

OST/WEST-AUSGERICHTETE PV-ANLAGEN MIT NUR EINEM MPP-TRACKER

Die Bereitschaft, Ost/West-ausgerichtete Photovoltaik (PV)-Anlagen zu installieren war in der Vergangenheit eher verhalten. Mittlerweile ist jedoch ein steigendes Interesse an der Installation von PV-Generatoren auf Ost/West-Dächern zu beobachten. Auch wenn PV-Anlagen mit Süd-Ausrichtungen besser sind, können mit Ost/West-ausgerichteten PV-Generatoren ebenfalls beträchtliche Erträge erzielt werden. Aufgrund der stark fallenden Modulpreise ist zukünftig sogar mit einer deutlich steigenden Nachfrage nach Ost/West-Anlagen zu rechnen. Aus Sicht der Stromnetzbetreiber sind Ost/West-ausgerichtete PV-Anlagen im Vergleich zu südausgerichteten Anlagen ebenfalls wünschenswert, da die Energie gleichmäßiger über den Tag eingespeist wird, Mittagsspitzen reduziert werden und sie somit netzentlastend wirken. Bislang geht man davon aus, dass bei Ost/West-ausgerichteten PV-Anlagen getrennte Wechselrichter für die beiden Ausrichtungen erforderlich sind oder zumindest ein Wechselrichter mit mehreren MPP-Trackern (Maximum Power Point, Punkt maximaler Leistung) benötigt wird, um Mismatching-Verluste zu vermeiden. Dieser Artikel beinhaltet eine Analyse von Ost/West-ausgerichteten PV-Generatoren, die mit nur einem MPP-Tracker installiert sind, und zeigt, wie leistungsfähig solche Anlagen sind.

1 Einleitung

Anhand einer theoretischen Analyse wurde das MPP-Verhalten einer Ost/West-ausgerichteten PV-Anlage untersucht und anschließend durch Vergleichsmessungen in der Praxis überprüft. Für die Praxisergebnisse standen zwei Ost/West-Anlagen zur Verfügung: eine PV-Anlage mit Dünnschichtmodulen und eine PV-Anlage mit kristallinen Modulen. Beide Anlagen wurden sowohl mit getrennten Wechselrichtern – je ein Wechselrichter für das Ost- und Westdach – als auch mit einem gemeinsamen Wechselrichter für beide Dächer betrieben.

Die Dünnschichtmodule wurden mit einem Azimutwinkel von $-67,5^\circ$ für den Ost-Generator und $112,5^\circ$ für den West-Generator sowie einem Neigungswinkel von 30° installiert. Die kristallinen Module wurden mit einer exakten Ausrichtung von -90° für den Ost-Generator und 90° für den West-Generator sowie einem Neigungswinkel von 15° montiert.

Um exakte Ergebnisse zu erhalten, wurden Messungen der IU-Kennlinie durchgeführt. Eventuell auftretende Wechselrichterabweichungen wurden durch die Installation von Energiezählern berücksichtigt.

2 Mismatching

Auf den ersten Blick erwartet man bei der Installation eines gemeinsamen Wechselrichters in einer Ost/West-ausgerichteten PV-Anlage große Mismatching-Verluste. Bedingt durch die unterschiedlichen Ausrichtungen bei einer Ost/West-Anlage sind die Solarmodule unterschiedlichen Einstrahlungswerten ausgesetzt. Aus diesem Grund treten je nach Tageszeit in den Ost- und den Weststrängen unterschiedliche Modulströme auf. Im Gegensatz zu großen Stromdifferenzen zwischen dem Ost- und dem West-Generator sind die MPP-Spannungen nahezu identisch, wie in Abbildung 1 ersichtlich ist. Da die Gesamtspannung des Ost-Generators ähnlich groß ist wie die Gesamtspannung des West-Generators, sind bei Parallelschaltung dieser Stränge auf einen gemeinsamen Wechselrichter (mit einem MPP-Tracker) nur sehr geringe Mismatching-Verluste zu erwarten.

