die Serien- bzw. Reihenschaltung von zwei Solarmodulen funktioniert sehr einfach: Man steckt den MC4-Stecker von Modul 1 in die MC4-Buchse von Modul 2. Zwischen Buchse von Modul 1 und Stecker von Modul 2 hat man dann die doppelte Spannung.

Die meisten Wechselrichter vertragen diese doppelte Spannung jedoch NICHT. Deshalb **muss man vorher im Datenblatt des Wechselrichters genau prüfen**, ob eine derart hohe Eingangsspannung vom Wechselrichter zugelassen ist. Ist dies nicht der Fall, kann dies zur Zerstörung des Wechselrichters führen.

Dabei ist auch die zusätzliche Spannungserhöhung bei sehr kalten Tagen zu berücksichtigen, dies wird weiter unten erklärt.

Wenn es der Eingangsspannungsbereich des Wechselrichters erlaubt (bei Mikrowechselrichtern ist das eher selten), kann man auch 3 oder 4 Module in Reihe schalten, das ergibt entsprechend die 3- oder 4-fache Spannung.

Bei der **Reihenschaltung** fließt durch alle Module derselbe Strom. Wenn also ein Modul einen geringeren Strom liefert (z.B. durch Beschattung oder weil es schon von Haus aus weniger Strom liefert), so reduziert sich der Gesamtstrom auf den geringeren Strom. Andererseits lassen sich Module mit demselben Strom aber unterschiedlicher Spannung schon in Reihe schalten:

Die Spannungen addieren sich, der Strom bleibt gleich.

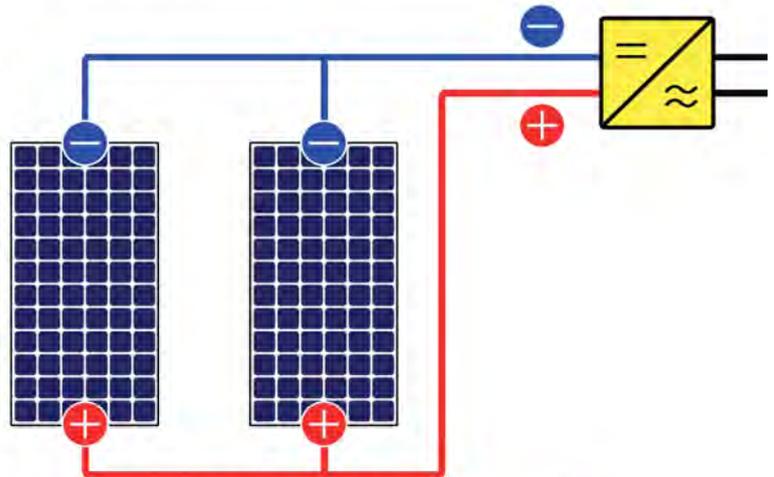
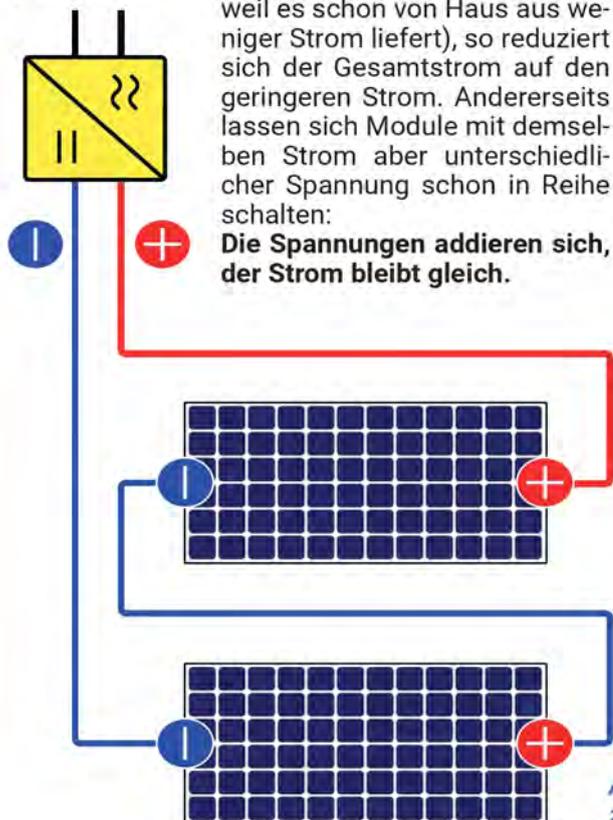


Abbildung 23: Parallelschaltung von zwei Solarmodulen am Wechselrichtereingang

Parallelschaltung von Solarmodulen

Im Gegensatz zur Reihenschaltung braucht man zur Parallelschaltung von Solarmodulen zusätzliche Y-Stecker und Y-Buchsen.

Die Module werden in gleicher Polarität miteinander verknüpft, d.h. **Stecker kommt an Stecker**, der Ausgang ist ebenfalls ein Stecker. **Buchse kommt an Buchse**, der Ausgang ist ebenfalls eine Buchse.

Bei gleichen Modulen verdoppelt sich der Strom, die Spannung bleibt gleich. Module unterschiedlicher Spannung sind nicht empfehlenswert, da sich die Ausgangsspannung am Modul mit der niedrigen Ausgangsspannung orientiert, unter Umständen kann sogar Strom von einem Modul in das andere Modul fließen.

Beim **Wechselrichter muss man darauf achten, dass dessen maximaler Eingangsstrom nicht überschritten wird.** Da sich der maximale Strom eines Solarmoduls bei unterschiedlichen Temperaturen kaum ändert (tatsächlich nimmt der Strom bei höheren Temperaturen geringfügig zu), kann man den Temperatureffekt im Gegensatz zur Spannung (siehe unten) unberücksichtigt lassen.

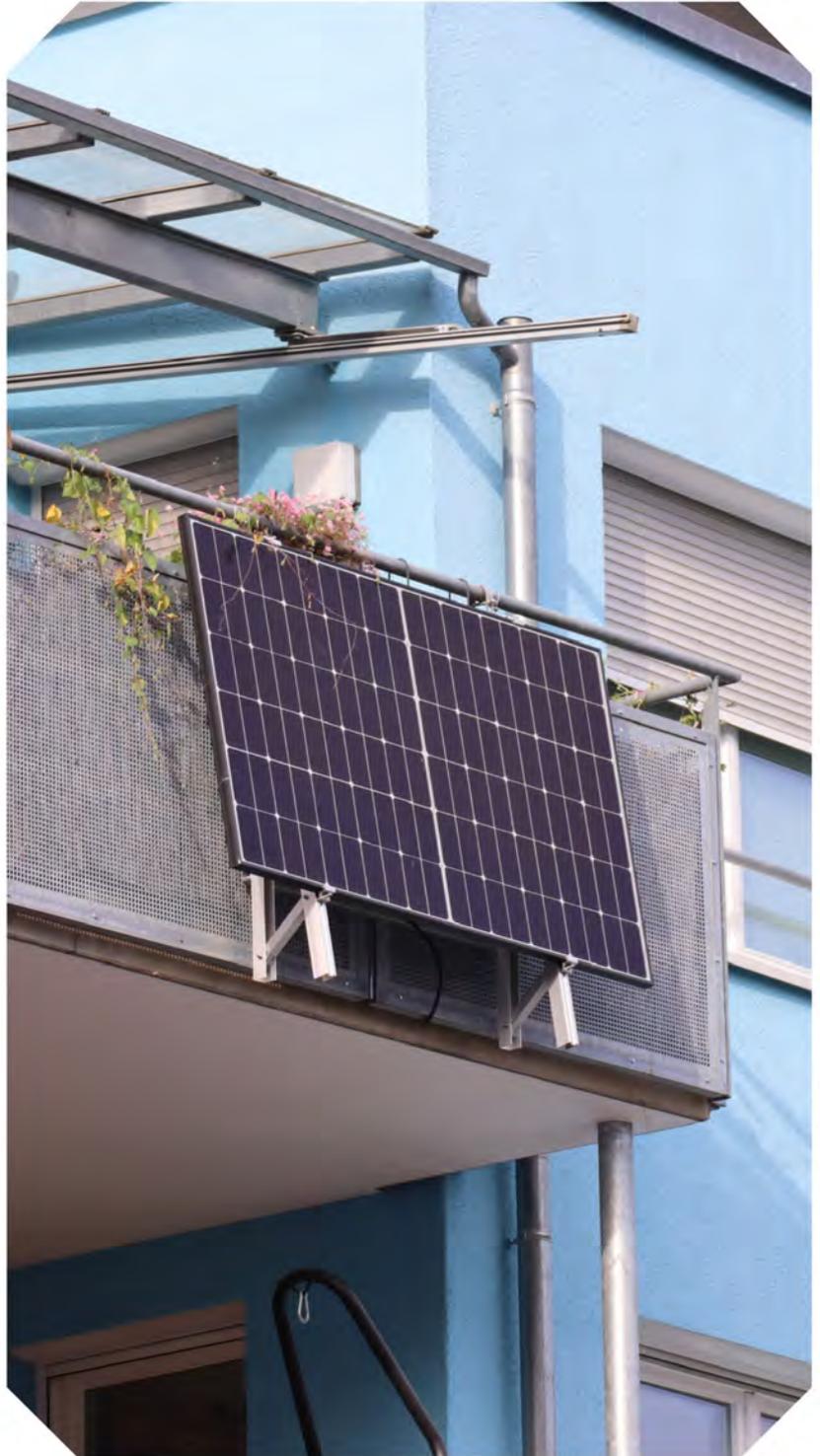
Zwei Module in Parallelschaltung sind etwas verschattungstoleranter als zwei Module in Reihenschaltung, da bei letzterem der Gesamtstrom reduziert wird. Wenn bei der Parallelschaltung nur ein Modul beschattet wird, liefert nur das beschattete Modul weniger Strom.

Abbildung 22, links: Reihen- bzw. Serienschaltung von zwei Solarmodulen am Wechselrichtereingang

Anbringen & Montage

Die Suche nach einer geeigneten Montagelösung zur sicheren Befestigung des Balkonkraftwerks an seinem Betriebsort kann sehr einfach sein. Es gibt viele vorgefertigte Lösungen im Handel, die für die unterschiedlichsten Montageorte passen.

Zusätzlich müssen die Konstruktionen aber auch Wind- und Schneelasten, UV-Einstrahlung, Regen, Frost etc. über viele Jahre standhalten. Daher haben Universalsysteme, die für mehrere Montagesituationen geeignet sind, eher Seltenheitswert. Stattdessen unterscheiden Anbieter meist zwischen verschiedenen Lösungen, etwa für Balkon und Fassade, zum Aufständern für Flach-/Garagendach, Terrasse oder Garten und für Schrägdächer mit Ziegeln, Schindeln, Dachpappe oder Blech. Jede Option hat ihre Eigenheiten.



Balkon



Obwohl der mittlerweile gesetzlich verankerte Begriff der "**Steckersolargeräte**" aufgrund der verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten wesentlich besser passt, hat sich in der Berichterstattung und im Volksmund das "**Balkonkraftwerk**" als Bezeichnung für die kleinen Kraftpakete durchgesetzt. Das kann nicht verwundern, denn der Balkon ist, gemeinsam mit der Fassade, im Normalfall der augenfälligste Ort, an dem die Geräte betrieben werden können.

Wer sich jedoch bewusst in der Nachbarschaft umsieht, erkennt schnell, dass Balkone sehr unterschiedlich gebaut sein können. **Jede Bauart erfordert ein anderes Montagesystem.** Metall-, Holz-, Beton- oder gemauerte Brüstungen erfordern komplett unterschiedliche Lösungen. Verschiedene Durchmesser der Handläufe, unterschiedliche Möglichkeiten zur Gestängedurchführung oder auch Lücken zur Kabelführung können entscheidend für die Nutzbarkeit eines Systems sein.

Es genügt daher nicht, einfach bei einem guten Angebot die Option "Balkonmontage" auszuwählen und auf das Beste zu hoffen. Vielmehr sollte man sich **vorab anhand von Montageanleitungen und/oder Datenblättern erkundigen**, ob das System auch für den eigenen Balkon oder die Fassadenmontage geeignet ist.

Zum Teil bestimmt der Montageort aber auch mehr als nur die Montagelösung. Bei in die Jahre gekommenen Holz- oder Metallbrüstungen kann etwa ein Befestigungssystem für Glasmodule passen oder es kann aber besser sein, stattdessen gerahmte Kunststoffmodule daran zu befestigen, die wesentlich leichter sind. Daher ergibt es Sinn, bei der Montage nach Modulart zu unterscheiden.

