

## **Hinweise zur Dimensionierung von Inselanlagen mit MPP-Regelung**

Inselanlagen müssen im Unterschied zu Netzeinspeiseanlagen ganzjährig ein Verbrauchersystem mit ausreichend Strom versorgen, wobei je nach Anwendung das System entweder zu 100% vom Solargenerator abhängt, oder zu einem gewissen Prozentsatz auch noch von anderen Stromlieferanten, beispielsweise Windkraft, Brennstoffzellen, Dieselgenerator oder anderes.

Dabei stehen die Inselssysteme einem großen Nachteil gegenüber Netzeinspeisung gegenüber. Dieser liegt einfach in der Tatsache, dass das System meist unter allen Umständen genügend Strom zu liefern hat. So dass man um im Winter genügend Autonomie zu haben, das System für den Sommer komplett überdimensionieren muss. Die überschüssige Energie des Sommers kann zudem nicht einmal mehr genutzt werden, da kein anderer Verbraucher dafür Zugang hat.

Sinnvoll wäre es nun, die Energie des Sommers mittels Speicher auch im Winter zugänglich zu machen. Jedoch sind dafür noch keine Speicher (beispielsweise Brennstoffzellen-Wasserstoffhydrid-Systeme) zu einem akzeptablem Preis verfügbar).

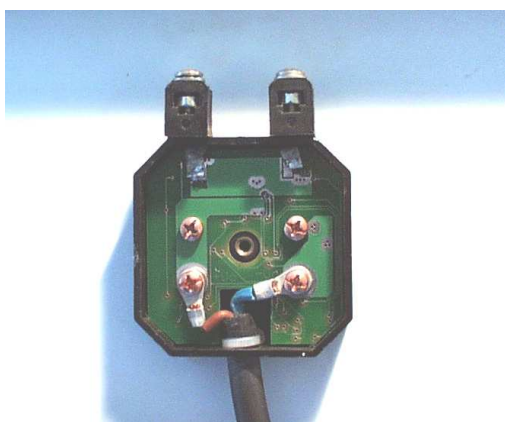
Aus diesen Gründen, sollte man sich hinsichtlich der Dimensionierung weitgehendst sicher sein, um einen akzeptablen Preis des Inselsystems zu erzielen.

**Letztendlich ist das Solarsystem so gut und so teuer, wie der Verbrauch in der schlechtesten Wetterperiode es erfordert. Deshalb ist auch die Dimensionierung einzig und allein auf diese Zeit auszulegen.**

Im nachfolgendem Artikel soll die Dimensionierung in Abhängigkeit von Jahreszeit und Ausrichtung der Module näher beleuchtet werden.

Als wichtige Systemkomponente wird der Einfluss eines MPP-Reglers auf die Autonomie beschrieben, da gerade die MPP-Regelung während der Schlechtwetterperioden ein Optimum an Vorteil bieten kann.

Die 1. Frage des Systemanbieters an seinen Kunden wird wohl sein, „Wie hoch ist der Verbrauch?“. Die 2. Frage wird dann sein. „Zu welcher Jahreszeit?“  
Wird dann ein Kostenvoranschlag gemacht, entscheidet sich dann der Kunde entweder dafür oder dagegen.



Eine sehr kostengünstige Lösung für einen MPP-Laderegler, ist dessen Integration in die Kabelbox eines Solarmodules, wie es hier geschehen ist. Der von **Schams-Electronic** gelieferte Regler ist in SMD-Technik und misst nicht mehr als 55x55mm bei einer Leistung von 37Wp. Der Vorteil ist nicht nur der einer höheren Leistungsausbeute von bis zu 35% des Solarmodules. Der Kunde wird auch entlastet durch weniger Verdrahtungsaufwand seines Solarsystems.

Das Solarmodul MXM3712 von Maharishi Solar Technologie, hat eine Leistung von 37Wp. Aufgrund der MPP-Regelung in der Kabelbox, kann es jedoch bei Einhaltung der Rahmenbedingungen wie ein 50Wp Modul eingesetzt werden.  
Die Rahmenbedingungen für dieses Beispiel sind: Ganzjahresbetrieb, Einsatz in Deutschland, sowie ein 12V Akku.



Nun zur Dimensionierung.