Die minimalen Mismatching-Verluste sind vom Neigungswinkel der installierten Solarmodule und von der verwendeten Modultechnologie abhängig. Je höher der Neigungswinkel der Solarmodule, desto höher sind die Mismatching-Verluste. Entscheidend für die Höhe der Verluste durch die Modultechnologie sind der Füllfaktor und die Änderung der MPP-Spannung in Abhängigkeit der Einstrahlung.

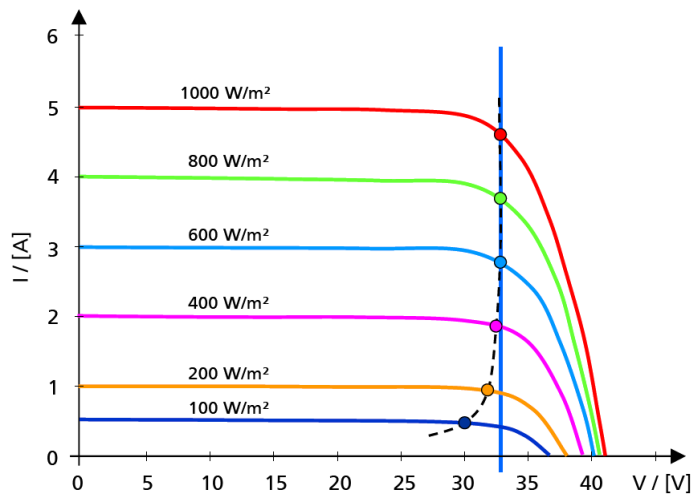


Abbildung 1: IU-Kennlinien eines kristallinen Moduls bei unterschiedlichen Einstrahlungen [1]

Der Füllfaktor, der bei kristallinen Modulen in der Regel höher als bei Dünnschichtmodulen ist, ist entscheidend dafür, wie stark die Leistungskurve vor und nach dem MPP sinkt. Abbildung 2 zeigt die typische Kennlinie eines kristallinen Moduls und eines Dünnschichtmoduls. Dabei ist zu erkennen, dass die Leistungskurve des kristallinen Moduls um den MPP stärker abnimmt als die Leistungskurve des Dünnschichtmoduls. Folglich ist anzunehmen, dass kristalline Module in Ost/West-ausgerichteten PV-Anlagen mehr Mismatching-Verluste verursachen als Dünnschichtmodule.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist jedoch die Änderung der MPP-Spannung in Abhängigkeit der Einstrahlung (siehe Abbildung 1). Eine geringe Änderung der MPP-Spannung über einen weiten Einstrahlungsbereich führt natürlich zu den geringsten Verlusten. Die Änderung der MPP-Spannung wird hauptsächlich durch die Modultemperatur beeinflusst. Das bedeutet, dass ein kleiner Temperaturkoeffizient und eine gute Hinterlüftung der Solarmodule zu einer besseren Performance bei Ost/West-ausgerichteten PV-Anlagen führen. Darüber hinaus kann die Leistungsabgabe durch ein gutes Schwachlichtverhalten eines Solarmoduls verbessert werden. Da alle genannten Parameter für jedes Solarmodul unterschiedlich sind, kann keine allgemeine Aussage dazu getroffen werden, welche Modultechnologie am Besten für Ost/West-ausgerichtete PV-Anlagen geeignet ist.

