

Wie lege ich meine Photovoltaikanlage aus?

Eine Photovoltaikanlage wandelt die auftreffenden Sonnenstrahlen in elektrische Energie um. Dies geschieht durch eine Ladungstrennung in den Halbleiterelementen des Photovoltaikmoduls. Die zu erzielende Leistung eines Photovoltaikmoduls wird als Nennleistung bzw. Spitzenleistung (Watt peak) W_p unter Testbedingungen angegeben. Für eine optimale Energieausbeute sollte möglichst klares Wetter herrschen und die Sonnenstrahlen im rechten Winkel auf das Solarmodul treffen. Bei einem **starr montierten Modul** verändert sich über den Verlauf des Tages und des Jahres der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen zum Solarmodul und die zu gewinnende Leistung sinkt. Die Nutzung eines **zweiachsigen Nachführungssystems** ermöglicht es das Solarmodul dem Lauf der Sonne folgen zu lassen, wodurch die bestmögliche Einstrahlung eingefangen wird.

Zunächst ist bei der Planung einer Photovoltaikanlage zu entscheiden, ob der zu erzeugende Strom für eine **autonome Stromversorgung** (Inselanlage ohne Netzanschluss d. h. eigene Produktion des benötigten Stroms) oder **parallel zu einem Netzanschluss** (Stromeinspeisung in das Netz) genutzt werden soll.

Bei der **autonomen Stromversorgung** ist zu ermitteln wie viel Energie am Tag benötigt wird. Hierfür sind die Leistungen der einzusetzenden Geräte und deren tägliche Betriebsdauer zu ermitteln und miteinander zu multiplizieren. Beispielhaft ist dies in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Geräte	Leistung des Gerätes	Betriebsdauer pro Tag	Energie
10 LED Lampen (12 V DC, je 54 LEDs) (Art. Nr. 840048)	10 Stück x 4 W x = 40 W	3,5 h	140 Wh
Solare Kühltruhe (Art. Nr. 700932)	40 W	5 h	200 Wh
Wasserkocher	250 W	0,2 h	50 Wh
Summe	330 W		390 Wh

Zur Vermeidung einer unverhältnismäßig groß ausgelegten Photovoltaikanlage ist zu empfehlen möglichst sparsame Geräte einzusetzen. Deren gegenüber herkömmlichen Geräten geringerer Stromverbrauch kann bei passender Auslegung mit einer autonomen Inselanlage d. h. einer Photovoltaikanlage gedeckt werden. Die maximale Leistung der parallel zur gleichen Zeit zu gebrauchenden Geräte ergibt sich durch die Addition der einzelnen Geräteleistungen. Im obigen Beispiel sind dies für die sparsamen Verbraucher 330 W.

Zur Ermittlung der mit den Photovoltaikmodulen zu erzielenden Leistung kann pro Tag überschlagsmäßig für fest montierte Systeme von der Nennleistung für eine Sonnenscheindauer von 4 h veranschlagt werden. Bei Nachführungssystemen erhöht sich die Energieausbeute um ca. 50 %.

Zur Deckung des Energiebedarfs von 390 Wh wären bei 4 angenommenen Sonnenstunden Solarmodule mit einer Spitzenleistung von 97,5 W nötig.

$$W_p = \frac{390 \text{ Wh}}{4 \text{ h}} = 97,5 \text{ W}$$

Hierfür wäre somit ein Photovoltaikmodul mit 100 W_p bzw. zwei Photovoltaikmodule mit je 50 W_p nötig. Bei der Nutzung eines Nachführungssystems würde ein 85 W_p Modul ausreichen.

Die **Leistung P** wird in **Watt** bzw. mit dem Kurzzeichen **W** gemessen und stellt das Arbeitsvermögen eines Gerätes pro Zeit dar.

Die mit einem Gerät zu erzielende **Energie E** wird in **Watt-Stunden** bzw. dem Kurzzeichen **Wh** gemessen. Sie gibt an, welche Arbeit das Gerät verrichten kann bzw. welche Leistung P wie lange bereitgestellt werden kann. Wird eine LED Lampe mit einer Leistung P von 4 W 3,5 Stunden [mit Kurzzeichen h] lang betrieben so wird hierfür eine Energie von 14 Wh [= 4 W x 3,5 h] benötigt.

Die **Nennleistung bzw. Spitzenleistung (Watt peak) W_p** eines Photovoltaikmoduls bezieht sich auf eine Sonneneinstrahlung von 1.000 W/m^2 , einer Temperatur von 25 °C und einem Verhältnis der von der Sonne ausgestrahlten Solarstrahlung auf ihrem Weg durch die Erdatmosphäre bezogen auf die Höhe bzw. Dicke der Erdatmosphäre von 1,5 (Air Mass = 1,5).

