

Leistung von PV-Topologien bei Abschattung



DATUM: JULI 2013

ÜBERSICHT

Laut einer vom PV Evolutions Lab (PVEL) durchgeführten standardisierten Verschattungsstudie des National Renewable Energy Laboratory (NREL) übertrifft das SolarEdge-System SMA-Wechselrichter- und Enphase-Mikro-Inverter-Systeme. Diese Studie simuliert partielle Verschattungen bei typischen Photovoltaiksystemen (PV) auf Wohnhausdächern und bewertet den Einfluss verschiedener Topologien zur Leistungsumwandlung auf die Systemleistung.

Das SolarEdge-System bringt bei leichter, mittlerer und starker Verschattung einen um jeweils 1,9 %, 5,0 % und 8,4 % höheren Energieertrag als das System mit SMA-Strangwechselrichtern. Das SolarEdge-System produziert ebenfalls mehr Energie als das Enphase-Mikro-Inverter-System.

Dieser Test bestimmt auch einen "Shading Mitigation Factor" (SMF – Faktor der Verschattungsminimierung), der die jährliche Energierückgewinnung eines Leistungsoptimierers oder Mikro-Inverter-Systems im Vergleich zu einem herkömmlichen Strangwechselrichter bestimmt. Die Studie ergab, dass das SolarEdge-System 28,3 %, 21,9 % und 24,3 % der beim Strangwechselrichtersystem verlorenen Energie bei leichter, mittlerer und starker Verschattung zurückgewinnen konnte. Diese SMF-Ergebnisse schlagen sogar das Enphase-Mikro-Inverter-System.

“Das SolarEdge-System lieferte in allen Tests einen höheren Energieertrag als das Strangwechselrichtersystem. Im Jahresdurchschnitt gewann das SolarEdge-System 24,8 % der durch Verschattung verloren gegangenen Energie zurück, während das Mikro-Inverter-System nur 23,2 % zurückgewann”, sagt Matt Donovan, PV Evolution Labs.

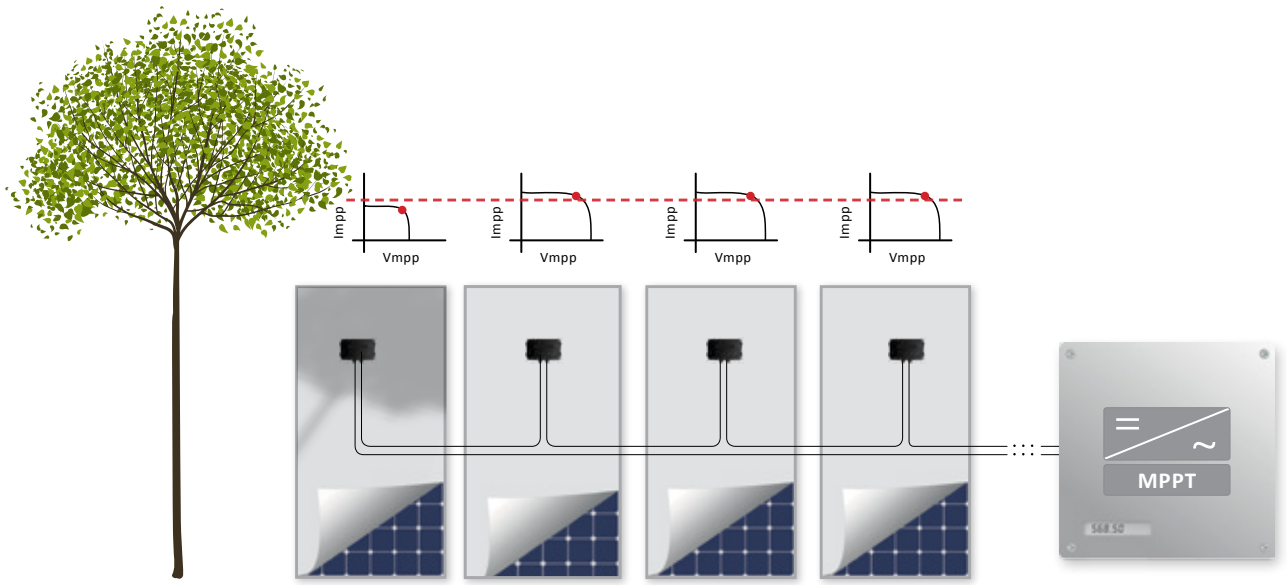


EINFLUSS DER VERSCHATTUNG AUF DIE ENERGIEPRODUKTION

Bei PV-Systemen ist es praktisch unmöglich, die durch Bäume, Schornsteine, Satellitenschüsseln, etc. verursachte Verschattung komplett zu vermeiden. Bei diesen Systemen wird der jährliche Energieverlust durch partielle Verschattung auf 5-25 % geschätzt.