Angenommen ein System muss Verbraucher mit 100Wh/Tag im Ganzjahresbetrieb mit Strom versorgen. Sofort richtet sich die Aufmerksamkeit auf die entscheidenden Wintermonate Dezember und Januar.

Anhand von Einstrahlungstabellen und Simulationsprogrammen weiß man, dass beispielsweise in Würzburg bei einer Süd-Ausrichtung unter einem Neigungswinkel von 45° eine zu erwartende Einstrahlung von 1.3kWh/m<sup>2</sup>/Tag im Dezember und 1.5kWh/m<sup>2</sup>/Tag im Januar zu erwarten ist.

Bei einem Winkel von 30° wäre die Einstrahlung Dezember-Januar 1.2kWh/m<sup>2</sup>/Tag-1.3kWh/m<sup>2</sup>/Tag. Und bei einem Winkel von 90° wäre die Einstrahlung Dezember-Januar 1.3kWh/m<sup>2</sup>/Tag-1.4kWh/m<sup>2</sup>/Tag. Bei einem Winkel von 0°, also horizontaler Ausrichtung des Modules wäre die Einstrahlung Dezember-Januar 0.7kWh/m<sup>2</sup>/Tag-0.8kWh/m<sup>2</sup>/Tag.

Als wichtige Grundvoraussetzung muss gelten, dass ein Solarmodul im Sommer, bei Erwärmung auf 55°C nur noch ca. 86.5% seiner aufgrund der Einstrahlung maximal möglichen Leistung abgibt. Im Winter und in Schlechtwetterperioden bei 25°C Modultemperatur jedoch 100% oder sogar mehr bei noch niedrigeren Temperaturen. Dies ist wichtig, da die nachfolgende Berechnung sich nur auf Wintermonate bezieht.

Eine weitere wichtige Größe ist nun der Systemwirkungsgrad.

Dieser setzt sich im wesentlichen zusammen aus.

- a) Ladefaktor der Batterie. Bei Bleibatterien etwa **Lf=0.9**
- b) Anpassungsverluste des Solargenerators an die Batterie bei Verwendung von Linearregler. Je nach Jahreszeit und Erwärmung des Modules ergibt das einen Faktor zwischen **Afl=0.7 bis 0.93**. Gemäß einer MPP-Spannung zwischen 15V und 17V, sowie einer Akkuspannung zwischen Ubat=12V und Ubat=14V. Für die Dimensionierung ist der Faktor 0.7 zu verwenden, da das System für die Winterjahreszeit, bei geringer Einstrahlung, sowie bei nicht voll geladener Batterie (Ubat=12V) dimensioniert werden muss.
- c) Anpassungsverluste des Solargenerators an die Batterie bei Verwendung eines MPP-Reglers. Dieser Faktor ist jetzt wesentlich höher, da kaum Anpassungsverluste da sind. **Afmpp=0.99**.
- d) Linearreglervverluste mit einem Faktor **Rf=0.98** (Wirkungsgrad des Linearreglers)
- e) MPP-Reglervverluste mit einem Faktor **Rfmpp=0.95** (Wirkungsgrad des MPP-Reglers)

Die Gesamtverluste bzw. der Systemwirkungsgrad ergibt sich aus der Multiplikation aller Faktoren.

Linear: Nlsy=Lf\*Afl\*Rf=0.9\*0.7\*0.98=**0.62**

$$\text{MPP: } N_{\text{mpps}} = L_f \cdot A_{\text{fmpp}} \cdot R_{\text{fmpp}} = 0.9 \cdot 0.99 \cdot 0.95 = \mathbf{0.85}$$

Die geforderte Solarleistung der Module  $P_{\text{sol}}$  kann nun leicht mittels der Beziehung zwischen Einstrahlung  $E_{\text{vmin}}$ , elektrischer Verbrauch/Tag  $E_{\text{el}}$  und Systemwirkungsgrad  $N_{\text{lsy}}$  oder  $N_{\text{mpps}}$  errechnet werden.

$E_{\text{vmin}}$  ist aus Tabellen zu entnehmen und ist abhängig von der Ausrichtung der Solarmodule und der ortsabhängigen Einstrahlung.

