



April 2010

# REPORT



**Untersuchungen an verschatteten PV-Modulen  
ohne und mit sogenanntem Leistungsoptimierer**

## Verminderung von Verschattungsverlusten möglich?

Im Unterschied zu vielen Solaranlagen Anbietern, die ihre Module lediglich punktuellen Labortests unterziehen, testet das TEC-Institut für technische Innovationen die Leistungsfähigkeit von Modulen und Photovoltaik-Zubehör unter Realbedingungen also auf Dächern unter natürlich vorherrschenden Licht- und Wetterverhältnissen.

Einer der jüngsten Tests im Jahre 2009 behandelte Untersuchungen an verschatteten PV-Modulen, welche ohne und mit einem sogenannten Leistungsoptimierer betrieben wurden. Im aktuellen Falle handelte es sich um den SolarMagic, ein Produkt der Firma National Semiconductor.

Laut Herstellerangaben sollen Verschattungsverluste eines PV-Moduls mit Hilfe des SolarMagic um bis zu 50 Prozent verringert werden können. Während der Durchführung der Testreihen am TEC-Institut, veröffentlichte die Fachzeitschrift PHOTON Profi die Ergebnisse eines Tests unter dem Titel „Seltener Zauber“ (Ausgabe: August 2009) zum selben Thema. Da Art und Methode der beiden Untersuchungen voneinander abwichen, können sich die Ergebnisse gegenseitig ergänzen.

## Der Testaufbau

Die Untersuchungen am TEC-Institut für technische Innovationen wurden mit handelsüblichen, monokristallinen Modulen der Marke „ANTARIS AS M 180“ im Netz-Einspeisebetrieb durchgeführt. Für den Versuchsaufbau verschaltete man 6 Module von je 180 Wp Nennleistung in Reihe zu einem „Strang“ und schloss diesen an den Wechselrichter „SMA Sunny Boy SB 1100“ an (siehe Abb. 1).

Die Module des Mess-Aufbaus wurden unter einem Neigungswinkel von ca. 30 Grad nach Süden ausgerichtet. Wie auf Abb. 1 dargestellt, wurden Gesamtstrom und Gesamtspannung auf der Gleichspannungsseite mit Digitalmultimetern erfasst. Die gemessenen Strom- und Spannungswerte wurden einem Messrechner zugeleitet und dort protokolliert. Aus diesen Werten konnten anschließend die Gleichstromleistung und der Gleichstromertrag des Aufbaus errechnet werden. Der Messtakt betrug eine Minute.

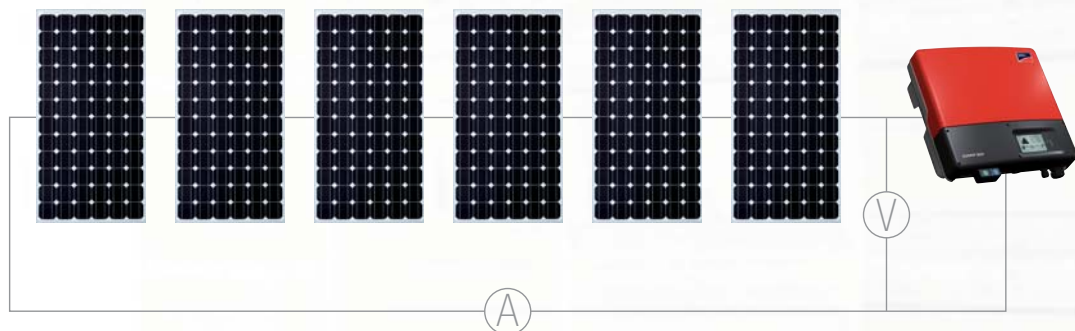


Abb. 1:  
Prinzipieller Aufbau  
der Mess-Schaltung

## Bypass-Dioden gegen Überhitzung

Jedes Modul besteht aus einem so genannten „String“ (72 in Reihe geschaltete monokristalline Zellen). Dieser String wird durch drei Bypass-Dioden geschützt. Jede dieser Bypass-Dioden schützt jeweils ein Drittel dieses Strings, den so genannten „Stringteil“. Ein Modul besteht aus 6 „Reihen“. Je 2 Reihen bilden einen Stringteil. Somit umfasst ein Modul 3 Stringteile. Aus Platzgründen wurde jede 24er Gruppe in zwei 12er Gruppen angeordnet.