Einfluss der Verschattung bei der MPP-Topologie auf Strang-Ebene

Die Verschattung eines beliebigen Teils des PV-Arrays reduziert seine Abgabe. Genau gesagt sinkt die Leistungsabgabe verschatteter Zellen oder Module in Korrelation mit der Reduzierung des einfallenden Lichts. In Systemen mit herkömmlichen Strangwechselrichtern können jedoch auch nicht verschattete Zellen oder Module von der Verschattung betroffen sein. Ist z. B. ein einzelnes Modul in einem Serien-Strang partiell verschattet, wird seine Stromabgabe reduziert und dies kann den Arbeitspunkt aller Module im Strang bestimmen. Alternativ kann das verschattete Modul umgangen werden (Bypass), sodass dieses Modul überhaupt keine Energie mehr erzeugt (Abb. 1). Bei Verschattung mehrerer Module kann die Strang-Spannung auf einen Wert reduziert werden, der den minimalen Arbeitspunkt des Wechselrichters unterschreitet, sodass der Strang keine Energie produziert.

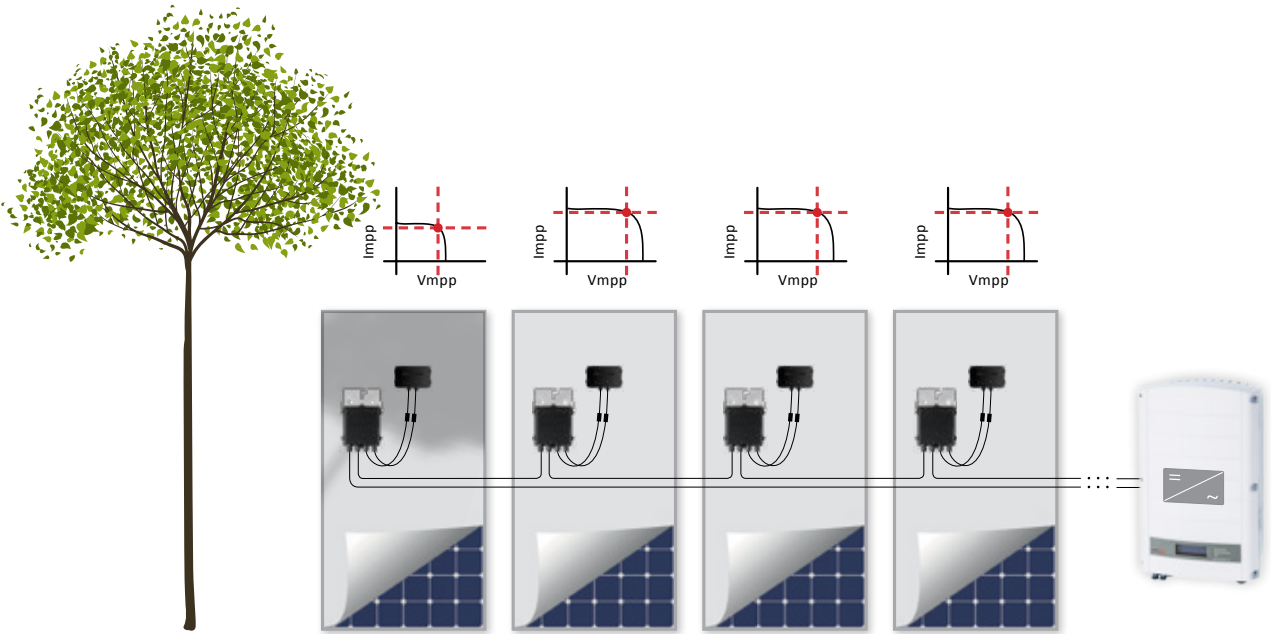


MPP auf Strang-Ebene

Abbildung 1: Das partiell verschattete Modul wird umgangen (Bypass)

