

Auslegung von PV-Anlagen im Polystring-Betrieb – Eigenverbrauchsoptimierung vs. Mismatch-Verlust –

Dr. Thomas Straub, Joachim Laschinski, Matthias Hartmann, Christopher Merz,

Andreas Umland, Matthias Walter

SMA Solar Technology AG, Sonnenallee1, D – 34266 Niestetal

Fax: +49 561 9522-3129

E-Mail: Thomas.Straub@SMA.de

www.sma.de

Einleitung

Nicht zuletzt durch die Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) sowie die sinkenden Investitionskosten werden auch PV-Anlagen wirtschaftlich interessant, die keine optimale Ausrichtung der PV-Module aufweisen. Deren typische spezifische Energieerträge liegen zwar unter denen der optimal ausgerichteten Anlagen. Bei der wirtschaftlichen Bewertung spielen jedoch noch weitere Faktoren eine Rolle. Neben dem Eigenverbrauch der erzeugten PV-Energie stellt auch die Dimensionierung des Wechselrichters einen zunehmend wichtigen Aspekt dar. Bei unterschiedlich ausgerichteten Modulflächen sinkt die erforderliche Wechselrichterleistung und damit der Anteil an den Anlagenkosten. Ist bei unterschiedlichen Modulausrichtungen aber immer ein separates MPP-Tracking erforderlich, oder können solche Modulstrings auch parallel geschaltet werden? Untersuchungen an realen Ost/West-Anlagen in einem solchen „Polystring“-Betrieb deuteten auf nur geringe Ertragsverluste hin [1,3]. Die aufgeführten und teilweise gegenläufigen Aspekte einer Anlagenauslegung sind ohne eine individuelle Simulation der eingespeisten und der selbst verbrauchten Energie nicht bewertbar. In diesem Beitrag wird dargestellt, wie mit den heute verfügbaren Hilfsmitteln eine Auslegung von Anlagen mit unterschiedlich ausgerichteten Modulstrings erfolgen kann. Dabei wird insbesondere der Einfluss der Ausrichtung auf Wechselrichterdimensionierung, Ertrag und Eigenverbrauch sowie die Rendite untersucht.

Die vorgestellten Informationen sind von generellem Interesse für Planer und Betreiber von PV-Anlagen und können dazu beitragen, die Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen besser zu ermitteln.

Wechselrichter-Dimensionierung

Als Maß für die Dimensionierung der Wechselrichter in einer PV-Anlage kann das Verhältnis der maximalen DC-Leistung des Wechselrichters zur angeschlossenen Peakleistung des PV-Generators dienen. Diese Größe wird im Folgenden als Nennleistungsverhältnis (NLV) bezeichnet.

Es hat sich in der Vergangenheit gezeigt, dass eine Unterdimensionierung des Wechselrichters aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvoll ist. Die dadurch eingesparten Investitionskosten sollten jedoch höher sein als der dadurch auftretende Ertragsverlust. Für Mitteleuropa hat sich hierbei ein maximaler Ertragsverlust von 0,2% als optimal erwiesen, was einem NLV von 90% entspricht [2]. Dieser Wert gilt jedoch nur für optimal ausgerichtete PV-Anlagen. Bei nicht optimal ausgerichteten Generatoren, z.B. Fassaden- oder Ost/West-Anlagen, kann durch deren reduzierte Maximalleistung eine deutlich stärkere Unterdimensionierung sinnvoll sein.

Die anlagenspezifische Ermittlung der Untergrenze des NLV erfordert jedoch die Kenntnis der spezifischen Energieverteilung der Generator-Ausgangsleistung. Nur so kann die maximale DC-Leistung des Wechselrichters ermittelt werden, bei welcher der Ertragsverlust bei 0,2% liegt. Dies kann auf Basis einer Zeitschrittsimulation der Generatorleistung erfolgen, die sowohl die individuelle Ausrichtung des oder der PV-Generatoren als auch die klimatischen Bedingungen des Standorts berücksichtigt.