Um die am Ende des Berichtes dargestellten Messergebnisse leichter zugänglich zu machen, ist die innere Zellerschaltung in Abb. 2 vereinfacht dargestellt.

Die drei Bypass-Dioden haben die Aufgabe, das zugehörige Stringteil bei Verschattungen einzelner Zellen vor Überhitzung (Hot Spots) zu schützen. Der Strom der beiden nicht verschatteten Stringteile wird über die jeweilige Diode an dem verschatteten Stringteil vorbei geleitet. Ohne diese Bypass-Dioden erhitzen Zellen eines teilverschalteten Strings, da die nicht verschalteten Stringteile dem teilverschalteten Stringteil ihrem Strom gewissermaßen „aufzwingen“. Abb. 3 erläutert die Stringverteilung an einem der verwendeten Module.

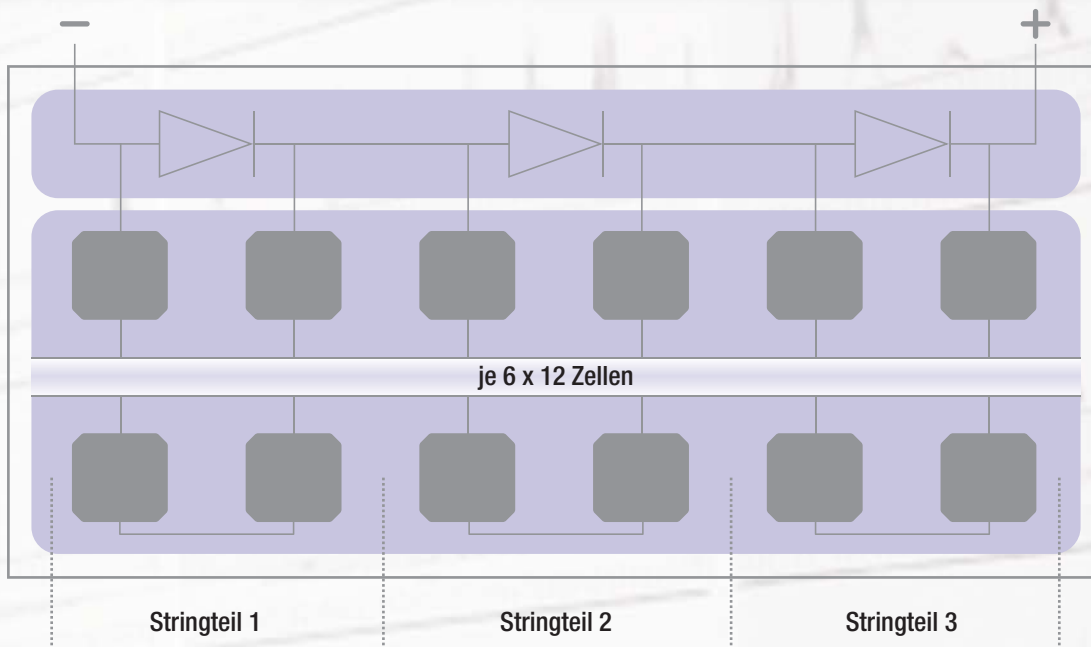


Abb. 2:  
Innere Zellenver-  
schaltung eines  
verwendeten  
PV-Moduls

Die Abbildung zeigt die innere Zellenverschaltung eines der verwendeten PV-Moduls.

Die Abbildungen 3 und 4 demonstrieren die reale Stringteilzuordnung pro verwendetem Modul. Dabei wurde bei den Verschattungsprozessen einmal die Modulreihe und einmal die Modulspalte verschattet. Deshalb wird von einer „reihenweisen“ und „spaltenweisen Abschattung“ gesprochen.