Photovoltaikanlagen für den Inselbetrieb werden in der Regel für eine Systemspannung von 12 V, 24 V oder 48 V konzipiert. Eine Systemspannung von 12 V wird von vielen Gleichspannungsverbrauchern, wie z. B. Radios, Lampen und Kühlschränken, gefordert.

Sind viele bzw. große Verbraucher mit elektrischer Energie zu versorgen ist vorzugsweise eine 24 V oder 48 V Spannungsebene zu wählen, da bei dieser, gegenüber einer Spannungsebene von 12 V, der Strom geringer gehalten werden kann und kostengünstigere elektrische Komponenten (Laderegler und Leitungen) einzusetzen sind. Hierbei wäre der Einsatz passender Geräte für eine 24 V Spannungsebene zu empfehlen bzw. ein Wechselrichter für 230 V Wechselspannungsverbraucher zu installieren.

Der benötigte Strom ergibt sich durch die Division der maximalen Leistung zur selben Zeit (im schlimmsten Fall der Leistung aller Verbraucher) durch die Spannung des Systems (hier im Beispiel 12 V):

$$I = \frac{P}{V} \quad I = \frac{330 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 27,5 \text{ A}$$

Hierbei ist zu beachten, dass viele elektrische Geräte, wie z. B. Klimaanlage und Kompressoren, kurzzeitig einen bis zu 10-fach höheren Anlaufstrom als den eben berechneten Strom benötigen. Dementsprechend sind die nachfolgenden Komponenten (wie z. B. der Laderegler, der Wechselrichter, der Akkumulator und die Leitungen) auszulegen.

Zur Auslegung des Akkumulators ist die Kenntnis des täglichen Bedarfes an elektrischen Strom nötig. Diese ergibt sich durch die Addition der Energie der zu nutzenden Verbraucher. Für das obige Beispiel (siehe Tabelle, 4. Spalte) wird eine elektrische Energie von 390 Wh pro Nutzungstag benötigt.

Die benötigte Akkumulatorgröße können Sie mittels der folgenden Formel ermitteln.

$$C = \frac{\text{Energie [Wh/Tag]} \times \text{Autonomietage [Tage]}}{\text{Spannung [U]} \times [1 - \text{max. Entladetiefe}]}$$

Für zwei Autonomietage, d. h. Tage an welchen Sie sich mit ihrer Photovoltaikanlage selbst autonom ohne Energie von außen versorgen können, und einer Entladetiefe von 50 % des Akkumulators ergibt sich eine Akkumulatorleistung von rechnerisch 130 Ah.

$$C = \frac{390 \text{ Wh/Tag} \times 2 \text{ Tage}}{12 \text{ V} \times [1 - 50]} = \frac{780 \text{ Wh}}{6 \text{ V}} = 130 \text{ Ah}$$

Hierfür wäre dann eine 120 Ah oder ein 200 Ah Akkumulator zu wählen

Der benötigte Leiterquerschnitt ist von der Spannung, dem Strom und der Leiterlänge abhängig. Er lässt sich mit der Dichte von Kupfer von 0,0179 Ωmm²/m nach der folgenden Formel berechnen:

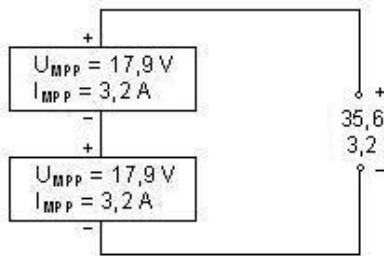
$$A = \frac{2 \times \text{einfache Leiterlänge [m]} \times \text{Strom I [A]} \times 0,0179 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}}{\text{Spannung U [V]} \times \text{zulässiger Spannungsabfall}}$$

Bei einer einfachen Leiterlänge von 10 m, einem Strom von 3,2 A, einer Spannung von 35,6 V und einem Spannungsabfall von 1 % (0,01) würde sich ein Leiterquerschnitt von 9,5 mm² ergeben. Der zu wählende Leiterquerschnitt beträgt somit 10 mm².

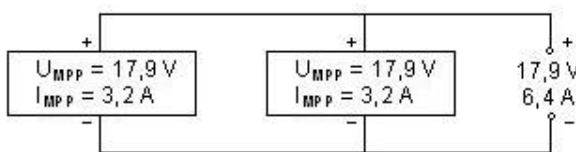
$$A = \frac{2 \times 10 \text{ m} \times 3,2 \text{ A} \times 0,0179 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}}{12 \text{ V} \times 0,01} = 9,5 \text{ mm}^2$$

Die Module der Photovoltaikanlage können in Reihe und Parallel zusammengeschlossen werden. Bei der Reihenschaltung addiert sich die Spannung und der Strom bleibt konstant. Werden die einzelnen Module parallel angeschlossen addiert sich der Strom und die Spannung bleibt konstant. In Abhängigkeit der Art des Ladereglers, des maximalen Modul- und Laststroms und der maximalen Modulspannung werden die Photovoltaikmodule in der Praxis sowohl in Reihe als auch Parallel angeschlossen.