Montagesysteme für Glas-Folie Module

Glas-Folie Module stellen den Standard für Steckersolargeräte dar. Sie vereinen günstige Anschaffungskosten mit Robustheit und Effizienz. **Rund 20 Kilogramm** wiegen die meisten Glas-Folie Module in üblichen Größen heutzutage. Sie verfügen zudem über einen Rahmen aus Aluminium. Dass ein Gegenstand mit einem solchen Gewicht mit Metallkanten und -ecken beim Herabfallen Probleme bereiten kann, versteht sich von selbst. Daher werden bei den hierfür entwickelten Montagesystemen immer stabile Metallbauteile verwendet.

Bei diesen müssen die **Glas-Folie Module zudem über Klemmen oder Verschraubungen am Modulrahmen befestigt werden**. Wie diese dann wiederum an der Balkonbrüstung oder Fassade angebracht werden, variiert stark.

Für **Stangenbalkone** etwa werden oft Klammern oder Bleche eingesetzt, die das Befestigungssystem an die unterschiedlich geformten Rohre oder Stangen der Brüstung anpressen. Die Befestigung im oberen Modulbereich

kann alternativ oder zusätzlich als Bügel mit oder ohne Schutzgummierung am Handlauf ausgeführt sein.

Betonbrüstungen oder solche aus Mauerwerk stellen hingegen eine größere Herausforderung dar. Da eine Befestigung nur im oberen Modulbereich, etwa am Handlauf, nicht genügt, um das Modul bei jedem Wetter ausreichend zu befestigen, gibt es hier aktuell keine Lösung um Bohrungen zu vermeiden.

Als **Mieter, aber auch im**

Wohneigentum, kann das auch nach der vorgesehenen Änderung von Mietrecht und Wohneigentumsgesetz noch zu einem zusätzlichen Abstimmungsaufwand führen, denn Bohrungen sind ein Eingriff in die Gebäudesubstanz. Vermieter und Hausverwaltungen sind dazu angehalten, hier frühzeitig klare und allgemeinverbindliche Regelungen zu treffen, damit auch bei diesen Brüstungsformen die Nutzung von Balkonkraftwerken einfach umsetzbar ist.

Gleiches gilt für **Balkone mit durchgehender Glas- oder Blechbrüstung**. Zudem gibt es für diese Fälle noch keine Standardsysteme. Daher sind hier nur individuelle Lösungen möglich, bei denen z.B. lokale Fachunternehmen für Metallbau unterstützen können.

Einige Systeme für Glas-Folie Module an der Brüstung beinhalten die Möglichkeit für einen **festen,**



Abbildung 24, oben, unten und links: Befestigungsarten für Glas-Folie-Module (Bildquellen: Osnatec, ATON Solarparts, CarpeDiem Energy)

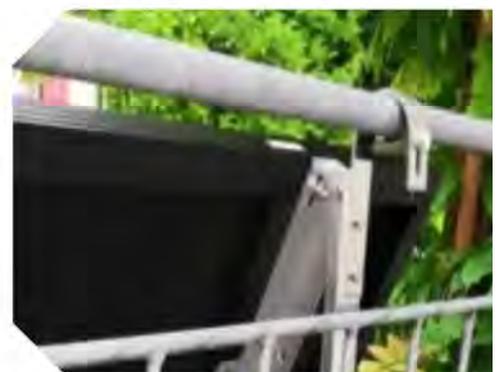
gestuften oder stufenlos einstellbaren Aufstellwinkel zur Ertragsoptimierung. Insbesondere in höheren Etagen sind diese Lösungen aber nicht zu empfehlen, da sich durch Windangriffsfläche und Federwirkung Schwungbewegungen entwickeln können, die Brüstung, Modul und Montagesystem stark belasten.

Dauerhafte Sicherheit über die Lebensdauer der übrigen Komponenten hinweg kann so nicht gewährleistet werden.

Da die Glas-Folie Module zudem von Modell zu Modell in den **genauen Abmessungen variieren**, müssen Montagelösungen immer auch in dieser Hinsicht vorab auf Eignung geprüft werden. Gerade länger im Markt befindliche Montagesysteme sind nicht mehr für die neueren Module anwendbar, da diese in den letzten Jahren im Schnitt etwas größer geworden sind.

Natürlich gibt es dieses **Problem nur, wenn man sein Kraftwerk individuell zusammenstellt**. Bei Komplettsystemen aus dem Fachhandel erübrigt sich dies.

Mitunter muss man alleine für die Montagelösung für Glas-Folie Module am Balkon mit **Kosten in niedriger dreistelliger Höhe rechnen**. Das kann den Preisvorteil von Glas-Folie Modulen auffressen. Ein Vergleich verschiedener Angebote ist also in jedem Fall zu empfehlen.





Montagesysteme für Glas-Glas Module

Anders als Glas-Folie Module verfügen **Glas-Glas-Module über eine zweite Schicht Solarglas**. Das bringt ein grundsätzlich höheres Gewicht mit sich. Sie wiegen für gewöhnlich **deutlich über 20 Kilo**.

Dafür bringt diese Konstruktionsweise aber auch einige handfeste Vorteile mit sich. So ist das **Glas-Glas Modul etwa bisher die einzige Modultart, die für eine "allgemeine bauaufsichtliche Zulassung" (abZ)** in Frage kommt. Auch wenn Balkonkraftwerke offiziell nicht mehr als Bauprodukte gelten, diese Zulassung also nicht mehr zwingend erforderlich ist, so gibt sie dennoch die Sicherheit, dass **Module gefahrlos etwa in größeren Höhen oder angewinkelt über Verkehrsflächen - etwa als Vordach - angebracht werden können**.

Einige Glas-Glas Module werden zudem ohne Rahmen gefertigt und können daher direkt als absturzsicherndes Element in die Balkonbrüstung integriert werden.

Bei den Glas-Glas Modulen geht der Trend aktuell sehr stark in **Richtung einer "bifazialen" Bauart**. Dabei wird auf der **Modulrückseite Energie aus dem Licht gewonnen, das auf dem Hinter-/Untergrund reflektiert**. Anbieter versprechen hier bis zu 30% Mehrertrag. In den meisten Fällen dürfte es etwas weniger sein.

Ein **gerahmtes Glas-Glas Modul kann problemlos mit den etwas robusteren Montagesystemen für Glas-Folie Module befestigt werden**. Auch hier empfehlen sich Komplettsysteme. Rahmenlose Module können darüber hinaus bereits als komplettes Brüstungselement erworben werden.



Montagesysteme für Kunststoff-Module ("Leichtmodule")

Kunststoff-Module spielen seit etwa 2021 eine zunehmende Rolle auf dem Balkonsolar-Markt. Die besonders leichten, aus Glasfaserverbund (GFK) oder anderen Stoffen - insbesondere das aus dem Kunststoff Teflon weiterentwickelte Ethylen-Tetrafluorethylen, kurz ETFE - hergestellten Module zeichnen sich insbesondere durch ihr **geringes Gewicht und ihre größere Variabilität in den Modulabmessungen** aus.

Sie sind **gerahmt oder rahmenlos erhältlich**. Die-

se Faktoren beeinflussen natürlich auch die möglichen Montagearten.

Während für rahmenlose Modelle meist robuste Kunststoffgurte **mit Klettverschlüssen oder Edelstahlkabelbinder** mitgeliefert werden, sind die gerahmten Module meist in ähnlichen Abmessungen gefertigt wie klassische Glas-Module und können daher auch mit den gleichen Montagesystemen wie jene befestigt werden.



Hinweis für Mieter/Wohnungseigentümer

Ein nach außen an Brüstung oder Fassade befestigtes Solarmodul hat Einfluss auf das Fassadenbild.

Bislang unterliegt seine Anbringung daher der **Zustimmung des Vermieters bzw. der Eigentümergemeinschaft**. Gleiches gilt für bauliche Veränderungen wie Bohrungen an der Gebäudehülle. Ein aktuelles Gesetzesvorhaben, das sich bereits im parlamentarischen Prozess befindet, soll hier Abhilfe schaffen. Es soll Steckersolargeräte in die Reihe der "privilegierten Maßnahmen" aufnehmen, die von Vermietern bzw. Wohnungseigentümergeinschaften nicht mehr ohne triftigen Grund abgelehnt werden können. Das Gesetz soll im Laufe des Jahres 2024 in Kraft treten.

Für Balkonkraftwerke, die auf Balkonflächen oder Dachterrassen stehen, ist diese Freigabe bereits Realität. Dass sie nicht zustimmungspflichtig sind, ist gerichtlich festgestellt worden.

Garagendach, Flachdach, Terrasse, Garten, Balkonfläche

Studien zufolge ist das **schlichte Aufstellen noch immer die häufigste Art, ein Steckerkraftwerk zu nutzen**. Das hat auch damit zu tun, dass die Platzierung eines Balkonkraftwerks auf Terrassen, in Gärten, auf Flach-/Garagendächern oder auf Balkonflächen **weniger aufwändig ist als etwa die Montage an Fassade oder Brüstung**.

Im Normalfall kann man die Aufstellung mit einem schlichten Aufständerungssystem wahlweise aus **Metalldreiecken, Modulwannen oder Standfüßen** bewerkstelligen.

Was am besten passt, hängt vom jeweiligen Untergrund ab, denn Metalldreiecke und Modulwannen müssen beschwert, Standfüße verschraubt oder anderweitig fixiert werden.

Das ist für die **Widerstandsfähigkeit gegen auftretende Windlasten essenziell**. Gerade bei aufgeständerten Solarmodulen findet der Wind auf

der Modulrückseite einen Angriffspunkt, was bei unzureichender Fixierung zur Verschiebung und schlimmstenfalls zum Absturz der Module führen kann.

Zwar gibt es Varianten mit Rückplatte bzw. Windschild im hinteren Bereich, diese sind aber bei Balkonkraftwerken sehr selten.

Die wichtigsten Eckdaten für die Fixierung sind die **Windzone des Aufstellungsortes, der Aufstellwinkel, die Modulgröße, der Haftreibungskoeffizient des Untergrunds sowie die Anbringungshöhe des Moduls**.

Man sollte also beim Kauf beim Händler abklären, ob die angebotene Lösung für den geplanten Betriebsort wirklich geeignet ist. Bei Lösungen mit Ballastierung sollte auf das Vorhandensein einer klaren **Ballastierungstabelle** in der Aufbauanleitung geachtet werden.



Schrägdächer

Natürlich sollte man, sofern man die Gelegenheit hat, auf einem freien Dach in erster Linie reguläre Photovoltaikanlagen mit größerer Leistung installieren.

Wenn das nicht möglich ist, etwa aufgrund von ungünstig strukturierten oder großteils verschatteten Dächern oder schlicht aus Mangel an finanziellen Möglichkeiten o.ä., bietet sich die Nutzung eines kleinen Balkonkraftwerks auf dem Dach an. Da hier meist Glas-Folie-Module genutzt werden, kann dabei auf die gleichen Montagesysteme zurückgegriffen werden, die auch bei größeren Anlagen eingesetzt werden.

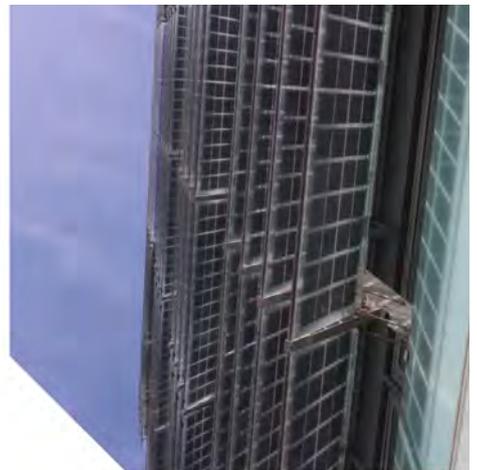
Bei **Ziegeldächern sind dies Dachhaken**, ansonsten je nach Dachform Klemmen, Niete, Stock- und Blechschrauben u.v.a.. Bei Sorge um die Verletzung der Dachhaut - insbesondere bei Bitumen/Dachpappe - kann mit Dichtlösungen wie selbstdichtenden Schrauben oder Zusatzmaterial wie Flüssigbitumen Abhilfe geschaffen werden.

Da die Varianten hier so vielfältig sind wie die Dächer, muss man aber ggf. eine Weile recherchieren, bevor man die richtige Lösung findet. Aufgrund der großen Vielfalt an Dachformen führt praktisch kein Händler sämtliche Varianten.