Abb. 3:  
Reale Stringteilzuordnung  
pro verwendetem Modul



Abb. 4:  
Definition der Begriffe  
„Reihe“ und „Spalte“

## Das verwendete Test-Equipment

Gerät:	Typ:	Hersteller/Lieferant:
Multimeter	Fluke 45	Fluke
Multimeter	Fluke 89 IV	Fluke
Wechselrichter	Sunny Boy SB 1100	SMA
PV-Module	AS M 180	ANTARIS SOLAR
Messrechner	GX 260	Dell
Software	MS Visual Basic 6.0	Microsoft
Software	MS Excel 2003	Microsoft

## Verschattet und teilverschattet



Abb. 5: Beispiel für spaltenweise Verschattung. Hierbei wurden die 6 rechten Spalten eines Moduls verschattet. Die restlichen 5 unverschatteten Module des Strangs befinden sich links vom teilverschatteten Modul (nicht auf dem Foto sichtbar).



Abb. 6: Beispiel für reihenweise Verschattung. Hier sind die 4 unteren Reihen des Moduls verschattet. Da sich unmittelbar vor der Aufnahme eine Wolke vor die Sonne schob, ist die Verschattung nicht so deutlich zu erkennen, wie in Abb.5.

## Der Anschluss von SolarMagic

### Entscheidung für ein Modul bei verschiedenen Verschattungs-Varianten

Die Firma National Semiconductor schlägt generell vor, alle Module eines Strangs mit einem SolarMagic zu versehen (siehe Abb. 7). Während der Versuche am TEC-Institut wurde lediglich 1 Modul verschattet (siehe Abb. 8). Es wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Spaltenweise Verschattung eines Moduls ohne SolarMagic
- Spaltenweise Verschattung eines Moduls mit SolarMagic
- Reihenweise Verschattung eines Moduls ohne SolarMagic
- Reihenweise Verschattung eines Moduls mit SolarMagic

In Abb. 10 ist die Auswirkung einer spaltenweisen Verschattung mit SolarMagic, in Form einer Tages-Leistungskurve dargestellt. Die blaue Kurve stellt den Leistungsverlauf des gesamten Strangs mit 6 Modulen dar. Der rot schraffierte Bereich zeigt den Leistungsverlust, nachdem wir an dem Modul mit dem SolarMagic

zunächst eine, dann zwei, drei und schließlich vier Spalten verschatteten.

Die bei der Abb. 10 dargestellte Messreihe fand am 09. Oktober 2009 bei relativ sonnigem Herbstwetter statt. Da die Sonne im Oktober schon tief steht, sind Erträge wie im Hochsommer natürlich nicht mehr zu erwarten (siehe Abb. 11). Der Weg der Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre ist deutlich länger als im Sommer und somit ist die ankommende Globalstrahlung geringer. Abb. 11 zeigt den Verlauf der Globalstrahlung des 09. Oktobers 2009, gemessen mit institutseigenem Pyranometer in unmittelbarer Nähe des Mess-Aufbaus.

Um aussagekräftige und belastbare Ergebnisse zu erhalten, wurde darauf geachtet, dass die Mess-Reihen (sowohl mit, als auch ohne SolarMagic) unter vergleichbaren Bedingungen und zeitnah durchgeführt wurden. Weiterhin wurden die Messreihen mehrfach wiederholt, so dass innerhalb der jeweiligen Verschattungsarten Mittelwerte gebildet werden konnten.