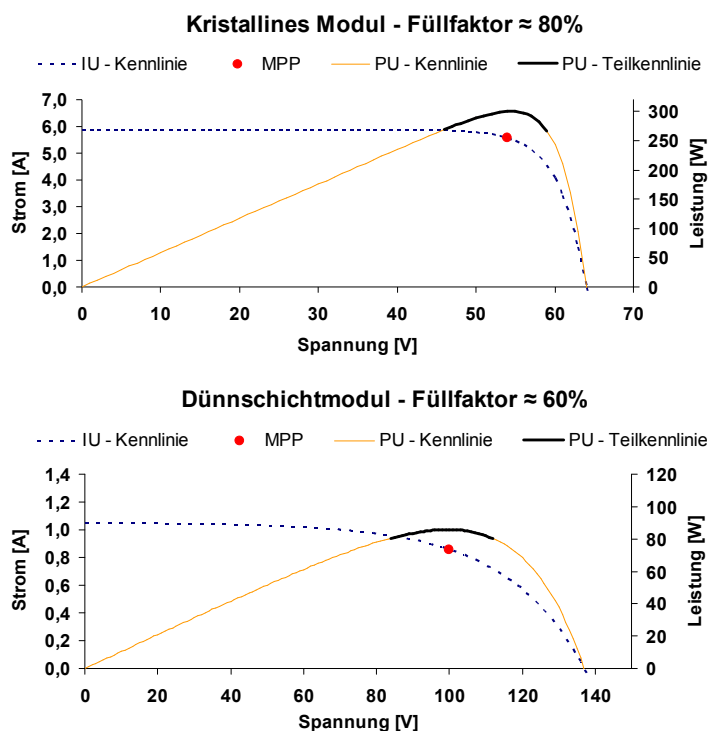


Abbildung 2: IU-Kennlinie eines kristallinen Moduls und eines Dünnschichtmoduls

3 Ergebnisse

3.1 Geringe Mismatching-Verluste

Wie in Abschnitt 2 erläutert, führt die Installation eines gemeinsamen Wechselrichters in einer Ost/West-ausgerichteten PV-Anlage zwangsweise zu Mismatching-Verlusten. Diese Verluste sind jedoch minimal und werden teilweise durch andere positive Effekte kompensiert. So arbeitet beispielsweise eine Ost/West-ausgerichtete PV-Anlage mit einem gemeinsamen Wechselrichter meistens in einem höheren Wirkungsgradbereich als dies bei der Installation mit getrennten Wechselrichtern der Fall wäre. Abbildung 3 und Abbildung 4 beziehen sich auf die Daten der Ost/West-ausgerichteten PV-Anlage mit den kristallinen Modulen (siehe Abschnitt 1).

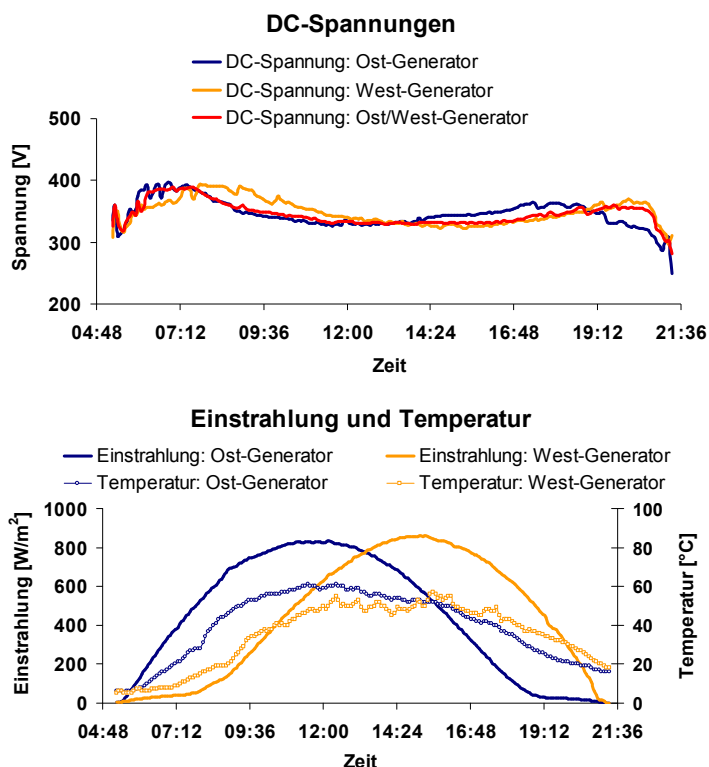


Abbildung 3: Vergleich der gemessenen DC-Spannungen mit dem entsprechenden Einstrahlungs- und Temperaturprofil an einem sonnigen Tag