Beispiel von Solarmodulen mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung, in ästhetisch ansprechender "Full-Black"-Ausführung



Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

Bei Montage auf Balkonen über 4 m Höhe braucht es keine bauaufsichtliche Zulassung der Module mehr. Dies hat das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) am 27.10.23 beschlossen. Aufgabe des DIBt ist unter anderem die Zulassung bzw. Genehmigung von regelungsbedürftigen Bauprodukten und Bauarten. Jetzt ist klar, dass Balkonsolargeräte, die nicht dauerhaft mit dem Gebäude verbunden sind, keine Bauteile im Sinne der Musterbauordnung sind:

"Anders als bei PV-Anlagen, die mit dem Stromkreis fest verbunden werden und bei denen die Verbindung zwischen baulicher Anlage und Stromquelle nicht ohne weiteres aufzulösen ist, kann bei „Balkonkraftwerken“ die Verbindung zur baulichen Anlage im Hinblick auf die Energieeinspeisung durch das einfache Ziehen des Steckers wieder gelöst und das „Balkonkraftwerk“ beliebig durch den Nutzer (z.B. bei Auszug eines Mieters) vom Balkon einfach und ohne großen Aufwand abmontiert werden. Da in diesem Fall die PV-Module nicht dauerhaft in die bauliche Anlage eingebaut werden, sind sie keine Bauprodukte i.S.d. § 2 Abs. 10 Nr. 1 MBO."

Allerdings weist das DIBt zu Recht darauf hin: *"Bauteile der baulichen Anlage, an denen die Montage der PV-Module von „Balkonkraftwerken“ erfolgen soll, müssen dafür geeignet sein (Aufnahme von Windlasten u.a.)."*

Die gesamte Entscheidung findet sich bei: <https://www.dibt.de/de/aktuelles/meldungen/nachricht-detail/meldung/aktualisiert-welche-bauaufsichtlichen-bestimmungen-gelten-fuer-photovoltaik-module-pv-module>

Damit ist diese Hürde für die Nutzung von Standard-Modulen als Balkonsolargeräte gefallen. Das entbindet den Nutzenden aber nicht, diese sicher festzumachen. Eine deutliche Klärung, was "sicher" in diesem Falle bedeutet, wird wahrscheinlich die neue Balkonsolar-Norm bringen, die der VDE derzeit diskutiert.

Anders sieht es hingegen aus, wenn das Solarmodul in das Balkongeländer eingelassen wird oder Teil der Fassade wird.



Der Radweg ist mit Solarmodulen überdacht



Balkonsolar selbst zusammenstellen

Viele Balkonsolargeräte werden heutzutage als fertiges Paket verkauft. In der Regel kann man sich dort sicher sein: Das passt alles zusammen. Falls man sich dazu entschließt, die Einzelkomponenten eines Balkonkraftwerks selbst zu kaufen, muss man beachten, dass es hier gewisse Regeln gibt. Denn:

Nicht jedes Solarmodul passt zu jedem Wechselrichter!



Technisch

Parameter--DE/Schweiz



ALLGEMEINE INFORMATIONEN

Produktname EcoFlow Microwechselrichter	Gewicht Ungefähr 3 kg
Modell EFWNS11B	Abmessungen 242 × 169 × 33 mm

SPEZIFIKATIONEN

PV-Eingangsleistung 400W x 2	DC Eingang / Ausgang 600W
Maximale Eingangsspannung 55VDC (PV-Anschluss)/ 59VDC (DC-Anschluss)	Maximaler Eingangsstrom 13A
AC-Ausgang (Netzgebundene) 600W	Maximaler AC-Ausgangsstrom 2.8A
Maximale Leistung beim Laden und Entladen 600W	Ladespannung 30 – 58 VDC
Wasserdicht IP67	Kommunikation Wi-Fi und Bluetooth

UMWELTBETRIEBSDATEN

Betriebstemperaturbereich -40°C - 50°C	Luftfeuchtigkeit 0% - 100%
Nasser Standort Ja	Altitude ≤2000 m

* Für alle Parameter bitte in der Benutzerhandbuch nachschlagen

Wechselrichter, Solarmodule & Kompatibilität

Die Abbildung links zeigt einen Ausschnitt aus einer Mikrowechselrichter-Anleitung. Dieser Beispiel-Wechselrichter hat **zwei Eingänge** für Solarmodule.

Jeder dieser Eingänge unterstützt Module mit einer **maximalen Spannung (Voc) von 55V** und einem **Kurzschlussstrom (Isc) von 13A**.

Diese Werte alleine reichen aber noch nicht aus, um adäquate Module auszuwählen.

Im Folgenden wird Schritt für Schritt erklärt, wie man die Auswahl angeht. Hierfür werden zunächst einige wichtige Begriffe definiert:

Diese Daten finden sich oftmals auch auf der **Rückseite des Wechselrichters** oder der **Module**. Bei sehr alten Modulen können diese verblichen sein und man muss messen.

aleo SOLAR MODULE S1

ELECTRICAL DATA
(Above specifications at STC: 1000 W/m², AM1.5, Cell T 25)

Rated Power:	P_{MAX}	180 Wp	Nennleistung
power tolerance:		±3 %	Leistungstoleranz
Rated Voltage:	V_{MPP}	24,35 V	Spannung bei Pmax
Rated Current:	I_{MPP}	7,45 A	Strom bei Pmax
Open Circuit Voltage:	V_{OC}	30,38 V	Leerlaufspannung
Short Circuit Current:	I_{SC}	7,99 A	Kurzschlußstrom
Max. System Voltage:	V_{DC}	1000 V	max. Systemspannung

protection class II
IEC 61215

S16.180 1131933

Made in Germany aleo solar AG
www.aleo-solar.de

ACHTUNG!
Installation, Inbetriebnahme und Wartung...

PV Microinverter

Model: MI-300
(up to 380W panel)

Max. Input Voltage	60V d.c.	Nominal Output Voltage	220/230/240V a.c.
Range of Peak Power MPPT Voltage	29–48V d.c.	Nominal Output Frequency	50/60Hz
Range of Input Operating Voltage	16–60V d.c.	Peak Conversion Efficiency	96.7%
Start up Voltage	22V d.c.	Output Power Factor	>0.99
Max. Continuous Input Current	11.5A d.c.	Type of Enclosure	IP67
Max. Input Short Circuit Current	15A d.c.	Over Voltage Category	PV II/Main III
Max. Continuous Output Power	300W	Protective Class	I
Max. Continuous Output Current	1.5A a.c.	Operating Ambient Temp	-40 – +65 °C

Hoymiles Converter Technology Co., Ltd.
www.hoymiles.com

Oben: Aufkleber mit Daten auf einem Wechselrichter.

Links: Aufkleber mit Daten auf der Rückseite eines Solarmoduls.

Schrittweise Auswahl der passenden Komponenten

Maximale Eingangsspannung oder V_{oc} :

Diese Spannung darf in keinem Fall überschritten werden und **stellt eine absolute Grenze** dar. Im Fall des abgebildeten Moduls ist sie mit 55V angegeben. Die Überschreitung könnte die Leistungsfähigkeit des Wechselrichters beeinträchtigen oder zu einer Beschädigung des Geräts führen. Hier ist es also wichtig, dass **man die PV-Module korrekt auswählt**.

Kurzschlussstrom oder I_{sc} :

Beim Thema Kurzschlussstrom gelten weniger strikte Regeln. Theoretisch kann man auch mehr Strom anschließen als der Wechselrichter maximal verarbeiten kann. Der Wechselrichter nimmt in diesem Fall nur so viel Strom, wie er benötigt. Allerdings ist dies ein risikobehaftetes Unterfangen und es ist unklar, ob solche Handlungen von der Garantie abgedeckt sind. Daher ist generell davon abzuraten.

Betriebsspannung oder MPPT-Bereich:

In diesem Spannungsbereich **arbeitet der Mikrowechselrichter am effizientesten**. Er passt sich an die wechselnden Bedingungen an – wie Sonneneinstrahlung oder Temperatur – und findet immer den Punkt, an dem die Solarpanels die meiste Energie produzieren. Das ist wichtig, weil sie je nach Bedingungen unterschiedliche Spannungen liefern.

Kurz gesagt, der **MPPT-Spannungsbereich ist der Bereich, in dem der Mikrowechselrichter maximal effizient arbeitet**, um sicherzustellen, dass die Solarpanels immer ihre Spitzenleistung erbringen. Es ist wie das Finden des "Sweet Spots", um das Beste aus den Solarpanels herauszuholen.

V_{oc} bzw. U_L - Maximale Spannung bestimmen

Die maximale Spannung ist der entscheidende Faktor für die Auswahl der Solarmodule.

Die **höchste auftretende Spannung ist die Leerlaufspannung U_L** (englisch: open circuit Voltage: V_{oc}).

In den Datenblättern wird **diese Spannung bei den Standardtestbedingungen** angegeben (d.h. bei einer Modultemperatur von 25°C). Zusätzlich spielt die **minimale Außentemperatur, die vor Ort auftreten kann, eine große Rolle**.

Wenn es hin und wieder -20° C kalt ist, dann ist die Spannung des Solarmoduls höher als die angegebene (die sich auf +25° C Betriebstemperatur bezieht).

In diesem Fall sollte man die angegebene 55 V Grenze von unserem Wechselrichter auf -20° C umrechnen, um zu wissen, wie hoch die Spannung maximal sein darf.

Folgende Tabelle ist hierfür eine Hilfestellung:

0°C:	+10% U_L
-10°C:	+15% U_L
-20°C:	+18% U_L
-40°C:	+25% U_L

Wenn -20° C als minimale Temperatur angenommen wird, dann bedeutet das für das Solarmodul: +18% U_L

Und um genau die reduziert sich die Maximalspannung von 55 V:

$$U_{maxWR-20°C} = 55 \text{ V} / (1 + 0,18) = 46,61 \text{ V}$$

Es besteht auch die Möglichkeit, die Spannungserhöhung ganz genau zu berechnen, indem man das Moduldatenblatt nimmt und nach dem **Temperaturkoeffizienten von U_L** sucht (bei Modulen mit kristallinen Siliziumsolarzellen liegt dieser typischerweise bei -0,4%/°C). In aller Regel reicht aber die oben gezeigte Tabelle vollkommen aus.

Das berechnete Solarmodul darf also höchstens eine Spannung von 46,61 V haben bei Standardtestbedingungen, so wie es in den meisten Datenblättern angegeben ist.

(Links) Durchmessen eines gebrauchten Solarmoduls mit einem Multimeter



Technical Specifications

General Information

Rated Power	400W (±3%)
Open Circuit Voltage	37,10V (±3%)
Short Circuit Current	13,79A (±5%)
Maximum Operating Voltage	31,00V
Maximum Operating Current	12,00A
Temperature Coefficient of Rated Power	0,38%/°C
Temperature Coefficient of Open Circuit Voltage	-0,35%/°C
Temperature Coefficient of Short Circuit Current	0,06%/°C
Maximum System Voltage	1500V DC (UL)
Maximum Fuse Current	25A

Specifications

Net weight	Approx. 21,8kg(48,1 lbs)
Dimensions	1732*1134*35mm(67,8*44,6*1,38in)

Die Tabelle zeigt das Datenblatt eines Solarmoduls (Ecoflow), das 400 W Leistung hat und eine Leerlaufspannung von 37,1 V. Das wäre deutlich unter den berechneten 46,6 V von eben und damit machbar.

Wie viele Module? In Serie oder parallel?

Nehmen wir das Modul von eben mit einer $U_e = 37,1 \text{ V } V_{oc}$. Wenn davon 2 in Serie geschaltet werden (siehe Kapitel Serien & Parallelschaltung von PV-Modulen), verdoppelt sich die Spannung des ganzen PV-Generators U_{PV} auf:

$$U_{PV} = 2 * 37,1 \text{ V} = 74,2 \text{ V}$$

Das ist erheblich höher als die zulässigen 46.61 V und damit nicht machbar.

Parallel geschaltet würde die Spannung gleich bleiben, sich aber der Strom I_{PV} verdoppeln:

$$I_{PV} = 2 * 13,79 \text{ A} = 27,58 \text{ A}$$

Wie bereits erwähnt, wird der Wechselrichter das vermutlich mitmachen, allerdings kann es sein, dass die Garantie dann erlischt. Aus diesem Grund wird hierfür von den Autoren keine Empfehlung ausgesprochen.

Zudem kann der Wechselrichter die 800 W, die an einem Eingang liegen, nicht vollständig nutzen. Im Winter ist das ein Vorteil, da die Leistung nur selten an dieses Limit kommen wird, im Sommer geht allerdings viel Energie dadurch verloren.