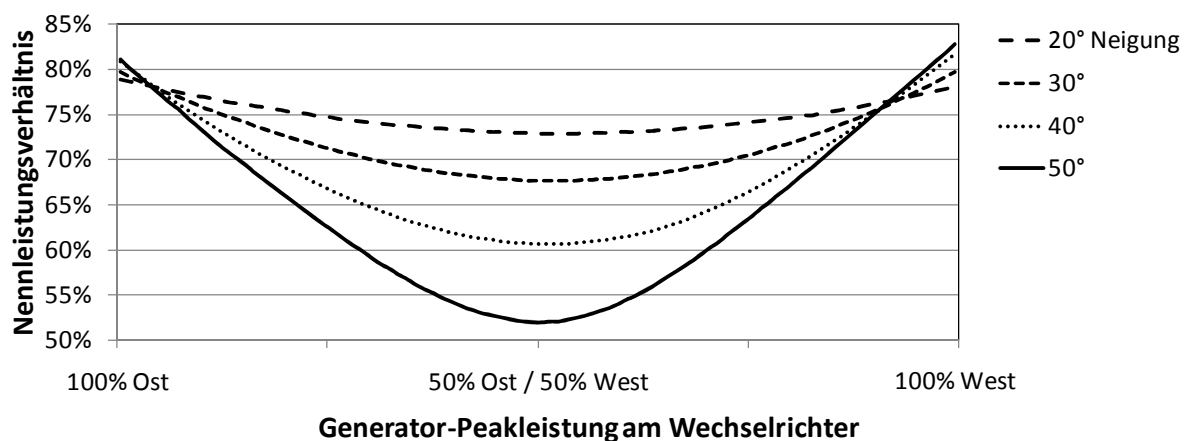


Abbildung 1: Anlagenspezifische Untergrenze des Nennleistungsverhältnisses für verschiedene Mischungsverhältnisse von Teilgeneratoren mit Ost- bzw. Westausrichtung am Wechselrichter. Die Kurven entsprechen unterschiedlichen Dachneigungen. Bei der Berechnung wurde ein Ertragsverlust von 0,2% berücksichtigt.

Abbildung 1 zeigt das Ergebnis entsprechender Simulationen einer PV-Anlage in Kassel mit zwei Teilgeneratoren, die jeweils nach Osten bzw. Westen ausgerichtet sind. Die Kurven repräsentieren unterschiedliche Dachneigungen.

Werden der Ost- bzw. Westgenerator mit separaten Wechselrichtern betrieben (100% Ost, links bzw. 100% West, rechts), liegt das NLV je nach Dachneigung bei ca. 80%. Wie zu erwarten liegen diese Werte unter dem für optimale Südausrichtung (90%). Ein deutlicherer Dimensionierungsvorteil ergibt sich, wenn die Generatoren gemeinsam an nur einem Wechselrichter betrieben werden: im symmetrischen Fall (50% Ost, 50% West) und einer Dachneigung von 40° beträgt die Untergrenze des NLV hier rund 61%. Dies ist dadurch bedingt, dass die Leistungsmaxima des Ost-

bzw. West-Generators zeitlich nicht zusammenfallen. Während eines Tagesganges resultiert daraus eine gleichmäßigere Verteilung des Energieangebotes und in Summe eine geringere Maximalleistung am Wechselrichter.

Ertragssimulation

Wie im vorangegangenen Abschnitt gezeigt wurde, ergibt sich insbesondere beim Betrieb von Ost/West-Anlagen ein Kostenvorteil bei der Dimensionierung des Wechselrichters. Dem gegenüber steht jedoch die Ertragsminderung, die aus der nicht optimalen Orientierung resultiert. Diese soll im Folgenden quantitativ untersucht werden.

Ausgangspunkt für die hier vorgestellten Simulationen ist eine PV-Anlage in Kassel mit zwei Modulfeldern gleicher Leistung auf gegenüberliegenden Flächen eines Satteldachs. Die Neigung der Modulflächen beträgt 40° gegenüber der Horizontalen. Die Simulationen wurden bei unterschiedlichen azimuthalen Orientierungen der Dachflächen durchgeführt. Als Referenz wurde zudem eine PV-Anlage gleicher Peakleistung¹, aber optimaler Südausrichtung berechnet (Dachneigung 30°). Die Ertragssimulationen wurden mit der Auslegungssoftware Sunny Design 2.20 der SMA Solar Technology AG durchgeführt².