$E_{\text{el}}$  ist der gesamte Verbrauch pro Tag.  $E_{\text{el}} = U \cdot I \cdot t$  wobei  $t$  die Zeitdauer in Stunden des Stromflusses während eines Tages ist. Also in Wh.

Der Ansatz zur Herleitung sieht folgendermaßen aus:

1. Der Ertrag elektrischer Energie  $E_{\text{el}}$  und der Verbrauch  $VB$  ist gleich.  $E_{\text{el}} = VB$
2. Der Verbrauch ist:  $VB = U \cdot I \cdot t$  [Wh/Tag]  $U$ =Spannung in V,  $I$ =Strom in A,  $t$ =Zeit in Std während eines Tages
3. Die aus dem Solarmodul gelieferte elektrische Energie während eines Tages ist:  
 $E_{\text{el}} = E_{\text{vmin}} \cdot N_{\text{mod}} \cdot N_{\text{sy}} \cdot A_{\text{sol}}$  [Wh/ m<sup>2</sup>Tag\*m<sup>2</sup>]  $E_{\text{vmin}}$ =durchschnittliche Einstrahlung pro m<sup>2</sup> und Tag, während der Kalendermonate geringster Einstrahlung Dezember oder Januar in Wh/m<sup>2</sup> Tag bezogen auf die Himmelsrichtung und den Neigungswinkel und dem Ort,  $n_{\text{mod}}$ =Modulwirkungsgrad,  $N_{\text{sy}}$ =Systemwirkungsgrad,  $A_{\text{sol}}$ =Fläche des Solarmodules in m<sup>2</sup>
4. Der Solarmodulwirkungsgrad lässt sich bestimmen aus:  $N_{\text{mod}} = P_{\text{sol}} / (A_{\text{sol}} \cdot 1000)$   
 [Wp/(m<sup>2</sup>\*W/m<sup>2</sup>),  $P_{\text{sol}}$ =Solarspitzenleistung bei 25°C und 1000W/m<sup>2</sup> Einstrahlung, 1000W/m<sup>2</sup> ist die Spitzenleistungsbezogene Einstrahlung auf die Solarmodule definiert sind.
5. Die durchschnittlich gelieferte elektrische Energie während eines Tages ergibt sich nun aus der Gleichung in Punkt 3:  $E_{\text{el}} = E_{\text{vmin}} \cdot N_{\text{sy}} \cdot P_{\text{sol}} \cdot A_{\text{sol}} / (A_{\text{sol}} \cdot 1000)$   
 [Wh/qmTag\*Wp\*m<sup>2</sup>/(m<sup>2</sup>\*W/m<sup>2</sup>)]. Es zeigt sich, dass die Solarmodulfläche sich herauskürzt.
6. Durch Umstellen der Formel ergibt sich die benötigte Solarleistung

$$P_{\text{sol}} = (E_{\text{el}} \cdot 1000) / (N_{\text{sy}} \cdot E_{\text{vmin}})$$

$$\text{Einheiten: } [(Wh \cdot W/qm) / (Wh/qm/Tag)]$$

Der Faktor 1000 Wh/m<sup>2</sup> ist die Solare Einstrahlung unabhängig vom Solarmodulwirkungsgrad und Ausrichtung der Module, auf die sich die Angabe der Spitzenleistung ( $W_p$ ) eines Solarmodules bezieht.

Um nun zu unserem Berechnungsbeispiel zurückzukehren errechnet sich also bei einem Verbrauch von  $E_{\text{el}} = 100 \text{Wh}$  und einer Einstrahlung von  $1.3 \text{kWh/m}^2/\text{Tag}$  bei einer Ausrichtung nach Süden und einem Neigungswinkel der Solarmodule von  $45^\circ$  eine Solarleistung  $P_{\text{sol}}$  von

Linearreglersystem:  $P_{\text{sol}} = 100 \text{Wh} \cdot 1000 \text{Wh/qm} / (0.62 \cdot 1300 \text{Wh/m}^2/\text{Tag}) = \mathbf{124.1 \text{Wp}}$

MPP-Reglersystem:  $P_{\text{sol}} = 100 \text{Wh} \cdot 1000 \text{Wh/qm} / (0.85 \cdot 1.300 \text{Wh/m}^2/\text{Tag}) = \mathbf{90.5 \text{Wp}}$

Gegenüber einem Linearsystem errechnet sich ein Verbesserungsfaktor des Systemwirkungsgrades von

$$N_{\text{mpps}} / N_{\text{lsy}} = 0.85 / 0.62 = \mathbf{1.37} \quad \text{oder von } \mathbf{37\% \text{ mehr Autonomie}}$$

in Schlechtwetterperioden bei Verwendung von MPP-Reglern.