Im Kapitel *Was kann ich erwarten / Wie rechne ich das aus?* Werden ein paar Beispiele (A) gezeigt und wie man errechnen kann, ob sich der Aufbau dennoch lohnt bei z.B. 90° Ausrichtung (hängend).

MPPT Bereich sinnvoll?

Hier geht es darum, ob das Modul und der MPP-Bereich (siehe Kapitel *Was macht ein Wechselrichter?*) des Wechselrichters gut zusammenpassen. In diesem Fall handelt es sich nicht um eine "feste Grenze", sondern es geht um Effizienz.

Hat man wie vorher eine Idee, wie viele Module man verwenden sollte und wie diese verschaltet sind, so kann man die **Gesamtspannung berechnen und überprüfen, ob diese zum Wechselrichter passt oder nicht**. Im Prinzip funktioniert alles so wie im vorherigen Beispiel, nur die Werte sind andere.

Beispielsweise liegt für die eben gezeigten Solarmodule die MPP-Spannung bei 31 V.

Im Datenblatt des Wechselrichters steht eine Betriebsspannung von 11 V - 55 V. In der Regel sollte hier allerdings von einem **MPP-Spannungsbereich gesprochen werden**, aber es wird dasselbe gemeint sein.

Die 31 V liegen also genau im Bereich von 11 V - 55 V. Damit wäre dieses Kriterium erfüllt.

Solarmodule und Wechselrichter passen also gut zusammen.



Y-Kabel zum parallelen Anschluss von Solarpanels.

Anbieter & Produkte

Viele möchten vorkonfigurierte Pakete kaufen. Diese bestehen in der Regel aus ein oder zwei Solarmodulen inklusive Kabel zum Wechselrichter, dem Wechselrichter selbst und Kabel zum Anschluss an die Steckdose.

Manchmal ist eine Aufhängung oder ein Messgerät im Paket enthalten. **„Stärkere“ Pakete mit 600-900 Wp sind in der Regel pro Watt günstiger** als solche mit lediglich einem Modul und schwächerem Wechselrichter (etwa 300 W).

Wenn die Angabe „Watt peak“ der Solarpaneele etwas größer als die Angabe „Watt“ des Wechselrichters ist, zeigt das, dass der Anbieter ein Befürworter des **„Overpowering“ bzw. „Oversizing“** ist: In Deutschland ist der Himmel häufig etwas bewölkt. Solarzellen werden typischerweise weder regelmäßig geputzt noch der wandernden Sonne exakt nachgeführt, die Sonneneinstrahlung ist im Sommer deutlich stärker als im Winter.

Daher produzieren Solarmodule in der Praxis nur selten so viel Strom wie unter den standardisierten Testbedingungen im Prüflabor. Somit ließe man Teile des Leistungspotenzials des Wechselrichters brach liegen, wenn man an einen Wechselrichter von 600 W nur Solarmodule von 600 Wp statt beispielsweise 700 Wp Leistung anschließt. **Oversizing ergibt um so mehr Sinn, je ungünstiger die Platzierung der Paneele ist.** Beispielsweise wenn sie nach Norden ausgerichtet sind, flach liegen (geringe Selbstreinigungswirkung), keine gute Kühlmöglichkeit vorhanden ist oder die Gegend generell wolkgig oder neblig ist.

Im Jahr 2023 kamen eine ganze Reihe neuer Anbieter in den Balkonsolar-Markt. Start-Ups, Baumärkte, Discounter oder andere.

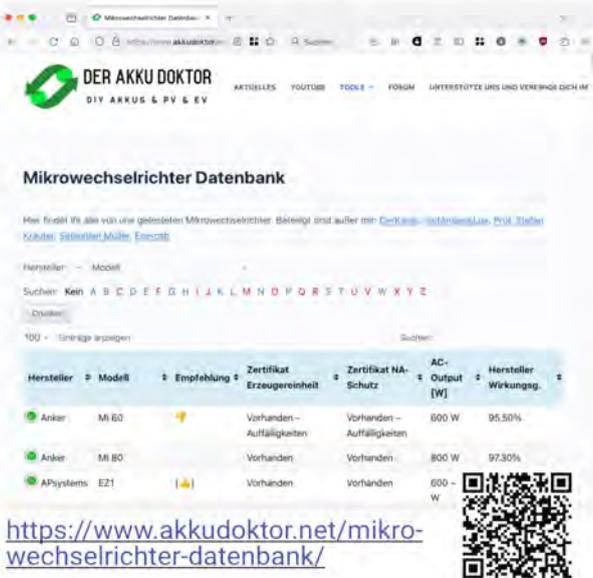
Während die Baumärkte oft durch tendenziell höhere Preise auffielen aber durchaus gängige Standardware anboten, stellten sich einige Discounter als ungeeignete Bezugsquelle heraus. Zum einen wurden die Angebote mit völlig unrealistischen Einsparmöglichkeiten beworben, zum anderen fehlten oft Service und Beratung.

Wir raten **daher eher zu den vorkonfigurierten Paketen gängiger Fachanbieter als zu den vermeintlichen Schnäppchen beim Discounter.** Man sollte auf jeden Fall prüfen, ob das oder ein ähnliches Paket nicht woanders, **etwa beim lokalen Solarhändler, günstiger zu beziehen ist.** Eine umfassende Anbieterliste findet sich etwa auf MachDeinenStrom.de.



Da die Datenbank ständig aktualisiert wird und neue Wechselrichter hinzugefügt, werden wir hier nicht konkrete Geräte besprechen oder vorstellen.

Balkon.Solar e.V., Dr. Andreas Schmitz "Akkudoktor", Christian Waller / „Der Kanal“, Georg Giglinger von "Enercab", Dr. Jens-Peter Eufinger von "VoltAmpereLux", Prof. Stefan Krauter und Christian Ofenheusle von "machdeinenstrom.de" haben in mühevoller Kleinarbeit und ausgiebiger Recherche Kleinwechselrichter gemessen, geröntgt, aufgeschraubt und untersucht. Die Gruppe hat außerdem viele Presseartikel, Veröffentlichungen der Hersteller, Erfahrungsberichte in Foren und eigene Erfahrungen ausgewertet.



Daraus ist eine Datenbank entstanden, die einen Überblick über die am Markt verfügbaren Geräte gibt.

Die Liste führt auf, ob die Wechselrichter den geforderten NA-Schutz enthalten, ob es elektromagnetische Störungen gibt, ob hohe Ausfallquoten aufgefallen sind usw. Denn in der Vergangenheit gab es hier Probleme. Um dem Preiskampf und der damit verbundenen sinkenden Qualität etwas entgegenzusetzen, wurde die Liste erstellt. Sie wird **ständig aktualisiert und umfasst Verweise auf Einzeltests der Wechselrichter.**

Die Liste ist in der Freizeit und ohne Vergütung der Tester entstanden und ist daher unabhängig. Deswegen kann aber auch keine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit übernommen werden. Es wird jegliche Verantwortung abgewiesen, die sich aus der Nutzung der Liste ergibt.

Es gibt vier verschiedene Bewertungsstufen: 👍, 👎, 🟡, 🟠.

Die Bewertung basiert auf verschiedenen Kriterien wie der Gültigkeit des Zertifikats, dem Wirkungsgrad, dem Vorhandensein eines Relais, EMV-Problemen und Erfahrungsberichten.

Unsere Testdatenbank für Wechselrichter

Nachfolgend ist das Bewertungsschema dargestellt. Die Details sind womöglich in erster Linie für Experten interessant:

👍 Den Daumen hoch gibt es, wenn alles in Ordnung ist: **Uneingeschränkt empfehlenswert**

👎 Der Daumen hoch in eckigen Klammern wurde vergeben, wenn noch nicht alles getestet wurde, bisher aber alles in Ordnung war und kein gravierender Mangel mehr auftreten kann.

🟡 **Eingeschränkt empfehlenswert, es existieren Auffälligkeiten**, z.B. EMV, Nutzerprobleme, Ausfälle, Gemessener CEC / EU Wirkungsgrad < 85%, Abweichungen Wirkungsgrad (Hersteller und unserer Messung) > 10%, Spannungsspitzen nach Abschalten > 50% über Netzspannungssamplitude ($325V \cdot 1,5 = 487,5V$), Abschaltzeiten > 400ms.

🟠 **Gravierende Mängel:** Kein gültiges Zertifikat vorhanden, Zertifikat nach unseren Messungen ungültig (fehlender NA-Schutz etc.), Erfahrungsberichte Dritter die auf eine hohe Ausfallquote schließen lassen, Erfahrungsberichte Dritter die auf Mängel hinweisen, die den Betrieb oder die Sicherheit massiv einschränken, schlechte Sinusqualität

EMV: Ein EMV-Problem, (elektromagnetische Verträglichkeit), entsteht, wenn ein elektrisches Gerät Störungen durch elektromagnetische Wellen verursacht oder selbst durch solche Wellen gestört wird.

Dies kann sich in zwei Arten zeigen:

Störaussendung: Wenn ein Gerät elektromagnetische Wellen aussendet, die andere Geräte in seiner Umgebung beeinträchtigen. Zum Beispiel könnte ein schlecht abgeschirmtes Elektrogerät Radiosignale oder die Funktion anderer elektronischer Geräte stören.

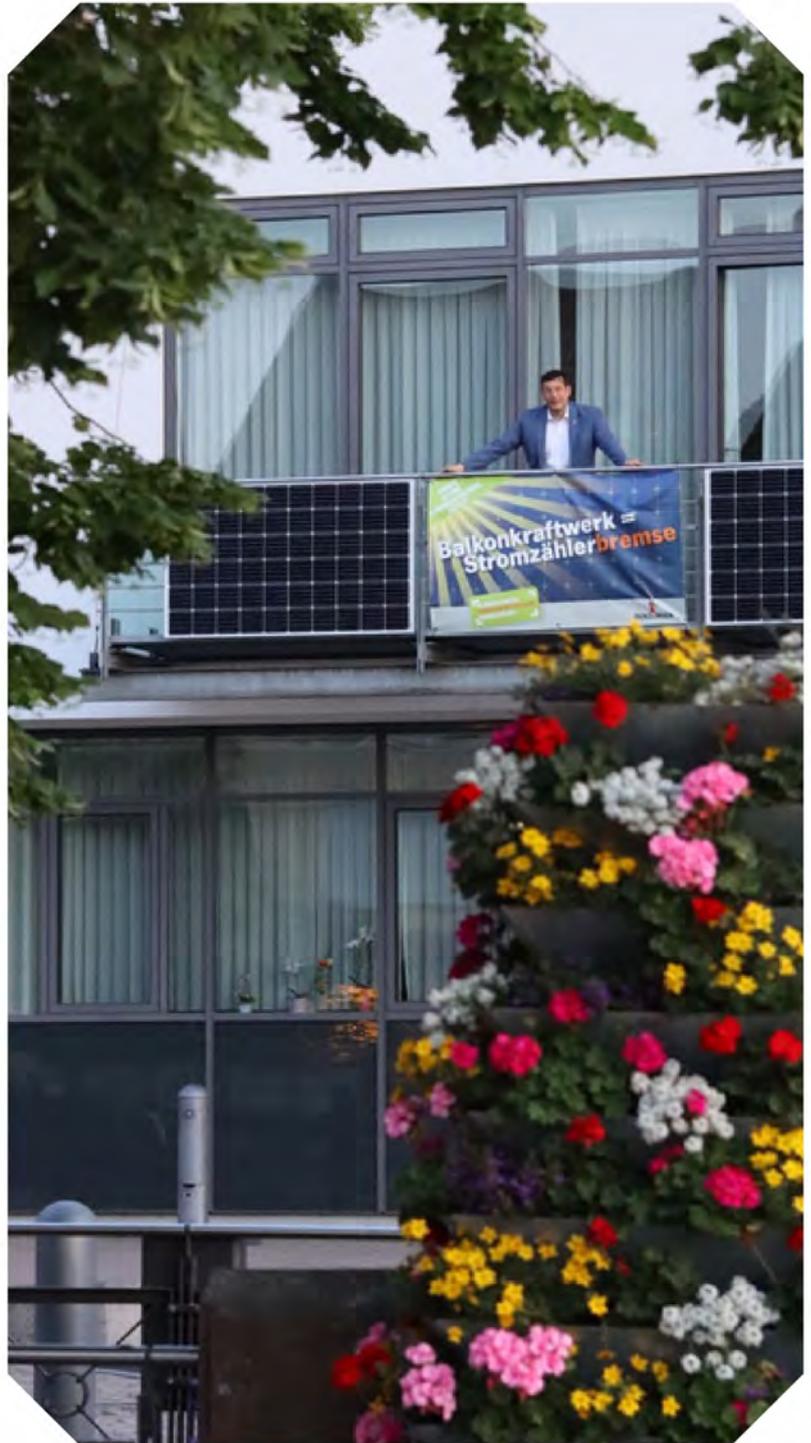
Störfestigkeit: Wenn ein Gerät nicht in der Lage ist, normal zu funktionieren, wenn es elektromagnetischen Wellen ausgesetzt ist, die von anderen Quellen stammen. Ein Beispiel wäre ein Smartphone, das in der Nähe eines Mikrowellenherds Fehlfunktionen zeigt.