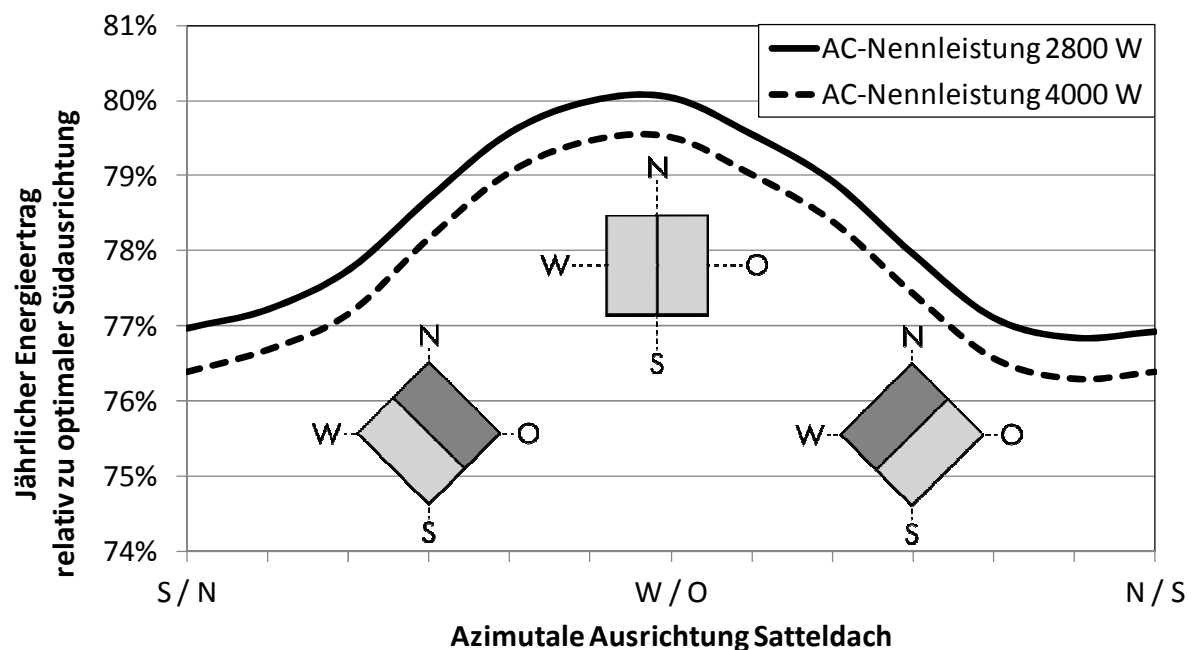


Abbildung 2: Jährlicher Energieertrag der Satteldach-Anlagen (Dachneigung 40°) für verschiedene azimuthale Ausrichtungen relativ zur Referenzanlage mit optimaler Südausrichtung. Bei dem größeren Wechselrichter ist der Energieertrag auf Grund des häufigen Betriebs in Teillast etwas niedriger.

¹ PV-Generator mit 20 bzw. $2 \cdot 10$ polykristallinen PV-Modulen und jeweils 230 Wp Nennleistung (STC)

² Kostenloser Download unter <http://www.SMA.de/SunnyDesign>

Als Wechselrichter wurden ein Sunny Boy 4000TL-21 der SMA Solar Technology AG (AC-Nennleistung 4000 W, NLV 91%) sowie ein Wechselrichter mit gleichen elektrischen Eigenschaften, aber reduzierter Leistung betrachtet (AC-Nennleistung 2800 W, NLV 64%). Die Wechselrichter besitzen je 2 MPP-Tracker und wurden für Multi-String-Betrieb konfiguriert. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 gezeigt.

Der Energieertrag weist bei Ost/West-Orientierung der Teilgeneratoren ein Maximum auf und beträgt dort rund 80% des Ertrags bei optimaler Südausrichtung. Auffallend ist, dass der Energieertrag bei stärkerer Unterdimensionierung des Wechselrichters (AC-Nennleistung 2800 W) etwas höher liegt. Dies ist durch die günstigere Nutzung der Teillastwirkungsgrade begründet.