Abbildung 3 zeigt die DC-Spannungen des Ost/West-Generators mit einem gemeinsamen Wechselrichter im Vergleich zu den DC-Spannungen des Ost/West-Generators mit getrennten Wechselrichtern. Wie zu sehen ist, sind die Spannungen des Ost- und des West-Generators meistens unterschiedlich. Am Morgen ist die Spannung des West-Generators die meiste Zeit höher als die Spannung des Ost-Generators, am Nachmittag hingegen ist es genau umgekehrt. Dies ergibt sich aus dem Einstrahlungs- und Temperaturverhalten von Solarzellen, da die DC-Spannung bei einer globalen Einstrahlung von über $\sim 180 \text{ W/m}^2$ fast konstant bleibt und bei fallender/steigender Modultemperatur steigt/sinkt.

Der Ost/West-Generator produziert Mismatching-Verluste, da die DC-Spannung dieses Generators nicht mit der DC-Spannung des West-Generators am Morgen und der DC-Spannung des Ost-Generators am Nachmittag identisch ist. Obwohl die DC-Spannung des Ost/West-Generators um bis zu 5 % von den Spannungen des Generators mit getrennten Wechselrichtern abweicht, sind die Energieverluste sehr gering (siehe Abbildung 4). Grund dafür ist, dass die DC-Spannung des Ost/West-Generators der Spannung des Ost-Generators am Morgen und der Spannung des West-Generators am Nachmittag folgt. Ein weiterer Aspekt ist, dass eine Abweichung von 5 % von der optimalen MPP-Spannung nicht zum selben Prozentsatz an Leistungsverlusten führt, da eine niedrigere/höhere MPP-Spannung auch zu einem höheren/niedrigeren MPP-Strom führt.

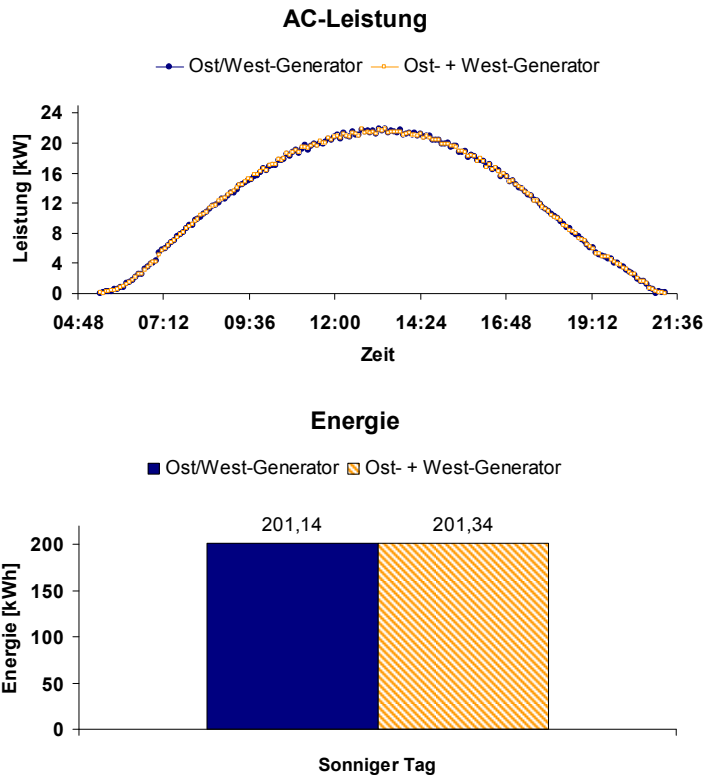


Abbildung 4: Vergleich der AC-Leistung mit dem dazugehörigen Energieertrag an einem sonnigen Tag. ~0,1 % Energieverluste beim Ost/West-Generator mit dem gemeinsamen Wechselrichter im Vergleich zum Ost/West-Generator mit getrennten Wechselrichtern