Bei zwei Photovoltaikmodulen mit einer Nennleistung von 50 W_p (Nennspannung U_{MPP} von $17,9 \text{ V}$, Nennstrom I_{MPP} von $3,2 \text{ A}$; Art. Nr.: 70105) ergibt sich bei einer Reihenschaltung eine Nennspannung von $35,6 \text{ V}$ und eine Nennstrom von $3,2 \text{ A}$.



Bei der Parallelschaltung der Module ergäbe sich eine Nennspannung von $17,9 \text{ V}$ und ein Strom von $6,4 \text{ A}$.



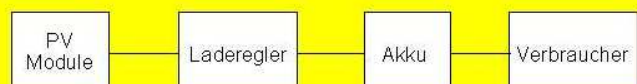
Aufgabe des Ladereglers ist es mit der von den Photovoltaikmodulen erzeugten Leistung die Batterie/n zu laden. Hierbei kann zwischen einem PWM (Puls-Weiten-Modulator) Laderegler und einem MPP[T] (Maximal Power Point [Tracker]) Laderegler unterschieden werden. Ein PWM Laderegler besitzt eine feste Ladekurve nach welcher der/die Akkumulator/en geladen wird/werden. Bei einem MPP[T] Laderegler wird zwischen der Spannung und dem Strom der Arbeitspunkt mit der maximalen Leistung ermittelt und genutzt. Dies ist z. B. in den frühen Morgenstunden von Vorteil, wenn die Photovoltaikmodule zwar schon Spannung erzeugen jedoch noch keinen hohen Strom liefern. Ferner reduziert ein MPP[T] Laderegler die Spannung (und erhöht den Strom) bis auf die nutzbare Ladespannung der Batterie/n und erzielt gegenüber einem PWM Laderegler eine bis zu ca. 30 % höhere nutzbare Energieausbeute.

Der auszuwählende Laderegler sollte

- für die Spannung der Solarmodule,
- für den Strom der Solarmodule,
- für die gewünschte Nennspannung des Akkumulators und
- für die Art des zu ladenden Akkumulators (AGM bzw. Blei-Säure Akkus) ausgelegt sein.

Für das obige Beispiel wäre bei einer Parallelschaltung der Photovoltaikmodule z. B. der PWM Laderegler von Steca PRS 1010 (Art. Nr. 70052) mit einer maximalen Spannung von 47 V DC und einem maximalen Modulstrom von 10 A zu wählen. Bei einer Reihenschaltung der Module könnte der PWM Solarladeregler CMP 12 mit einem Modulstrom und Laststrom von 12 A (Art. Nr. 701002) eingesetzt werden. Wahlweise wäre der hochwertige Laderegler Solar MPP 150 Duo für 12V Batteriesysteme (Art. Nr. 700896) ebenfalls sehr gut einzusetzen.

Der von den Photovoltaikmodulen (PV-Modulen) produzierte Gleichstrom wird einem Laderegler zugeführt, welcher die Akkumulatoren lädt. Von dem Akkumulator werden dann Ihre Verbraucher mit Gleichstrom versorgt.



Bei der Nutzung eines Akkumulators ist zu beachten, dass dieser eine ausreichende Kapazität und eine passende Systemspannung besitzt. Beträgt die Systemspannung 24 V so können zwei 12 V Akkus in Reihe geschaltet werden. Bei mehreren Akkubänken sollte der Pluspol der ersten Reihe und der Minuspol der letzten Reihe bzw. der Minuspol der ersten Reihe und der Pluspol der letzten Reihe angeschlossen werden, um den Akkumulator gleichmäßig zu beanspruchen. Zur Schonung des Akkumulators und damit der Erhöhung der Lebensdauer ist eine Tiefentladung zu vermeiden.

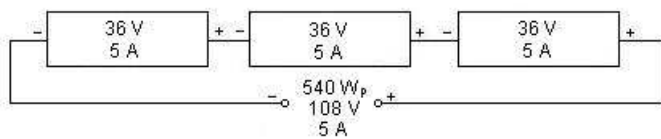
Eine **netzparallele Photovoltaikanlage** kann für eine **kombinierte Eigennutzung und Einspeisung** sowie eine ausschließliche **Einspeisung in das öffentliche Stromnetz** konzipiert werden.