Abb. 7: Anschluss-Schema

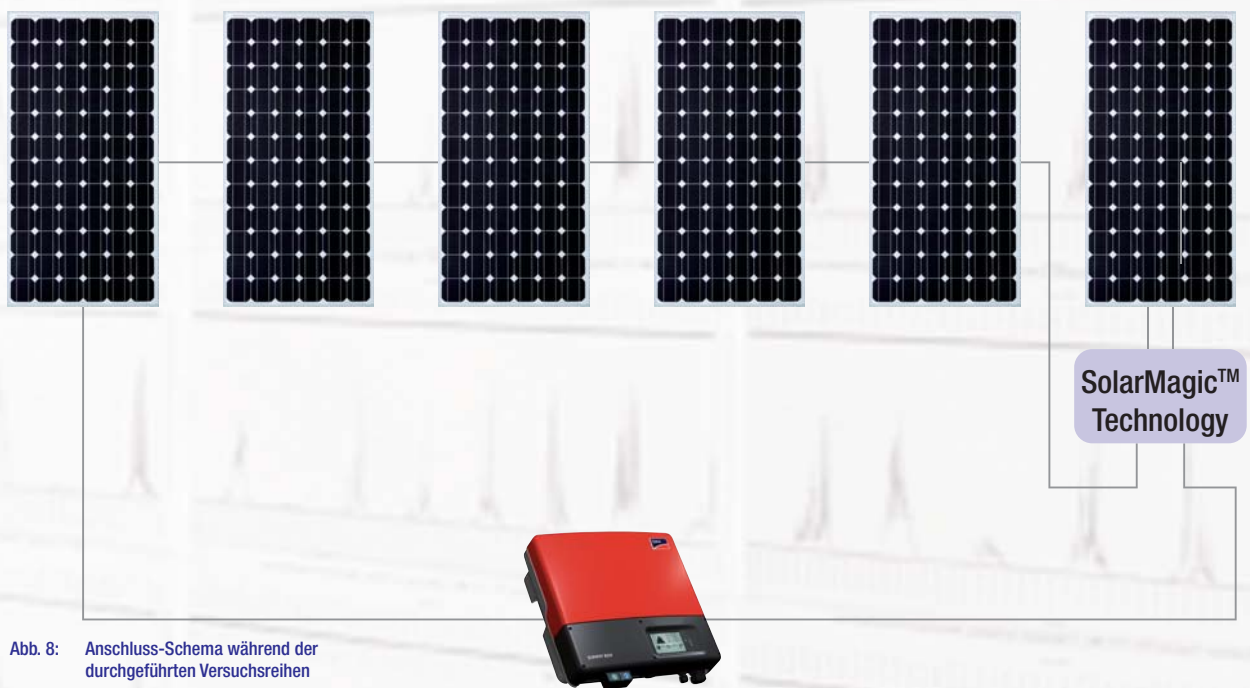


Abb. 8: Anschluss-Schema während der durchgeführten Versuchsreihen



Abb. 9: Montage des SolarMagic  
(Werkfoto, Quelle: National Semiconductor)

## Spaltenweise Verschattung eines einzigen Moduls (von 6), verschattetes Modul ist mit SolarMagic ausgerüstet, Datum: 09.10.2009