Einfluss der Verschattung bei MPP-Topologie auf Modul-Ebene

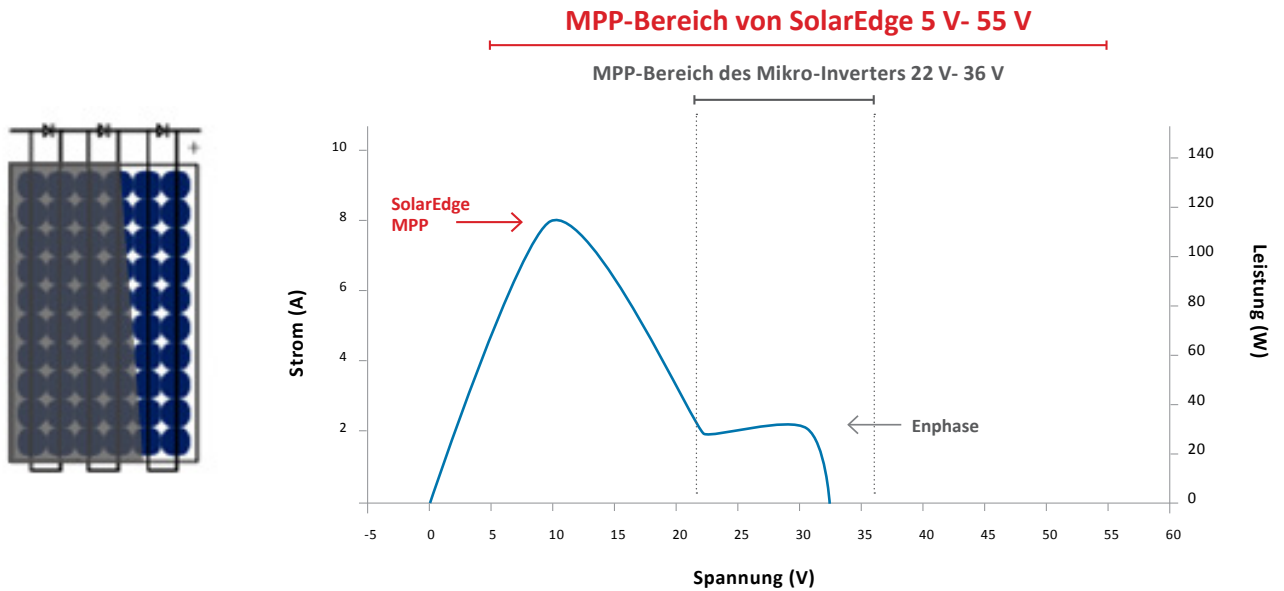
Elektronik auf Modulebene, wie beispielsweise DC-DC-Wandler und Mikro-Inverter, mindert die Verschattungsverluste durch Beschränken des Verschattungseinflusses auf die verschatteten Module, sodass die nicht verschatteten Module ihren vollen Energieertrag liefern können (Abb. 2).



MPP auf Modul-Ebene

Abbildung 2: Das partiell verschattete Modul liefert seinen Energieertrag

Entscheidend für die effektive Energiegewinnung mit einem partiell verschatteten Modul sind die Fähigkeiten, auch bei niedrigen Spannungen Tracking zu betreiben. Mikro-Inverter benötigen jedoch relativ hohe Spannungen von etwa 20 V, um den MPP eines Moduls zu ermitteln. Fällt also die Spannung eines Moduls unter diesen Punkt, ermittelt der Mikro-Inverter dessen MPP nicht, sondern behält eine Spannung bei, die hoch genug ist, um den Betrieb fortzusetzen jedoch an einem nicht optimierten Punkt. Im Gegensatz dazu beginnen SolarEdge Leistungsoptimierer ab einer Spannung von 5 V den MPP zu tracken, d. h. sie erreichen den MPP eines Moduls auch bei starker partieller Verschattung (Abb. 3).



I-U-Kennlinie des partiell verschatteten Moduls

Abbildung 3: Der Ertrag des Mikro-Inverter-Moduls ist aufgrund des schmalen MPPT-Fensters auf die niedrigere Spitze begrenzt

VERFAHREN UND IMPLEMENTIERUNG DER VERSCHATTUNGSSTUDIE VON PVEL UND NREL

Das Testverfahren von PVEL und NREL wurde so entwickelt, dass jegliche Voreingenommenheit im Vergleich von Systemen vermieden wurde.

Die getesteten Systeme enthalten identische Arrays, und die Verschattungsbedingungen werden simultan und nicht sequenziell auf die Arrays angewandt, um mit Abweichungen von Temperatur und Bestrahlungsstärke verbundene Unwägbarkeiten zu minimieren.

Es werden auch Messungen ohne Verschattung vorgenommen, die zur Normierung der Messungen jedes Systems verwendet werden.

In dieser Studie umfasste jedes Array zwei Stränge mit jeweils 13 Modulen. Es wurden 240W-Module mit 60 Zellen eingesetzt, jedes Modul mit 3 Bypass-Dioden. Direkte Verschattung wurde mit einem halbtransparenten, direkt über das Modul gelegten Netz erzeugt. Die Transparenz des Netzes betrug 36 % und es wies eine ausreichend einheitliche spektrale Durchlässigkeit auf. Im Test wurde eine Reihe von Verschattungsbedingungen erzeugt, beginnend mit der Verschattung von 1 % jedes Arrays bis zu 97 %, insgesamt 22 Konfigurationen.