Bei der kombinierten Eigennutzung und Einspeisung werden zunächst soweit wie möglich Ihre Verbraucher mit dem regenerativ erzeugten Strom versorgt sowie falls darüber hinaus weiterer Strom vorhanden ist, dieser in das öffentliche Netz eingespeist. Hierbei bietet der bestehende Netzanschluss die Sicherheit, dass bei einer nicht ausreichenden Sonneneinstrahlung aus dem Stromnetz Energie bezogen werden kann und Ihre Verbrauchersicherheit gegeben ist. Von der Vergütung her bietet das EEG (Erneuerbare Energien Gesetz) seit seiner Novellierung im Jahr 2009 die Möglichkeit neben der Vergütung von 43,01 Cent (netto) pro kWh (netto) für den in das Netz einzuspeisenden elektrische Strom auch den selbst genutzten Strom mit 25,01 Cent pro kWh (netto) zu vergüten.

Zur Minimierung des Energiebedarfs ist jedoch auch bei einem Netzanschluss und der damit verbundenen angenehmen Versorgungssicherheit die Wahl von energieeffizienten Geräten zu empfehlen, da mit diesen mehr Strom in das Netz eingespeist werden kann bzw. weniger Strom aus diesem bezogen werden muss.

Bei der Wahl und Verschaltung (Reihen- und Parallelschaltung) der Solarmodule ist darauf zu achten, dass ein für den Solar-Netzeinspeisewechselrichter geeigneter Eingangsspannungs- und Eingangsstrombereich sowie eine maximale Leistung eingehalten werden. Laderegler mit der Möglichkeit zwei Strings d. h. eine Kette miteinander verschalteter Solarmodule, anzuschließen, eignen sich vor allem, wenn Sie beabsichtigen zwei Modultypen d. h. Module verschiedener Spannung und Strom (ein Modultyp pro String) und/oder eine ungleiche Anzahl von Modulen einzusetzen oder Verschattungsauswirkungen vorbeugen möchten.

Für eine aus drei Modulen mit einer Leistung von je 180 W_p (z. B. Solarmodul HJM 180 D, Nennspannung U_{MPP} von 36 V, Nennstrom I_{MPP} von 5 A; Art. Nr. 700892) ergibt sich eine Gesamtmodulleistung von 540 W_p sowie bei Reihenschaltung eine Spannung von 3 x 36 V = 108 V und ein Strom von 5 A.

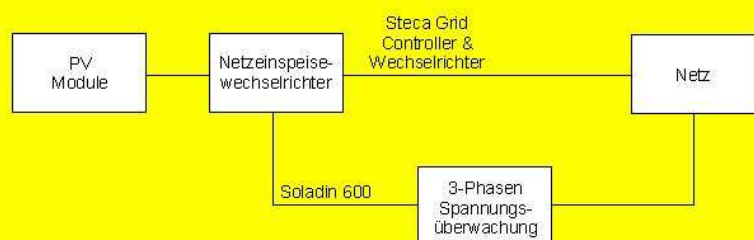


Hierfür eignet sich z. B. der Netzeinspeisewechselrichter Soladin 600 von Mastervolt (Art. Nr. 70053) mit einem Eingangsspannungsbereich von 40 bis 125 V, einer zulässigen Stromstärke von 8 A und einem Leistungsbereich zwischen 160 bis 700 W_p. Für den Einsatz in Deutschland ist hierfür in der Stromverteilung eine 3-Phasen Spannungsüberwachung nach VDE 0126-1-1 (Art. Nr. 700965) zu installieren, welche die Leitungen auf einen Schwingungskreis überwacht.

Ebenfalls ist der bis zu einer Ausgangsleistung von 3,6 kW erweiterbare Steca Grid 500 Wechselrichter zur Netzeinspeisung (Art. Nr. 70040) [Eingangsspannungsbereich von 75 bis 170 V, zulässige Stromstärke von 5 A, max. empfohlene PV-Leistung von 625 W_p und max. Eingangsleistung von 530 W] mit dem Steca Grid Controller (Art. Nr. 70000000) sehr gut geeignet.

Für größere Anlagen wäre der Sunmaster XS von Mastervolt mit einer passenden Leistung zu empfehlen.

Im Nachfolgenden sind die benötigten Komponenten für die Einspeisung des mit einer Photovoltaikanlage regenerativ erzeugten elektrischen Solarstroms in das öffentliche Stromnetz graphisch dargestellt.



Generell empfehlen wir bei Beginn der Planung der Photovoltaikanlage eine unverbindliche Bauvoranfrage an das zuständige Bauamt etc. zu richten.