EMV-Probleme können in vielen Bereichen auftreten, von der Unterhaltungselektronik bis hin zu Industrieanlagen. Es ist wichtig, die zuverlässige Funktion von elektronischen Geräten in einer Umgebung mit vielen elektromagnetischen Wellen sicherzustellen.

Tipps + Tricks

Sicherheit, Verbrauch,
Betrieb

Das Balkonsolargerät ist aufgebaut und angeschlossen. Was kann jetzt noch schief gehen? Eigentlich nichts, aber wir bekommen immer wieder Emails oder Anrufe von verzweifelten Nutzenden von Balkonsolargeräten, deren Anlagen nun nicht laufen. Deshalb hier einige Tipps und Tricks zur Problemlösung!



Verbrauchsoptimierung

Es ist von Vorteil, möglichst viel von dem erzeugten Strom auch selbst zu nutzen. Dafür wird erstmal **kein teures System mit einem zusätzlichen Akkuspeicher benötigt**. Das eigene Verhalten zu Hause trägt einen großen Teil dazu bei, wann sich die Investition des Balkonkraftwerks finanziell auszahlt. Man kann versuchen, **elektrische Geräte genau dann zu nutzen, wenn die Sonne auf das Modul scheint**. Zudem lassen sich durch eine günstige **Zeitschaltuhr die Aufladung von akkubetriebenen Geräten** wie E-Bike, Akkustaubsauger oder Laptop in die Zeit legen, in der viel Sonnenstrom zur Verfügung steht.

Durch die Änderung des Verhaltens kann die Nutzung sogar insgesamt erhöht werden. So braucht eine Waschmaschine oder Spülmaschine relativ viel Strom, wenn sie das Wasser aufheizt.

Danach brauchen die Geräte weniger und der Verbrauch kann dann relativ gut von einem Solarmodul abgedeckt werden.



Schaltbare Steckdose einschalten

Hängt das Balkonsolargerät an einer schaltbaren Steckdose zur Überwachung, dann muss **diese auch eingeschaltet sein**.

Nicht immer reicht das WLAN oder jedes andere Funksystem. Die schaltbaren Steckdosen von AVM/Fritz nutzen DECT Low Energy, auch aus dem Haus heraus.

Zudem mag der Empfang in einer Steckdose in der Wand nicht immer der Beste sein. Zum Teil setzt das WLAN manchmal aus, so gibt es Aussetzer in der Statistik, auch wenn die Stromerzeugung weiter geht.

Doch auch bei der eingeschalteten Messsteckdose kann man reingelegt werden: **Nicht alle Modelle können Einspeisung zählen** oder sie stellen die Einspeisung als Verbrauch dar. Davon darf man sich nicht beirren lassen, muss es allerdings bei Bilanzen oder in Statistiken berücksichtigen.



Fensterdurchführung

Manche haben an ihrem Balkon keine Außensteckdose. Je nach Haus - besonders wenn es sehr gut gedämmt ist oder ein Passivhaus - kann die Installation recht aufwändig werden. Findige Unternehmer haben sich daher des Themas Fensterdurchführung angenommen.

Am Markt werden **flache Kabel angeboten, die an beiden Seiten einen MC4-Stecker haben**.

Diese sind im Grunde nichts anderes als ein Verlängerungskabel. Denn für ein so genanntes Solarkabel (in der Regel Kabel mit 4 mm² oder 6 mm² Durchmesser) gibt es natürlich auch Verlängerungskabel. Nun passen schon 4 mm² Kabel nicht durch den Spalt zwischen Fenster und Fensterahmen. Dafür gibt es spezielles **Flachkabel**. Diese gibt es seit langem etwa für Ethernet-Kabel oder Antennenkabel für Satellitenfernsehen. Bei beiden sind die übertragenen Ströme aber deutlich geringer.

Zudem dürften die Flachkabel/Fensterdurchführungen nicht unendlich das Öffnen und Schließen von Fenstern aushalten. Daher sollte man sie eher an Fenstern nutzen, die nicht häufig zum Lüften geöffnet werden.

Bis Redaktionsschluss dieses Ratgebers lag noch kein Test von entsprechenden Kabeln vor, so dass keine Aussage über die Qualität und Langlebigkeit der Flachkabel getroffen werden kann.

Auf jeden Fall sollte man die Kabel bei einer sichtbaren mechanischen Beschädigung austauschen.

Wechselrichter brauchen Zeit

Kleinwechselrichter brauchen **Zeit zum Hochfahren und um den optimalen Power-Point** zu finden, denn sie kalibrieren immer wieder, wie sie optimal den Gleichstrom des Solarpanels in Wechselstrom umwandeln können.

Auch das Synchronisieren auf den Wechselstrom des allgemeinen Stromnetzes braucht seine Zeit, denn hier muss der Wechselrichter genau die Schwingungen des Netzes treffen. All das braucht zwischen **einer und fünf Minuten beim erstmaligen Anschließen**.



IT-Sicherheit

Einige Wechselrichter-Hersteller bieten zu ihren Geräten eigene Apps an, um die Erzeugung im Blick zu haben. Das ist ein schönes Feature, gerade wenn man anderen von der neuen Anlage erzählen will. Aber das bedeutet auch: Die Daten müssen **über das Internet auf die Handy-App fließen und irgendwo zwischengespeichert sein**, um sie jederzeit abrufen zu können.

Das bedeutet: Ein Server oder eine Cloud kennen diese Daten. Leider fallen die Umsetzungen dieser WLAN-Anbindungen immer wieder durch **schlampige Programmierung und andere Cyber-Sicherheits-Probleme** auf.

Beim Wechselrichter der Firma Deye gelang es Hackern, über die Cloud-Anbindung **Befehle an den Wechselrichter zu übermitteln**. Was zunächst eher theoretisch klingt, kann eine konkrete Sicherheitsgefährdung darstellen: Diese **Befehle könnten den Wechselrichter abschalten, den Schutz ausschalten**, so dass er sich bei fehlendem Netz ausschaltet oder gar den Wechselrichter zerstören.

Details finden sich auf der Website des Balkon Solar e.V.:

<https://balkon.solar/news/2023/10/05/cyber-security-probleme-bei-deye-wechselrichtern/>



Auch andere Hersteller waren oder sind davon potenziell betroffen.

Unser Rat ist daher, **Kleinwechselrichter nicht direkt mit dem Internet zu verbinden**, sondern über ein Hausautomatisierungssystem die Erzeugung zu messen. Damit kann man bei Bedarf auch den Wechselrichter ausschalten. In der Regel sind Hausautomatisierungssysteme besser programmiert, gerade wenn es sich um solche mit Open Source Komponenten handelt.

Daneben reicht es, die Daten im Haus vorzuhalten und nicht auf einer Cloud zu speichern.



Hinweise für Vermieter

Wohnungen mit Balkonkraftwerk ermöglichen es Mietern, **bis zu einem Fünftel ihrer Energiekosten einzusparen**. Sie machen zudem direkt sichtbar, dass hier ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet wird. Neben diesen Vorteilen sind sie wesentlich **einfacher, günstiger und schneller installiert als etwa eine PV-Anlage auf dem Dach**. Sie ermöglichen Mietern, sich hautnah mit dem Thema erneuerbare Energien zu befassen und bauen Vorurteile ab, was auch weitere Maßnahmen der energetischen Sanierung wie ein Tausch des Heizsystems, Gebäudedämmung oder Eigenversorgungskonzepte leichter argumentierbar macht. Es ist daher **sinnvoll, sich als Vermieter mit dem Thema zu befassen**.

Hinzu kommt, dass die vorgesehene Privilegierung von Balkonkraftwerken im Miet- und Wohneigentumsrecht die Vermieter in Zugzwang bringt. **Installationsbegehren können nicht mehr einfach mit Verweis auf ästhetische Gesichtspunkte abgelehnt werden**.

Vielmehr muss nun entschieden werden, welchen Weg man wählt:

Regulierung von Mieterprojekten

Um den Abstimmungsaufwand auch dann noch überschaubar zu halten, wenn man den Mietern die eigene Installation von Balkonkraftwerken ermöglicht, ist es notwendig, Regeln hierfür festzulegen. Es **empfiehlt sich hier ein Leitfaden, dessen Anerkennung der Mieter bestätigen muss**. **Neben ästhetischen sind dabei in erster Linie Sicherheitsregeln zu beachten**.

Das betrifft etwa die **mechanische Sicherheit**. So gibt es viele Montagelösungen für das Balkonkraftwerk, aber nur sehr wenige mit Nachweis der Einhaltung der entsprechenden Konstruktionsnormen.

Eine zeitnah zur Veröffentlichung vorgesehene Produktnorm für Steckersolargeräte schreibt einen entsprechenden Nachweis sowie Angaben zum geeigneten Anbringungsort (Anbringungshöhe, Windzone, Schneelast etc.) vor.

Nach Inkrafttreten sollte auf deren Einhaltung geachtet werden. **Die Balkonbrüstung selbst ist bei lotrechter Montage nicht überanspricht**. Nach **Baunorm DIN EN 1991-1-1 muss diese eine Horizontalbelastung von 0,5 kN pro m² aushalten, was etwa 50 kg je Meter Geländer entspricht**. Ist dies nicht gewährleistet, so ist es an der Vermieterin, Abhilfe zu schaffen, unabhängig von der eventuellen Nutzung eines Balkonkraftwerks. Anders sieht es bei Aufständern am Balkongelände aus, da sich dort Windlasten anders auswirken und es zu Schwingungen kommen kann. Sollen Aufständern zugelassen werden, so empfiehlt sich vorab eine statische Prüfung.

Die **elektrische Sicherheit in normkonformen Haushalten ist durch die geltende Leistungsbegrenzung von Balkonkraftwerken gewährleistet**. Wenn allerdings die Stromleitungen der Wohnungen nicht den geltenden Normen entsprechen - etwa fehlender FI-Schutz oder Zweiadrigkeit -

dann ist ebenfalls angebracht, von Vermieterseite Abhilfe zu schaffen. Solche Installationen bedeuten auch ohne Steckersolargerät ein erhöhtes Risiko für Wohnung und Mieter.

Der Bundesgerichtshof hat bereits 2008 geurteilt, es könne eine entsprechende *"Prüfpflicht angenommen werden, beispielsweise, wenn [...] aus sonstigen Umständen Bedenken hinsichtlich der Funktionsfähigkeit der Elektroanlage bestünden"*. Da das Balkonkraftwerk nun zur gewöhnlichen Nutzung gehört, dürfte dies der Fall sein.

Die **Haftung** für eventuelle Schäden durch ein Balkonkraftwerk liegt - so unwahrscheinlich sie sein mag - **grundsätzlich bei dessen Nutzer**. Sowohl bei Schäden am Gerät, am Gebäude oder am Eigentum oder der Person Dritter ist dieser verantwortlich.

Zur Sicherheit sollte aber das Gespräch mit einem Fachjuristen gesucht werden, um Regeln etwa für die Anbringung über Verkehrswegen festzulegen. Hier werden dem Vermieter weitergehende Sicherungspflichten und -rechte zugestanden.

Informationen zur Haftung erläutert ein Rechtsgutachten, welches im Auftrag des Balkon.Solar e.V. entstanden ist: <https://balkon.solar/news/2024/01/06/balkon-solar-verein-erlaeutert-haftungsfragen-im-zusammenhang-mit-balkonkraftwerken/>



Weitere Details zu diesen Punkten sowie ein Musterleitfaden finden sich unter <https://machdeinenstrom.de/balkonkraftwerke-fuer-vermieter/>



Vollausstattung

Die Vorteile einer eigenständigen Ausstattung von Mietobjekten mit Balkonkraftwerken durch den Vermieter liegen auf der Hand: Statt der ressourcenintensiven und zeitversetzten Abstimmung von Installationsprojekten jedes einzelnen Mieters ist lediglich ein einmaliger und wesentlich geringerer Aufwand notwendig.

Zudem wird so von Beginn an gewährleistet, dass die Installation alle rechtlichen, technischen und ästhetischen Anforderungen erfüllt. Auch die Nachbetreuung zur Gewährleistung der konformen An- und Abmeldung sowie eine Überwachung des Gesamtertrags und sogar eine mögliche Weiterverwertung von Überschüssen wird so möglich.