Eine Alternative zur Verwendung eines Multi-String-Wechselrichters stellt der Betrieb beider Generatoren an nur einem MPP-Tracker dar. Wie frühere Untersuchungen an realen PV-Anlagen mit Ost/West-Generatoren gezeigt haben, ist der Polystring-Betrieb in bestimmten Fällen mit nur geringen Mismatching-Verlusten verbunden, was zu Ertragsverlusten deutlich unter einem Prozent führt [1, 3]. Die Ströme der PV-Module können sich bei den Teilgeneratoren im Tagesverlauf zwar deutlich unterscheiden, da die Modulflächen unterschiedlich stark bestrahlt werden. Die Spannung im MPP ist jedoch nahezu gleich. Voraussetzung für den Polystring-Betrieb ist, dass die Strings der Teilgeneratoren identisch aufgebaut sind, d.h. die gleiche Anzahl an PV-Modulen des gleichen Typs aufweisen.

Von uns durchgeführte Simulationen bestätigen die genannten Untersuchungen: bei Ost/West-Orientierung der Teilgeneratoren ergibt sich im Polystring-Betrieb ein Ertragsverlust von 0,25% gegenüber dem Multistring-Betrieb.

Eigenverbrauch

Bei Abweichung von der optimalen Ausrichtung der PV-Module sinkt zwar der jährliche Energieertrag der Anlage, aber welche Auswirkungen hat dies auf den Anteil des Eigenverbrauchs an der erzeugten PV-Energie?

Grundlage sind auch hier Zeitschrittsimulationen für verschiedene Dachorientierungen (Dachneigung 40°) sowie für eine Anlage gleicher Peakleistung mit optimaler Südausrichtung. Zur Berechnung des möglichen Eigenverbrauchs wurde die Zeitreihe eines typischen Lastprofils für einen Privathaushalt verwendet. Als jährlichen Energiebedarf des Haushalts wurden 4.200 kWh angenommen.

Während der Ertrag der 4,6 kWp Satteldach-Anlagen gegenüber der Referenzanlage um rund 1000 kWh pro Jahr sinkt, reduziert sich der Eigenverbrauch nur um rund 100 kWh pro Jahr. Dies resultiert in einer Erhöhung der Eigenverbrauchsquote: Bei Ost/West-Ausrichtung liegt diese mit 40,8% rund 6% über der bei optimaler

Südausrichtung. Die Wechselrichter-Dimensionierung hat auf die Eigenverbrauchsquote nur einen vernachlässigbaren Einfluss.

Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit

Abschließend soll die Wirtschaftlichkeit der dargestellten Anlagenszenarien in Hinblick auf die Wechselrichter-Dimensionierung, den Energieertrag sowie den Eigenverbrauch näher untersucht werden.

Die interne Verzinsung einer privaten PV-Anlage über 20 Jahre wird im Wesentlichen von dem PV-Systempreis, der erzeugten Energie sowie der EEG-Vergütung bestimmt. Weitere Faktoren, wie die Leistungsdegradation der PV-Module, die Verfügbarkeit der PV-Anlage, die Service- und Betriebskosten oder die Besteuerung der Erträge haben keinen oder nur geringen Einfluss. Der Einfachheit halber werden - im Rahmen einer kleinen privaten PV-Anlage - die Kosten für die Inanspruchnahme von Fremdkapital vernachlässigt.