Ebenso lässt sich daraus ein Umrechnungsfaktor aus Solarleistung/Verbrauch ermitteln.

Linearsystem Südausrichtung,  $45^\circ$  Neigungswinkel:  $P_{\text{sol}} / E_{\text{el}} = \mathbf{1.24} \quad [Wp / (Wh/Tag) = \mathbf{Tag/h}]$

MPP-System Südausrichtung, 45° Neigungswinkel:

$$P_{sol}/E_{el}=0.91 \quad [Wp/(Wh/Tag)=Tag/h]$$

Daraus ergibt sich der wichtige Solar Umrechnungsfaktor bei der Dimensionierung von Inseln, wenn man den Verbrauch pro Tag ermittelt hat. Nämlich welche Solarleistung ist nötig bei welchem Verbrauch pro Tag.

$$P_{sol}=0.91 \cdot E_{el} \quad [Wp \quad Wh/Tag]$$

bei MPP-System, Südausrichtung, 45° Neigungswinkel, in Süddeutschland

$$P_{sol}=1.24 \cdot E_{el} \quad [Wp \quad Wh/Tag]$$

bei Linear-System, Südausrichtung, 45° Neigungswinkel in Süddeutschland

Nun können tabellarisch weitere **Solar-Umrechnungsfaktoren SU** für unterschiedliche Himmelsrichtung und Neigungswinkel bezogen auf die Wintermonate im Beispiel für Würzburg, ermittelt werden.

Neigungswinkel \ Himmelsrichtung	0°		30°		45°		60°		90°	
	Linear	MPP	Linear	MPP	Linear	MPP	Linear	MPP	Linear	MPP
Nord	2.30	1.68	4.03	2.94	4.03	2.94	<b>5.37</b>	3.92	<b>5.37</b>	3.92
Ost	2.30	1.68	2.30	1.68	2.30	1.68	2.69	1.96	3.23	2.35
Süd	2.30	1.68	1.34	0.98	1.24	0.91	1.15	<b>0.84</b>	1.24	0.91
West	2.30	1.68	2.30	1.68	2.30	1.68	2.69	1.96	3.23	2.35

Tabelle 1: Umrechnungsfaktor SU zwischen benötigter elektrischer Energie pro Tag (Eel) und dazu erforderlicher Solarleistung (Psol).

$$P_{sol}=SU \cdot E_{el}$$

Das optimalste System wäre natürlich das System mit dem geringsten Solarumrechnungsfaktor SU, da in diesem Fall für einen bestimmten elektrischen Verbrauch die minimalste Solarleistung Psol benötigt wird.

Aus oben gezeigter Tabelle wäre das ein Solarsystem mit Südausrichtung, 60° Neigungswinkel gegenüber dem Horizont und MPP-Regler. SU=0.84

D.h. bei einem elektrischen Verbrauch von 100Wh/Tag müsste das Solarmodul die Leistung von Psol=84Wp bringen um ganzjährig die geforderte Energie zu liefern.

$$P_{sol}=SU \cdot E_{el}=0.84 \cdot 100Wh$$

Das schlechteste System wäre Nordausrichtung, bei 60° oder 90° Neigungswinkel mit einem Linearregler. Die Solarleistung müsste Psol=5.37\*100Wh=537Wp betragen.

Natürlich ist die Voraussetzung ein ausreichend dimensionierter Akku, mit einer Energie von ca.

$$E_{akku}=10 \cdot VB \quad (VB=elektrischer Verbrauch pro Tag), \text{ also ca. } 1000Wh.$$

Der MPP-Regler sollte einen hohen Wirkungsgrad besitzen, ca. 95% und auch bei geringer Einstrahlung, ca. 2.5% von Psol, noch im MPP arbeiten können.

Dipl.-Ing.(FH) Peter Schwarz  
Schams Electronic