Brandschutz

Immer wieder geistert das Thema **Brandschutz und Brandgefahr** durch Steckersolargeräte durch die Gegend.

Dazu sei ausgeführt: *“Photovoltaikanlagen stellen im Vergleich mit anderen technischen Anlagen kein besonders erhöhtes Brandrisiko dar”,* so auf Seite 79 von *“Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland”,* FAQ von Dr. Harry Wirth, Fraunhofer ISE, nachzulesen.

Dabei bezieht er sich auf Anlagen mit mehr als zwei Solarmodulen, etwa auf klassische Dachanlagen, die aufgrund der stärkeren Ströme und höheren Spannungen (1000 V Gleichstrom, statt Schutzkleinspannung im Bereich der Steckersolargeräte) schon von sich aus im Vergleich wesentlich gefährlicher sein dürften als Steckersolargeräte.

Um die auf laienhaften technischen Vermutungen beruhenden und ohne Belege vorgebrachte Unterstellung der **Brandgefahr bei Verlegung in Wärmedämmung zu entkräften**, verweisen wir auf eine bereits 2017 (!) für die DGS - Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie Landesverband Berlin Brandenburg e.V. durch das PI Photovoltaik-Institut Berlin AG erstellte Studie, sowie auf *“Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft der Leiterinnen und Leiter der Berufsfeuerwehren und des Deutschen Feuerwehrverbandes - Umgang mit Photovoltaik-Anlagen”* vom November 2023.

In letzterer heißt es auf Seite 7: *“Dem Fachausschuss sind derzeit keine brandschutztechnischen*

Probleme bekannt. Unterhalb der Hochhausgrenze bestehen keine Bedenken, solange die Sicherstellung des zweiten Rettungsweges nicht eingeschränkt wird. (...) Alle Teile eines Balkonkraftwerks sind isoliert und somit berührungssicher. Wenn durch z. B. Anleitung oder Brandeinwirkung Teile beschädigt werden, ist ein Abstand von 1 m nach DIN VDE 0132 einzuhalten (analog allen anderen elektrischen Geräten, Kabeln, Verteilersteckdosen, wenn diese beschädigt sind). Bei einer Trennung des Steckers des Balkonkraftwerks bzw. des Wegfalls der Netzspannung schaltet der Wechselrichter in sehr kurzer Zeit ab.”

Die erwähnte Studie des PI Photovoltaik-Instituts mit dem Titel *“Untersuchung der Beeinflussung der Schutzkonzepte von Stromkreisen durch Stecker-Solar-Geräte”* folgert in Hinsicht auf die Belastung der Leitungen mit Standardlastprofilen: *“Dabei kommt es durch ein Stecker-Solar-Gerät nicht zu einer Erhöhung der Temperatur. Ganz im Gegenteil: Bei ca. 13 % der Leitungen im Stromkreis reduziert sich sogar der Strom um den PV-Strom.”* (S. 23).

Darüber hinaus kommen die Autor*innen zum Schluss, **dass selbst in einem Worst-Case Szenario, also bei Verlegung innerhalb eines Wärmeverbundsystems und einer sehr unwahrscheinlichen Maximalbelastung der Leitung, keine gefährdenden Temperaturen auftreten können** und es damit keinen signifikanten Anstieg des Brandrisikos durch Steckersolaranlagen gibt.



Anmeldung & rechtliche Vorgaben

Die einzige Stelle, bei der eine Gesamtanzahl der in Deutschland registrierten Balkonkraftwerke zu finden ist, ist das Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur. Das ist eine Online-Datenbank, in der sämtliche mit der Erzeugung und Speicherung erneuerbarer Energien in Zusammenhang stehende Anlagen eingetragen werden müssen - vom Offshore-Windpark bis zum Balkonkraftwerk. Sucht man dort nach PV-Anlagen mit bis zu 600 W Leistung, so findet man nur ein paar hunderttausend davon. Allein anhand der bekannten Absatzzahlen größerer Anbieter kann man aber bereits auf weit über eine Million tatsächlich in Betrieb befindliche Balkonkraftwerke schließen. Das liegt auch daran, dass bislang in keinem einzigen bekannten Fall Sanktionen bei einer Nichtanmeldung ausgesprochen wurden, obwohl diese durchaus gesetzlich möglich sind.

Dennoch melden immer mehr Nutzer ihre Kleinkraftwerke an, um ihren Pflichten nachzukommen. Das ist zum Glück in den letzten Jahren wesentlich einfacher geworden. Nach den geplanten Regelungen des Solarpakets I von 2023 werden bis dahin bestehende Meldepflichten beim Netzbetreiber wegfallen und es wird lediglich eine vereinfachte Anmeldung im Marktstammdatenregister verbleiben. Der Netzbetreiber wird dann von dort automatisiert benachrichtigt. Noch ist nicht klar, ob damit auch eine separate Benutzerführung in dieser Datenbank einhergeht. Im Folgenden wird der Anmeldeprozess anhand der bis ab dem 1.4.2024 gültigen, vereinfachten Benutzerführung beschrieben:

Natürliche Person
 Organisation (Unternehmen, Personengesellschaft, juristische Person, Behörde, Verband)

Daten zu natürlichen Personen werden im MaStR vertraulich behandelt und nicht veröffentlicht.

Anrede* Titel

Vorname* Nachname des Anlagenbetreibers (Hinweise zur Registrierung einer GbR oder von Familienkonstellationen finden Sie im Hilfetext.)*

Der Anmeldeprozess ist zweigeteilt. Zunächst ist der Betreiber des Geräts als sog. "Marktakteur" einzutragen. Dazu gehören neben Namen, Geburtsdatum und Adresse auch Kontaktdaten. Die weiteren möglichen Angaben können abgewählt oder nicht ausgefüllt werden.

Regi

Was möchten Sie registrieren?



Welche Art einer Solaranlage soll registriert werden?



Registrierung einer Solaranlage



Hier sind zunächst die grundlegenden Daten anzugeben. Dazu gehören die Art der Einheit (Solaranlage) und die spezifische Unterart (Steckerfertige Solaranlage). Aber auch die Frage, ob es sich um eine privat betriebene Anlage handelt, wird gestellt. Hier empfiehlt sich immer, „Ja“ zu wählen. Tut man dies nicht, dann verlässt man den geführten Anmeldepfad für Steckersolargeräte und muss sich durch eine ältere, umständlichere Anmeldemaske navigieren. Sollte die Anmeldung also für eine andere Person erfolgen, dann ist diese immer als separater „Marktakteur“ anzulegen, damit man hier „Ja“ auswählen kann.

2 Wurde Ihre Anlage bereits in Betrieb genommen oder befindet sie sich noch in Planung? ⓘ

In Betrieb In Planung

[Empfehlung](#)

Danach ist der Betriebsstatus anzugeben. Dabei kann man auch geplante Anlagen anmelden. Um sich aber Arbeit zu sparen, empfiehlt es sich, die Anmeldung erst nach der Inbetriebnahme durchzuführen.

Man hat nach dem Inbetriebnahmedatum vier Wochen dafür Zeit. In dem Fall kann man "in Betrieb" wählen.

3 Auf Grund Ihrer Angaben wurde die Registrierung für Sie vorbereitet

[Empfehlung](#)

An dieser Stelle steigt man mit „Registrierung starten“ in den zum Glück sehr kurzen technischen Teil der Anmeldung ein.

Registrierung einer steckerfertigen Solaranlage (sog. Balkonkraftwerk)

Technische Daten

Anzeige-Name der Solaranlage im MaSTR* ⓘ

Balkonkraftwerk 1 OG

Datum der erstmaligen Inbetriebnahme der steckerfertigen Solaranlage* ⓘ

Anzahl der Module** ⓘ

Anzahl

Gesamtleistung der Module (Angabe in Watt-peak)* ⓘ

Wp

umgerechnet in kWp* ⓘ

kWp

Zunächst braucht das Balkonkraftwerk einen Namen. Hier empfiehlt sich eine möglichst genaue Beschreibung mit Typenbezeichnung oder Anbringungsort. Das macht das Gerät unterscheidbarer.

Registrierung einer steckerfertigen Solaranlage (sog. Balkonkraftwerk)

Wechselrichterleistung* ⓘ

W

umgerechnet in kW* ⓘ

kW

Zählernummer* ⓘ

Betreiben Sie zusammen mit der Solaranlage auch einen Stromspeicher? ⓘ

Ja Nein

Die Angaben zur Geräteleistung dürften selbsterklärend sein und sollten den dem Gerät beigelegten Dokumenten bzw. der Webseite von Angebot oder Anbieter entnommen werden.

Die Zählernummer kann dem Stromzähler selbst oder der Stromrechnung entnommen werden.

Sofern mit dem Steckersolargerät auch ein Stromspeicher genutzt wird, kann dieser hier gleich mit angemeldet werden. Hierzu ist lediglich der Name, die Leistung (maximale Ausgangsleistung) sowie die Kapazität des Speichers anzugeben. Sobald alle Angaben gemacht wurden, kann die Registrierung mit Klick auf die entsprechende Schaltfläche abgeschlossen werden.

Steckerfertige Solaranlage (sog. Balkonkraftwerk) registriert

Sie haben die steckerfertige Solaranlage **Balkonkraftwerk 1. OG** mit der Speichereinheit **Balkonkraftwerk 1. OG** registriert. Ihrer steckerfertigen Solaranlage und Ihrer Speichereinheit wurden die folgenden MaSiR-Nummern zugewiesen:

SEK [REDACTED]

SEE [REDACTED]

Sie können für Ihre Unterlagen eine Bestätigung der Registrierung herunterladen:

[Registrierungsbestätigung herunterladen](#)

Hinweise:

- Die von Ihnen registrierten Daten werden vom MaSiR an den zuständigen Anschlussnetzbetreiber übermittelt.
- Die Daten unterliegen den vorgeschriebenen Vertraulichkeitsregeln, nach denen im MaSiR nur Daten veröffentlicht werden, die nicht personenbezogen sind.

Man wird dann zum Download der Registrierungsbestätigung geführt. Es empfiehlt sich, diese Bestätigung herunterzuladen und zu speichern. Sie kann für die Beantragung von Förderungen aber auch zu einem eventuellen Austausch mit dem Netzbetreiber notwendig sein. Allerdings kann sie bei Verlust auch beliebig häufig erneut aus dem Marktstammdatenregister heruntergeladen werden.



Finanzielle Aspekte

Einspeisevergütung,
Eigenverbrauch,
Autarkiegrad

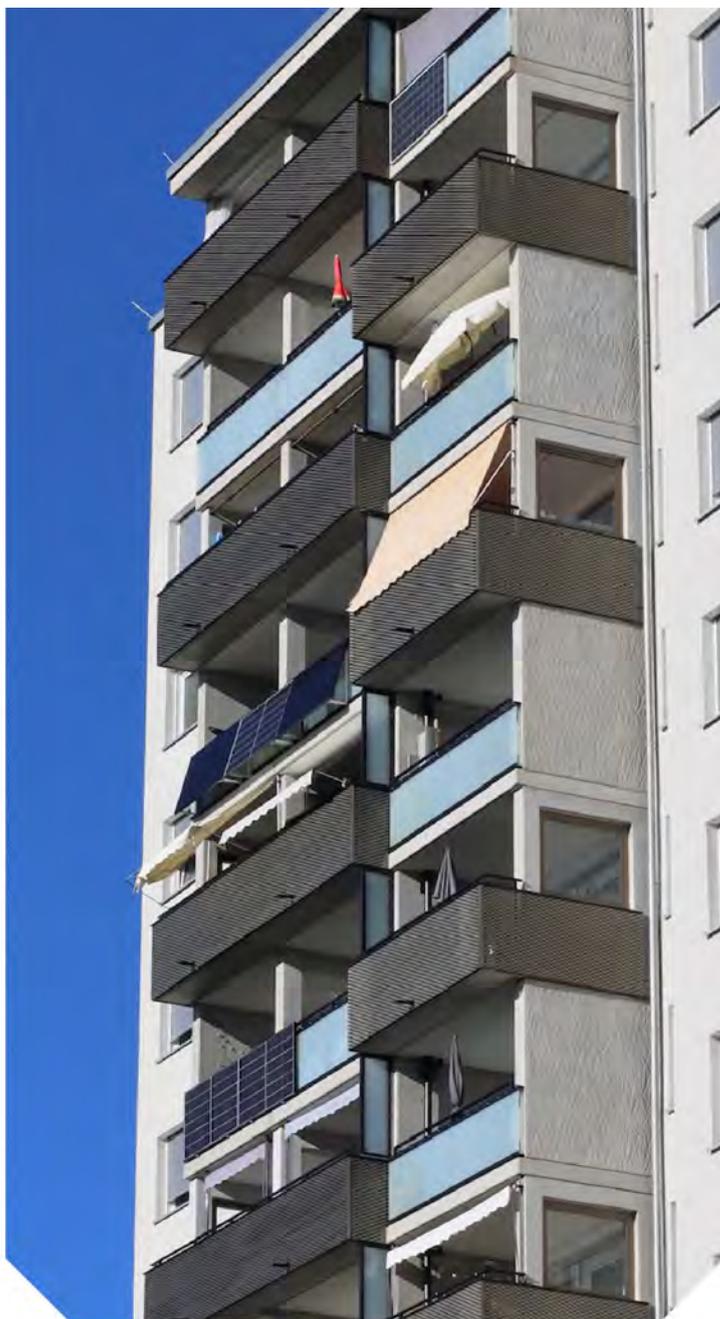
Einspeisevergütung: Die Einspeisevergütung für Photovoltaikanlagen (PV) in Deutschland ist eine Zahlung, die Besitzer von Solaranlagen erhalten, wenn sie den mit ihren Anlagen erzeugten Strom ins öffentliche Netz einspeisen. Diese Vergütung **wird pro Kilowattstunde bezahlt** und soll die Nutzung von Solarenergie fördern. Die Höhe der Vergütung hängt davon ab, wann die Anlage in Betrieb genommen wurde und sie ist für einen bestimmten Zeitraum festgelegt. Aktuell liegt diese bei ca. 8 Cent (2024).