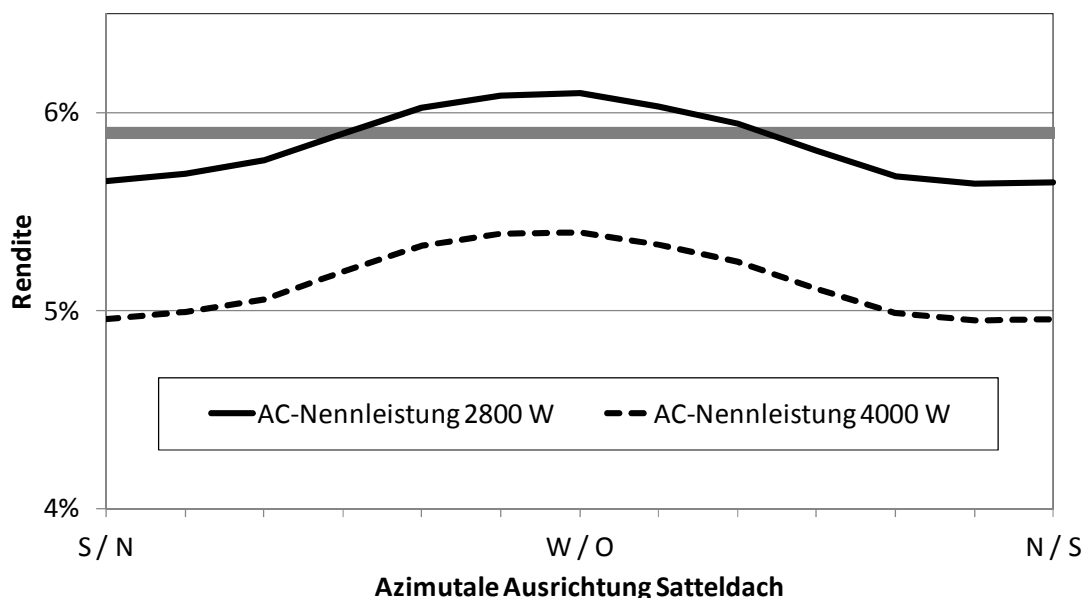


Abbildung 3: Berechnete Rendite der untersuchten Anlagenszenarien für ein gedrehtes Satteldach mit Eigenverbrauch (4,6 kWp). Die graue Linie zeigt die Rendite der Süd-Anlage ohne Eigenverbrauch.

Für den Vergleich der Anlagenkonzepte wurde die ab dem 1. Januar 2012 für Netzeinspeisung und Eigenverbrauch gültige Vergütung nach EEG 2012 mit der Annahme einer jährlichen Strompreissteigerung von 3% zu Grunde gelegt.

In Abbildung 3 sind die Renditen mit Eigenverbrauch für die Satteldach-Anlagen mit unterschiedlich dimensionierten Wechselrichtern gezeigt. Die höchste Rendite von 6,1% wird beim Satteldach bei Ost/West Ausrichtung und klein dimensioniertem Wechselrichter (AC-Nennleistung 2800 W) erzielt. Durch die Wahl des Wechselrichters konnte die Rendite um 0,7% Prozentpunkte im Vergleich zur

Auslegung mit einer AC-Nennleistung von 4000 W erhöht werden. Gegenüber einer Süd-Anlage *mit* Eigenverbrauch weisen die Satteldach-Anlagen eine um rund 2% bis 3% geringere Rendite auf. Die Rendite der Ost/West-Anlage mit Wechselrichter geringerer Leistung ist jedoch mit der einer optimal ausgerichteten Anlage *ohne* Eigenverbrauch (graue Linie) vergleichbar.

Zusammenfassung

Der Einsatz geeigneter Software erlaubt die wirtschaftliche Bewertung und Optimierung von Anlagen mit unterschiedlich ausgerichteten Modulstrings. Die teilweise gegenläufigen Einflüsse von Wechselrichterdimensionierung, Anlagenertrag und Eigenverbrauchsanteil können so quantitativ erfasst werden. Anhand der vorgestellten Szenarien konnte gezeigt werden, dass die Wirtschaftlichkeit einer Anlage mit Ost/West-Orientierung und Nutzung von Eigenverbrauch durchaus der einer optimal ausgerichteten Süd-Anlage ohne Eigenverbrauch entsprechen kann.

Die Attraktivität von Ost/West-Anlagen liegt dabei einerseits in einem - im Vergleich zu Süd-Generatoren - höheren Anteil der selbstverbrauchten Energie im Verhältnis zur PV-Gesamterzeugung. Bei zukünftigen PV-Systemen ohne Förderung kann dieser zusätzliche Eigenverbrauch eine wichtige Rolle spielen. Für den Erfolg der Photovoltaik müssen andererseits die Systemkosten und damit auch die Kosten der Wechselrichter weiter verringert werden. Dazu kann insbesondere eine anlagenspezifische Optimierung der Wechselrichter-Dimensionierung beitragen. Das Ost/West-Dach ist für den Anlagenplaner daher auch in der Zukunft interessant.

Literatur

- [1] Andreas Wagner, Joachim Laschinski: „Matchverluste bei Ost-West-Generatoren mit nur einem Wechselrichter“, 20.PV-Symposium Bad Staffelstein, März 2005.
- [2] Joachim Laschinski: Die optimale Auslegung einer netzgekoppelten PV-Anlage – Teil 9. Sunny Boy Info. SMA Regelsysteme GmbH, Nr. 24, Niestetal November 2003
- [3] Dietmar Staudacher, Thomas Mühlberger, Roland Prötsch: „Matchverluste bei Ost-West-Generatoren mit nur einem Wechselrichter“, 25.PV-Symposium Bad Staffelstein, März 2010