Die AC-Leistung des Ost/West-Generators mit einem Wechselrichter überlappt während des gesamten Tages die aufsummierte AC-Leistung des Ost/West-Generators mit getrennten Wechselrichtern. Die unterschiedlichen DC-Spannungen der Generatoren führen zu ca. 0,5 % Mismatching-Verlusten, die endgültigen Energieverluste belaufen sich aber nur auf ~0,1 %, was innerhalb der Messgenauigkeit der Energiezähler von $\pm 1\%$ liegt. Wie bereits erwähnt, werden die Mismatching-Verluste teilweise dadurch kompensiert, dass der Ost/West-Generator mit dem gemeinsamen Wechselrichter meistens in einem höheren Wirkungsgradbereich arbeitet.

Die Energieverluste sind an sonnigen Tagen am höchsten, weil die Abweichung der DC-Spannungen umso geringer ausfällt, je niedriger der Einstrahlungsunterschied zwischen den Ost- und den West-Strängen ist. Das bedeutet, dass an bewölkten Tagen oder an Tagen mit diffuser Einstrahlung die Energieverluste noch kleiner sind.

3.2 Energieertragsvergleich – Teil I

Der folgende Energieertragsvergleich zeigt das Ergebnis der Ost/West-ausgerichteten PV-Anlage mit den Dünnschichtmodulen. Wie aus Abbildung 5 hervorgeht, sind die Energieverluste des Ost/West-Generators mit dem gemeinsamen Wechselrichter über einen langen Zeitraum sehr gering.

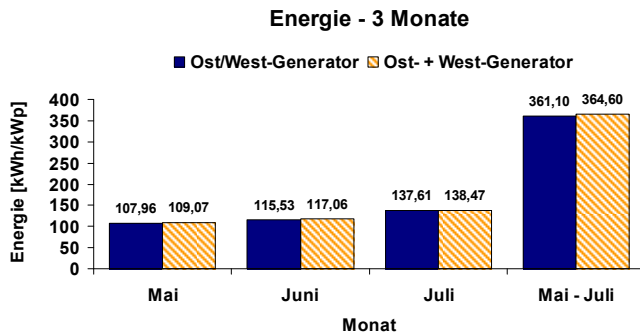


Abbildung 5: Energieertragsvergleich der Ost/West-ausgerichteten PV-Anlage mit Dünnschichtmodulen über einen Zeitraum von drei Monaten. ~1 % Energieverluste beim Ost/West-Generator mit dem gemeinsamen Wechselrichter im Vergleich zum Ost/West-Generator mit getrennten Wechselrichtern

Aufgrund der Messergebnisse für den Zeitraum von Mai bis Juli ist zu erwarten, dass die jährlichen Energieverluste des Ost/West-Generators mit dem gemeinsamen Wechselrichter kleiner 1 % sind. Folglich hat die Installation eines Ost/West-Generators mit einem gemeinsamen Wechselrichter, gegenüber der Installation mit getrennten Wechselrichtern und der Installation mit einem Wechselrichter mit zwei MPP-Trackern, einen entscheidenden Vorteil: Der Ost/West-Generator mit dem gemeinsamen Wechselrichter ist bei fast identischem Energieertrag die kostengünstigere Lösung, da lediglich ein Wechselrichter benötigt wird. Außerdem kann der gemeinsame Wechselrichter eine niedrigere Nennleistung als die Summe der Nennleistungen der getrennten Wechselrichter aufweisen. Das liegt daran, dass die Leistungsspitzen des Ost- und des West-Generators zeitversetzt auftreten (siehe Abbildung 6). Die Reduzierung der Nennleistung hängt vom Neigungswinkel der Solarmodule ab: Je höher der Neigungswinkel ist, desto niedriger kann die Nennleistung des gemeinsamen Wechselrichters sein. Die in dieser PV-Anlage verwendeten Dünnschichtmodule wurden mit einem Neigungswinkel von 30° installiert, was zu einer Verringerung der Nennleistung des gemeinsamen Wechselrichters von ca. 15 % führt.