Balkonkraftwerke erhalten in der Regel keine Einspeisevergütung.

Das ist für den Betreiber einer solchen Anlage natürlich ärgerlich, aber dennoch tut man etwas Gutes für die Allgemeinheit, da der eingespeiste Strom indirekt für niedrigere Stromkosten sorgt und Kohlestrom aus dem Netz verdrängt.

Eigenverbrauchsquote: Die Eigenverbrauchsquote bei einer Photovoltaikanlage zeigt an, wie viel vom selbst erzeugten Strom direkt im Haushalt oder Gebäude genutzt wird. Wenn **zum Beispiel 100 Kilowattstunden Strom erzeugt werden und 40 Kilowattstunden davon selbst verbraucht werden können, ist die Eigenverbrauchsquote 40%**. Eine hohe Eigenverbrauchsquote ist für ein Balkonkraftwerk besonders wichtig, da der eingespeiste Strom nicht vergütet wird.

Autarkiegrad: Der Autarkiegrad gibt an, wie unabhängig man von externen Stromquellen ist, also wie viel des Strombedarfs man selbst mit der Solaranlage decken kann. Wenn man zum **Beispiel fast den ganzen Strombedarf mit der Solaranlage abdecken kann und nur sehr wenig Strom aus dem öffentlichen Netz benötigt, dann ist der Autarkiegrad hoch**. Er ist ein Maß dafür, wie selbstständig man in Bezug auf die Stromversorgung ist



Nehmen wir an, es werden in einem Haushalt 1.000 Kilowattstunden (kWh) Strom in einem bestimmten Zeitraum verbraucht. Eine Photovoltaikanlage erzeugt in derselben Zeit 800 kWh Strom, und man nutzt davon 600 kWh direkt selbst. Die restlichen 200 kWh fließen ungenutzt ins Netz. Wenn die Solaranlage nicht ausreichend Strom produziert, bezieht man zusätzlich 400 kWh aus dem öffentlichen Netz.

Der Autarkiegrad berechnet sich dann so: Von den 1.000 kWh, die man verbraucht hat, wurden 600 kWh selbst erzeugt und genutzt. Das bedeutet, der Autarkiegrad ist $600 / 1.000 = 60\%$.

Man ist also zu 60% autark, das heißt 60% des Strombedarfs können durch die eigene Photovoltaikanlage gedeckt werden

Balkonkraftwerk für alle 55

Was kann man finanziell erwarten? Berechnungen und Beispiele

Als Steckersolarbetreiber möchte man natürlich wissen, was man an Ertrag bzw. Amortisationszeit erwarten kann. Das ist nicht so einfach zu bestimmen, denn es hängt von sehr vielen Faktoren ab:

Standort der Anlage: 2019 in Bremen z.B. konnte bei einer 600 W Anlage mit ca. 445 kWh Ertrag im Jahr gerechnet werden und in München mit 498 kWh. Bis zu ca. 20% Unterschied kann es ausmachen, ob man im Norden Deutschlands wohnt oder im Süden.

Ausrichtung der Anlage: Die Ausrichtung der PV-Module nach Himmelsrichtungen hat einen enormen Einfluss auf den Ertrag und muss bei einer Auslegung unbedingt berücksichtigt werden.

Neigung der PV-Module: Bei einer Balkonsolaranlage, die an einem Balkongeländer hängt, ist ein sehr geringer Neigungswinkel am Gelände empfehlenswert (70° bis 90°). Dies bringt einige Vorteile bezüglich der mechanischen Belastung des Geländers und der Windanfälligkeit. Außerdem erhöht es den Ertrag im Winter, verringert allerdings den Gesamtertrag. Siehe Abbildungen 33 und 34: 30° vs. 70°

Akku: Ein Akku kann hilfreich sein, um den produzierten Strom dann auch z.B. nachts oder abends zu nutzen. Allerdings bedeutet ein Akku auch Verluste (ca. 20%) und höhere Investitionskosten. Zudem ist die Größe des Akkus entscheidend für die Kosteneffizienz.

Um all diese Einflüsse sinnvoll berücksichtigen zu können, gibt es sogenannte PV-Rechner. Zwei davon werden im Folgenden vorgestellt.

Monthly energy output from fix-angle PV system
(C) PVGIS, 2023



Abbildung 33: 600 W Balkonsolaranlage mit Aufhängung 30° (Quelle PVGIS https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)

Monthly energy output from fix-angle PV system
(C) PVGIS, 2023



Abbildung 34: 600 W Balkonsolaranlage mit Aufhängung 70° (Quelle PVGIS https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)

PV Rechner

Um eine Abschätzung zu machen, wann sich ein Balkonkraftwerk am Ende lohnt, gibt es sogenannte PV Rechner.



Ein sehr bekannter Rechner ist von der HTW-Berlin (bekannt durch Prof. Quaschnig). Er ist zu finden unter: <https://solar.htw-berlin.de/rechner/stecker-solar-simulator/>

Dieser Rechner ist **besonders für Anfänger** sehr gut geeignet und bietet eine sehr gute erste Abschätzung für Balkonsolaranlagen. Beachten sollte man allerdings, dass der Rechner **meteorologische Daten aus 2017 verwendet** (ein relativ schlechtes Jahr) und für den Standort Brandenburg ausgelegt wurde. Für eine erste Einschätzung ist das aber kein Problem. Die **Bedienung ist sehr intuitiv und besonders anfangersfreundlich**.

PVTools

Ort eingeben

Adresse
200, Mühlenviertel, Deutschland

Speicherkosten / kWh

Kochplatten
2 (2000 W)

Behälter / Warmwasser
100 l

Wärmepumpe
0,0

Umgekehrte Wärmepumpe
0

Installationskosten ohne Akku
600

Ausrichtung
0

Neigung
70

Installierte Leistung
600

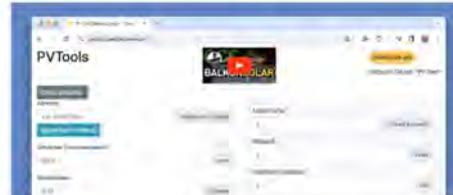
Ausrichtung zur Berechnung hinzufügen

Der erste Fall stellt ein **600 W Balkonkraftwerk in Köln** dar.

Der **angenommene Haushalt** hat einen Stromverbrauch im Jahr von **2.500 kWh** (entspricht einem **durchschnittlichen Stromverbrauch eines 2-3 Personen Haushaltes**) und einen angenommenen **Strompreis von 32 Cent pro kWh**.

Die **Einspeisevergütung muss auf 0 Cent** gestellt werden, da für Balkonkraftwerke keine Vergütung gezahlt wird.

Die **Installationskosten ohne Akku wurden hier mit 600€** veranschlagt,



Ein weiterer Rechner ist unter <https://www.akkudoktor.net/pvtool-rechner/> zu finden, der von einem der Autoren (Andreas Schmitz) betrieben wird.

Dieser Rechner ist ebenfalls kostenlos, werbe- und anmeldefrei, bietet aber noch ein paar zusätzliche Möglichkeiten, um auch **große bzw. komplexe PV-Anlagen zu simulieren** und wird von der Akkudoktor-Community bzw. dem Team entwickelt und gepflegt.

Ein paar Besonderheiten: Finden der **optimalen Akkugröße, PV-Anlagengröße unbegrenzt, Standort einstellbar, Eigenes Lastprofil** einstellbar, **mehrere Strings** (Ost-/West-Anlagen) sind möglich, **Vergleichsjahr** ist auswählbar

Beispiel: Balkonkraftwerk 600 W / 600 W_p

was zu jetzigen Zeiten eher hoch gegriffen ist. Die Speicherkosten sind in diesem Fall unerheblich, da wir hier keinen Speicher / Akku betrachten.

Im nächsten Schritt muss man die **Ausrichtung einstellen**. Die entsprechenden Himmelsrichtungen sind in der **Tabelle links** zu sehen.

Süden	0°
Osten	-90°
Norden	180°
Westen	90°

Danach muss die **Neigung** eingestellt werden. **90° entsprechen einem senkrecht hängenden Solarmodul, 0° wäre waagrecht**.

Das **Bild rechts** zeigt eine Aufhängung mit ca. 80° Neigungswinkel.

Nachdem man den Neigungswinkel ausgewählt hat, muss die **installierte Leistung** eingestellt werden. Dabei handelt es sich um die gesamte Leistung aller angeschlossenen PV Module. Das ist wichtig, da die **Modulleistung durchaus größer**

Speichergröße	Selbstgenutzter Strom / Jahr	Eingespeister Strom / Jahr	Eigenverbrauchsquote	Autarkiegrad	Ersparnis / Jahr durch Akku	Amortisation nur Speicher	Ersparnis / Jahr Anlage	Amortisation Anlage	Weitere Details
0.0 kWh	524.65 kWh	175.92 kWh	68.67 %	21.04 %	0.00 €	0.00 Jahre	167.89 €	5.96 Jahre	Details

sein kann als die Wechselrichterleistung. Dazu aber gleich noch ein interessantes Beispiel. In diesem Fall gehen wir von 600 W_p an Modulleistung aus.

Ist das eingestellt, muss man als nächstes auf "Ausrichtung der Berechnung hinzufügen" klicken. Danach wird der String dann aufgenommen.

Jetzt könnte man **theoretisch noch einen String aufnehmen**, also eine zweite Reihe an PV-Modulen. Das kann **z.B. bei Ost-West-Anlagen** passend sein.

In diesem Fall haben wir aber nur den einen PV String.

Unter "Erweiterte Einstellungen" kann man **Verluste einstellen**, aber auch die Maximalleistung des Wechselrichters oder die Effizienz des Speichers. Interessant ist auch das Vergleichsjahr, da man die Ergebnisse so für verschiedene Jahre vergleichen kann. Die Unterschiede können durchaus groß sein.

Dann auf **Berechnen drücken** und schon kommen die Ergebnisse:

Ersichtlich ist hier der **selbstgenutzte Strom im Jahr, also der Eigenverbrauch**. Daneben der

eingespeisten Strom: Also der Strom, der nicht selbst genutzt werden konnte und so ins Netz eingespeist wurde.

Unter **Details** ist dann der **Gesamtertrag** zu sehen, in diesem Fall selbstgenutzter Strom + eingespeister Strom = ca. 530 kWh

Die **Eigenverbrauchsquote ist hier mit 80% schon sehr gut**, der Autarkiegrad ist mit 18% eher niedrig. Das bedeutet, dass 18% des eigenen Verbrauchs aus der PV-Anlage gedeckt werden kann.

Wichtig zu wissen:

Stellt man nichts anderes ein,

dann wird ein **Standardlastprofil** genommen. Ein Standardlastprofil ist quasi wie ein durchschnittlicher Tagesablauf für den Energieverbrauch von Haushalten. Es ist wie ein Muster, das zeigt, wann und wie viel Energie im Durchschnitt verbraucht wird – zum Beispiel mehr am Morgen, wenn alle aufstehen und weniger in der Nacht. Das hilft den Energieanbietern zu schätzen, wie viel Strom oder

Gas sie bereitstellen müssen, besonders für Haushalte oder kleine Geschäfte, die keine eigene, detaillierte Messung ihres Verbrauchs haben.