In jeder Konfiguration wird auf jedes Array exakt dieselbe Verschattungsbedingung angewandt, eine Wartezeit von fünf Minuten gewährt, um die Stabilisierung der Systeme sicherzustellen, und dann werden etwa zehn Minuten lang parallele Energieertragsmessungen durchgeführt. Die Leistungsmessungen werden mit Wirkungsgradmessgeräten durchgeführt.

Dann werden die Leistungsergebnisse hochgerechnet und basierend auf SunEye-Messungen bei realen Häusern auf typische leichte, mittlere und starke Verschattungen angewandt. Diese drei Verschattungsszenarien entsprechen Systemen mit Verschattungen von jeweils 7,6 %, 19,0 % und 25,5 %.

Außerdem werden die Ergebnisse aufs Jahr umgerechnet, indem jede Messung nach dem im Laufe des Jahres zu erwartenden Auftreten gewichtet wird. Das Endergebnis ist ein "Shade Mitigation Factor" (SMF), der den Anteil des verschattungsbedingten Energieverlustes in einem Strangwechselrichtersystem angibt, der mit einem SolarEdge-System (bzw. einem Mikro-Inverter-System) zurückgewonnen werden kann. Für die drei Verschattungsszenarien wurde je ein SMF ermittelt.

Ausführliche Detail Informationen zum Verfahren siehe „Photovoltaic (PV) Shading Testbed for Module-level Power Electronics“, C. Deline, J. Meydbray, M. Donovan, J. Forrest, <http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/54876.pdf>.

Das Dokument bezieht sich auf ein System mit 3 Strängen; diese Studie wurde für ein System mit 2 Strängen angepasst.



ERGEBNISSE

Leistungsmessungen zeigen, dass das SolarEdge-System bei leichter, mittlerer und starker Verschattung einen um jeweils 1,9 %, 5,0 % und 8,4 % (Tabelle 1) höheren Energieertrag bringt als das SMA-Strangwechselrichtersystem. Das SolarEdge-System produziert ebenfalls mehr Energie als das Mikro-Inverter-System.

Bei der Bestimmung des SMF – der jährlichen Energierückgewinnung durch einen Leistungsoptimierer oder ein Mikro-Inverter-System verglichen mit einem herkömmliche Strangwechselrichter – beweist die Studie, dass das SolarEdge-System 28,3 %, 21,9 % und 24,3 % der beim Strangwechselrichtersystem verlorenen Energie bei leichter, mittlerer und starker Verschattung zurückgewinnt (Abb. 4). Diese SMF-Ergebnisse schlagen sogar das Enphase-Mikro-Inverter-System.

SMF-Ergebnisse von NREL/PVEL

Abbildung 4:

■ SolarEdge
■ Enphase
■ SMA

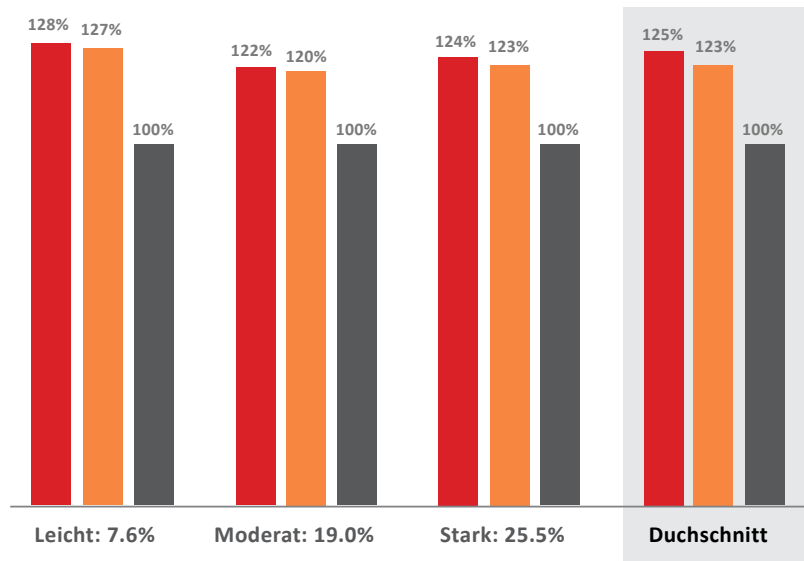


Tabelle 1:

	Leicht	Moderat	Stark
% der System Verschattung	7.6%	19.0%	25.50%
Verfügbare Energie [kWh/M ²]	1813	1893	1784
SolarEdge Energie [kWh/M ²]	1729	1616	1439
Energie SMA Strangwechselrichter [kWh/M ²]	1697	1539	1328
“Shade Mitigation Factor” (SMF)	28.30%	21.90%	24.20%
Zusätzliche Energie	1.9%	5%	8.4%