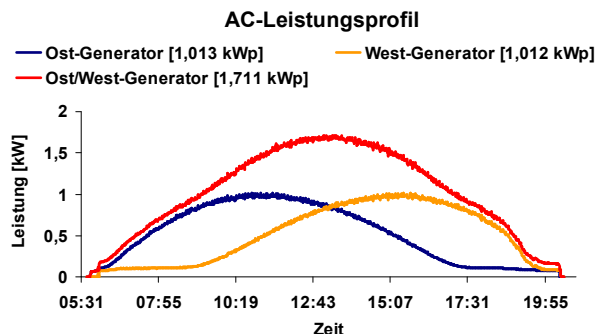


Abbildung 6: Beispiel: AC-Leistungsprofil der Ost/West-ausgerichteten PV-Anlage mit Dünnschichtmodulen. Eine Nennleistung von ~85 % der Summe der Nennleistungen der getrennten Wechselrichter ist für den gemeinsamen Wechselrichter ausreichend

Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, dass die Kosteneinsparungen größer als die Energieverluste sind, sodass sich die Ost/West-Anlage mit dem gemeinsamen Wechselrichter schneller amortisiert.

3.3 Energieertragsvergleich – Teil II

Beim Messergebnis in diesem Abschnitt handelt es sich um den Energieertragsvergleich der Ost/West-ausgerichteten PV-Anlage mit den kristallinen Modulen. Da der Neigungswinkel der Solarmodule lediglich 15° beträgt, kommt es kaum zu Energieverlusten (siehe Abbildung 7). Die Mismatching-Verluste belaufen sich auf ca. 0,3 % bis 0,5 %, diese werden jedoch kompensiert, da der gemeinsame Wechselrichter meistens in einem höheren Wirkungsgradbereich arbeitet.

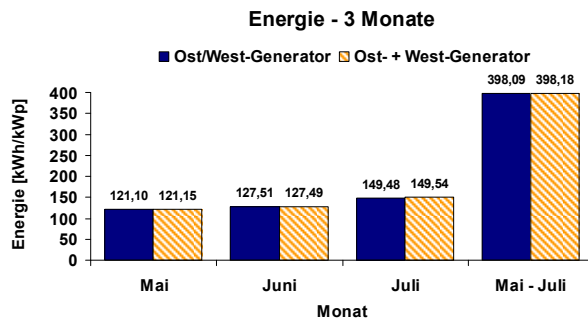


Abbildung 7: Energieertragsvergleich der Ost/West-ausgerichteten PV-Anlage mit kristallinen Modulen über einen Zeitraum von drei Monaten. Der Energieertrag des Ost/West-Generators mit dem gemeinsamen Wechselrichter ist fast identisch mit den Erträgen des Ost/West-Generators mit getrennten Wechselrichtern.

Auch in diesem Fall ist der Ost/West-Generator mit dem gemeinsamen Wechselrichter die wirtschaftlich günstigere Installationsvariante. Die Kosteneinsparungen liegen auf der Hand und sind in etwa genauso hoch wie in Abschnitt 3.2. Zum einen kann ein Wechselrichter eingespart werden, und zum anderen kann die Nennleistung des gemeinsamen Wechselrichters um ca. 5 % verringert werden (siehe Abbildung 8). Die Reduzierung der Nennleistung um 5 % resultiert aus dem Neigungswinkel der kristallinen Solarmodule von 15° (siehe Erläuterung in Abschnitt 3.2). An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass ein gemeinsamer Wechselrichter, der die doppelte Nennleistung eines getrennten Wechselrichters hat, immer billiger ist als zwei kleinere Wechselrichter.