Natürlich passt dieses Profil nicht zu jeder Zeit, z.B. wenn man viel im Home-Office ist oder ein E-Auto besitzt. Auch eine **Wärmepumpe kann das Profil stark ändern** und hat damit natürlich direkten Einfluss auf das Ergebnis des PV-Tools. Falls ein **eigenes Lastprofil** vorhanden ist, kann es unter "Import individueller stündlicher Verbrauch" hochgeladen und die Ergebnisse damit auf das eigenes Profil angepasst werden.

Ausrichtung 0° - Neigung: 70° - 2000 Wp

Berechnen Zurücksetzen Erweiterte Einstellungen

Speichergrößen: 500 kWh 1000 kWh 1500 kWh Add tag...

Vergleichsjahr: 2019

Import individueller stündlicher Verbrauch: Vorlage herunterladen für das o.g. Vergleichsjahr 2019

Datei auswählen Keine ausgewählt

Aktiviere CSV Datei Deaktiviere Datei

Systemverluste PV: 12 %

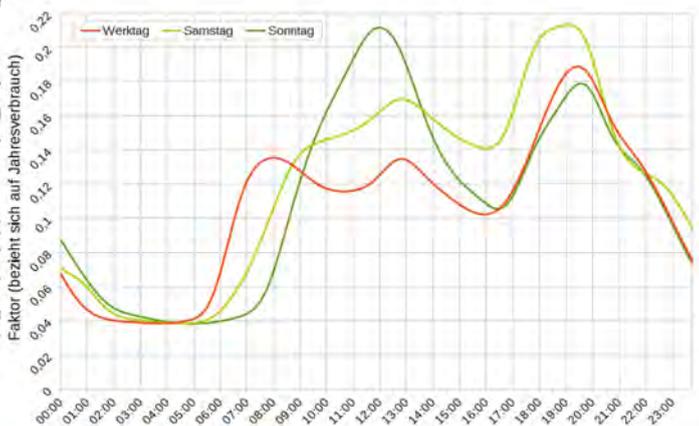
Minimaler Ladezustand Speicher: 20 %

Ladeeffizienz Speicher (Laden / Entladen): 90 % 90 %

Maximale Leistung Wechselrichter (0 = keine Prüfung): 800 W

Maximale Lade/Entladeleistung Speicher (0 = keine Prüfung): 0 W

Maximale Netzeinspeisung z.B. für 70% Regel (0 = keine Prüfung): 800 W



Standardlastprofile

Beispiel: Balkonkraftwerk 800 W / 800 W_p

Sehen wir uns als nächstes an, was ein 800 W Mikrowechselrichter mit 800 W_p Modulleistung bringt.

PVTools



Unterstütze uns

Nutze als Grund: "PV-Tool"

Daten eingeben



Speichergröße	Selbstgenutzter Strom / Jahr	Eingespeicherter Strom / Jahr	Eigenverbrauchsquote	Autarkiegrad	Ersparnis / Jahr durch Akku	Amortisation nur Speicher	Ersparnis / Jahr Anlage	Amortisation Anlage	Weitere Details
0.0 kWh	529.29 kWh	179.48 kWh	69.28 %	21.23 %	0.00 €	0.00 Jahre	169.37 €	3.55 Jahre	Details

FAQs und News

[Impressum](#) / [Datenschutz](#)

Der selbstgenutzte Strom ist hier ca. 70 kWh pro Jahr höher als mit der 600 W / 600 W_p Variante. Interessant ist, dass die eingespeiste Energie um ca. 106 kWh gestiegen ist. Das führt zu einer niedrigeren Eigenverbrauchsquote. Also der **höhere Ertrag kann quasi selbst kaum verwendet werden**.

Lohnt sich ein 800 W Wechselrichter?

Wie sieht es denn nun aus, wenn ein 600 W Wechselrichter mit 800 W_p PV-Modulen betrieben wird? Lohnt sich dann die Anschaffung eines 800 W Wechselrichters? Die Ergebnisse einer Anlage mit 600 W Wechselrichter und 800 W_p Modulleistung:

Speichergröße	Selbstgenutzter Strom / Jahr	Eingespeicherter Strom / Jahr	Eigenverbrauchsquote	Autarkiegrad	Ersparnis / Jahr durch Akku	Amortisation nur Speicher	Ersparnis / Jahr Anlage	Amortisation Anlage	Weitere Details
0.0 kWh	524.65 kWh	175.92 kWh	68.67 %	21.04 %	0.00 €	0.00 Jahre	167.89 €	5.96 Jahre	Details

Vergleicht man diese Werte, wird ersichtlich: **Es ändert sich fast nichts**.

In den meisten Fällen wird es also kaum etwas bringen, einen 800 W Wechselrichter extra nachzukaufen. **Viele moderne Wechselrichter sind aber auch per Software auf 800 W "updatebar"**, das bringt selbstverständlich keinerlei Nachteile mit sich.



Beispiel: Balkonkraftwerk 800 W mit Akku + 2000 W_p

Ein sehr interessanter Fall, der mit modernen Balkonkraftwerk-Akku Systemen möglich wird, ist der Folgende:

Im Kapitel *Speicher* sind einige **Akkusysteme** benannt, die mit Powerstations (mobile Akkus mit integriertem PV- und 230V-Wechselrichter) ge- koppelt werden können.

Hier ein Beispiel der Firma Ecoflow.

Die **PV-Module sind an den Wechselrichter angeschlossen und der mobile Akku (Powerstation) ebenfalls daran.**

Nachts/Abends, wenn kein Strom von den PV-Modulen mehr geliefert werden kann, kann der Wechselrichter Energie aus dem Akku ins Hausnetz einspeisen.

Wie viel er einspeisen muss, kann er entweder über smarte Steckdosen (für einzelne Verbraucher wie z.B. einen Kühlschrank) messen oder über eine konstante Einspeisung in der Nacht.

Optimal wäre es, wenn der Verbrauch zentral gemessen und übertragen wird, so wie es in großen PV-Anlagen gemacht wird. Das können allerdings nur einige der Systeme.

Man kann PV-Module zum einen an die Powerstation an schließen und damit den Akku laden, zum anderen kann man sie auch an den Wechselrichter hängen.

Damit ist es möglich, die bald maximal erlaubten **2000 W_p an Modulleistung an eine Balkonsolaranlage zukoppeln und dann mit maximal 800 W_p einzuspeisen.**

Der große **Vorteil: Es bleibt die erleichterte Anmeldung für Balkonkraftwerke, man profitiert aber von einer Anlage mit immerhin 2000 W_p Modulleistung.**

Die Frage bleibt aber, ob sich das finanziell rechnet. Dieser Fall kann zumindest näherungsweise im

PV-Tool simuliert werden. Wobei das PV-Tool davon ausgeht, dass der Wechselrichter immer die Last ausgleicht, was mit dem Ecoflow System z.B. nur bedingt möglich ist, da der Verbrauch nur über die smarten Steckdosen gemessen wird. Man müsste also, zumindest für die wichtigsten Nachtverbraucher, eine Steckdose zwischenschalten. Das ist zwar machbar, aber je nachdem teuer.

Nun stellen wir 2000 W_p an Modulleistung ein, die Maximalleistung des Wechselrichters und die Einspeisung auf 800 W.

Die Effizienz des Akkus kann man auf 90% in beide Richtungen stellen, sodass sich ein Gesamtwirkungsgrad von 81% ergibt.

Die Installationskosten wurden mit 1000 € angenommen und der Akku mit 750 €/kWh.

Eine solche Powerstation mit 2 kWh liegt im Bereich von 1500 €.

In den Ergebnissen erkennt man:

Mit steigender Akkugröße steigt auch der Eigenverbrauch sehr stark an. Bei einem 2 kWh Akku bis immerhin 63%.

Was ebenfalls beachtlich ist: **Der Autarkiegrad liegt bei 48%, das bedeutet: Rund die Hälfte des eigenen Verbrauchs** (2500 kWh jährlicher Verbrauch) kann so abgedeckt werden.

Die **Amortisation der Anlage steigt mit dem 2 kWh Akku zwar um 2 Jahre an**, dennoch nicht so hoch, dass sich die Anlage nicht amortisieren würde.

Warum ist das so interessant?

Man kann mit **überschaubarem Aufwand auf einen recht hohen Autarkiegrad von 48% kommen** und hat dennoch die **Vorteile der vereinfachten Anmeldung.**

Zudem besitzen viele eine solche Powerstation bereits, z.B. fürs Camping etc. In diesem Fall ist es auf jeden Fall eine Überlegung wert.



Ausrichtung 0° - Neigung: 70° - 2000 Wp



Berechnen

Zurücksetzen

Erweiterte Einstellungen

Speichergrößen:

500 x

1000 x

1500 x

Add tag...

Wh

Vergleichsjahr:

2019

Import individueller stündlicher Verbrauch:

Vorlage herunterladen für das o.g. Vergleichsjahr 2019

Datei auswählen

Keine ausgewählt

Aktiviere CSV Datei

Deaktiviere Datei

Systemverluste PV:

12

%

Minimaler Ladezustand Speicher:

20

%

Ladeeffizienz Speicher (Laden / Entladen):

90

90

%

Maximalleistung Wechselrichter (0 = keine Prüfung):

800

W

Maximale Lade/Entladeleistung Speicher (0 = keine Prüfung):

0

W

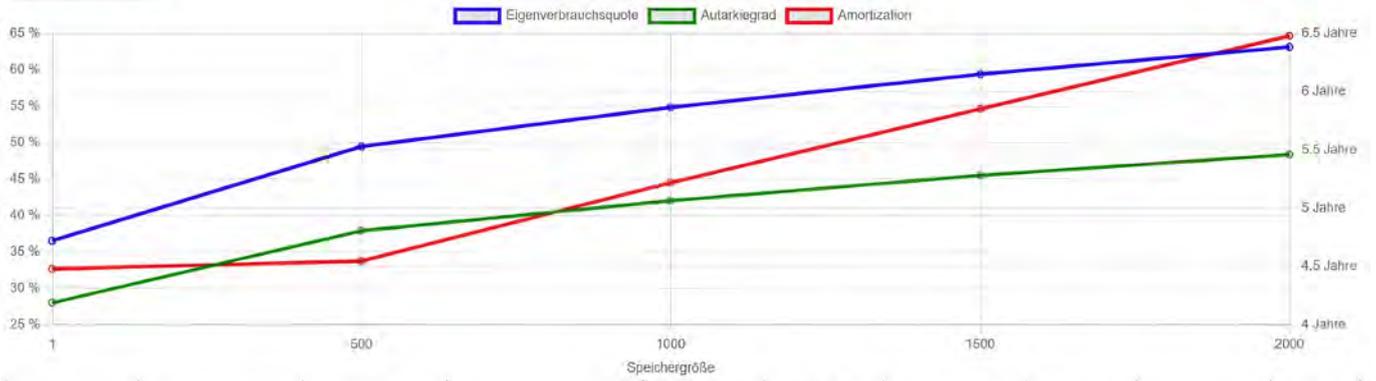
Maximale Netzeinspeisung z.B. für 70% Regel (0 = keine Prüfung):

800

W



Daten eingeben



Speichergröße	Selbstgenutzter Strom / Jahr	Eingespeicherter Strom / Jahr	Eigenverbrauchsquote	Autarkiegrad	Ersparnis / Jahr durch Akku	Amortisation nur Speicher	Ersparnis / Jahr Anlage	Amortisation Anlage	Weitere Details
0.0 kWh	698.24 kWh	704.75 kWh	36.56 %	28.01 %	0.00 €	0.00 Jahre	223.44 €	4.48 Jahre	Details
0.5 kWh	945.15 kWh	430.52 kWh	49.48 %	37.91 %	79.01 €	4.75 Jahre	302.45 €	4.55 Jahre	Details
1.0 kWh	1047.84 kWh	316.51 kWh	54.86 %	42.03 %	111.87 €	6.70 Jahre	335.31 €	5.22 Jahre	Details
1.5 kWh	1134.56 kWh	220.25 kWh	59.40 %	45.51 %	139.62 €	8.06 Jahre	363.06 €	5.85 Jahre	Details
2.0 kWh	1205.83 kWh	141.17 kWh	63.13 %	48.37 %	162.43 €	9.23 Jahre	385.86 €	6.48 Jahre	Details

FAQs und News

[Impressum / Datenschutz](#)