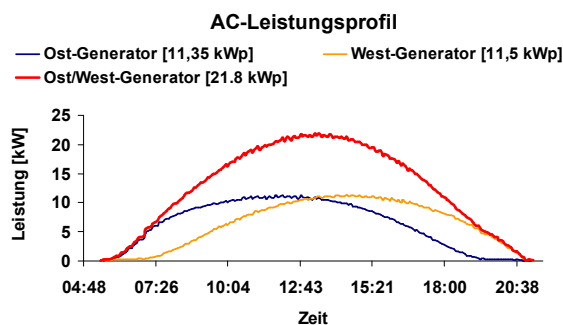


Abbildung 8: Beispiel: AC-Leistungsprofil der Ost/West-ausgerichteten PV-Anlage mit kristallinen Modulen. Eine Nennleistung von ~95 % der Summe der Nennleistungen der getrennten Wechselrichter ist für den gemeinsamen Wechselrichter ausreichend

Somit ist es offensichtlich, dass sich der Ost/West-Generator mit dem gemeinsamen Wechselrichter schneller amortisiert als der Ost/West-Generator mit getrennten Wechselrichtern.

4 Installationsgrundregeln

Für einen optimalen Betrieb einer Ost/West-ausgerichteten PV-Anlage mit einem gemeinsamen Wechselrichter sind die folgenden Grundregeln zu beachten:

- / Jegliche Verschattung ist zu vermeiden.
- / Die Anzahl der Solarmodule muss in allen Strängen gleich sein.
- / Innerhalb eines Strangs müssen die Solarmodule gleich ausgerichtet sein (Neigungswinkel und Richtung der Solarmodule).

5 Fazit

Die Untersuchungen an den beiden PV-Anlagen haben gezeigt, dass bei einer Ost/West-ausgerichteten PV-Anlage mit einem gemeinsamen Wechselrichter für den Ost- und den West-Generator Mismatching-Verluste auftreten. Wie erwartet sind diese Verluste jedoch sehr gering und werden teilweise dadurch kompensiert, dass der gemeinsame Wechselrichter meistens in einem höheren Wirkungsgradbereich arbeitet. Den minimalen Ertragsverlusten stehen deutliche Kostenreduzierungen in anderen Bereichen gegenüber: Zum einen kann die Anzahl der Wechselrichter verringert werden, und zum anderen kann die Nennleistung des gemeinsamen



Wechselrichters - abhängig vom Neigungswinkel der installierten Solarmodule - um bis zu 35 % reduziert werden. Darüber hinaus können auch noch die Installationskosten minimiert werden.

Wenn die Installationsgrundregeln, der Neigungswinkel der Solarmodule und die Modultechnologie entsprechend berücksichtigt werden, kann bei einer Ost/West-ausgerichteten PV-Anlage die Installation eines gemeinsamen Wechselrichters die wirtschaftlich günstigere Lösung sein gegenüber der Installationsvariante mit getrennten Wechselrichtern. Schlussendlich bleibt noch festzustellen, dass die Installation eines gemeinsamen Wechselrichters im Vergleich mit der Installation eines Wechselrichters mit zwei MPP-Trackern keine Nachteile aufweist.

6 Referenzen

[1] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Wie schnell muss ein MPP-Tracker wirklich sein?, 24. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Deutschland, 2009

Zeichen: 13.029 (ohne Leerzeichen)
Wörter: 1.813

Rückfragehinweise:

Redakteur: Dipl.-Ing.(FH) Dietmar Staudacher, +43 (664) 8502427, staudacher.dietmar@fronius.com, Froniusplatz 1, 4600 Wels, Austria.

Fachpresse: Mag. Andrea Schartner, +43 (664) 88536765, schartner.andrea@fronius.com, Froniusplatz 1, 4600 Wels, Austria.

Fotos: Fronius International GmbH, Abdruck honorarfrei