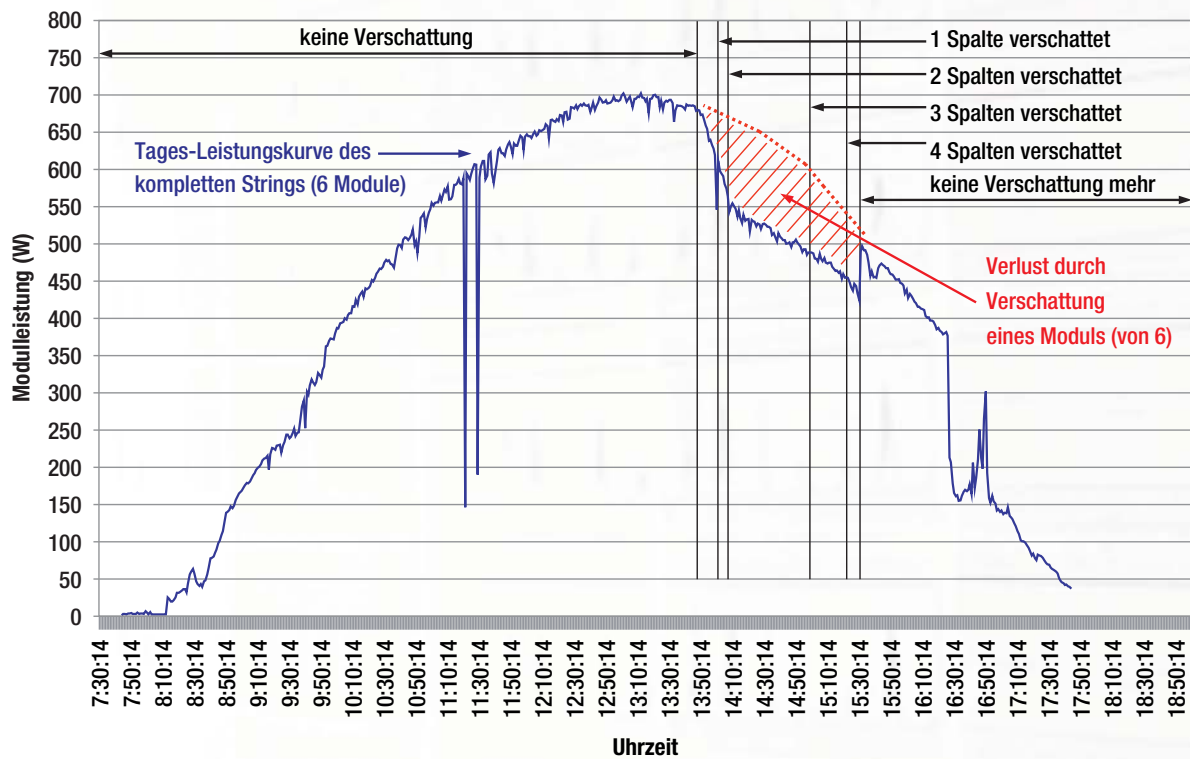


Abb. 10: Spaltenweise Verschattung eines Moduls mit SolarMagic

### Globalstrahlung, 09.10.09, gemessen mit Pyranometer

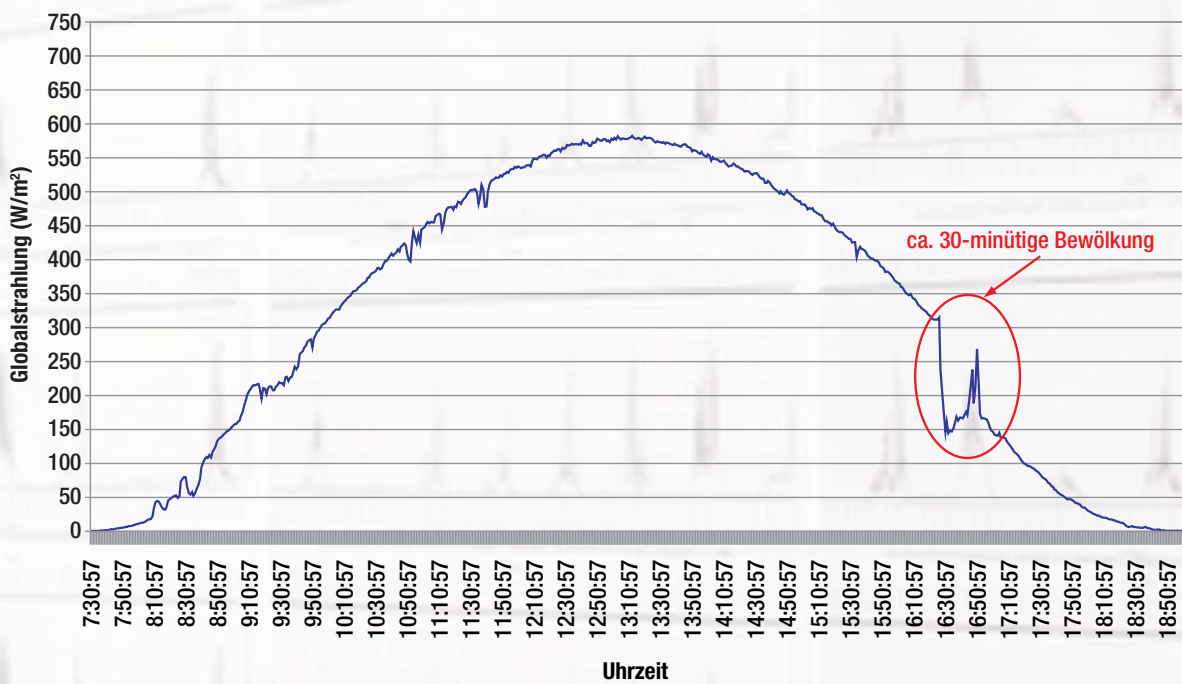


Abb. 11: Globalstrahlungskurve vom 09.10.2009

## Die Ergebnisse aller Verschattungs-Varianten

### Spaltenweise Verschattungen ohne und mit SolarMagic

Aus Abb. 12 werden die Resultate der spaltenweisen Verschattung ersichtlich.

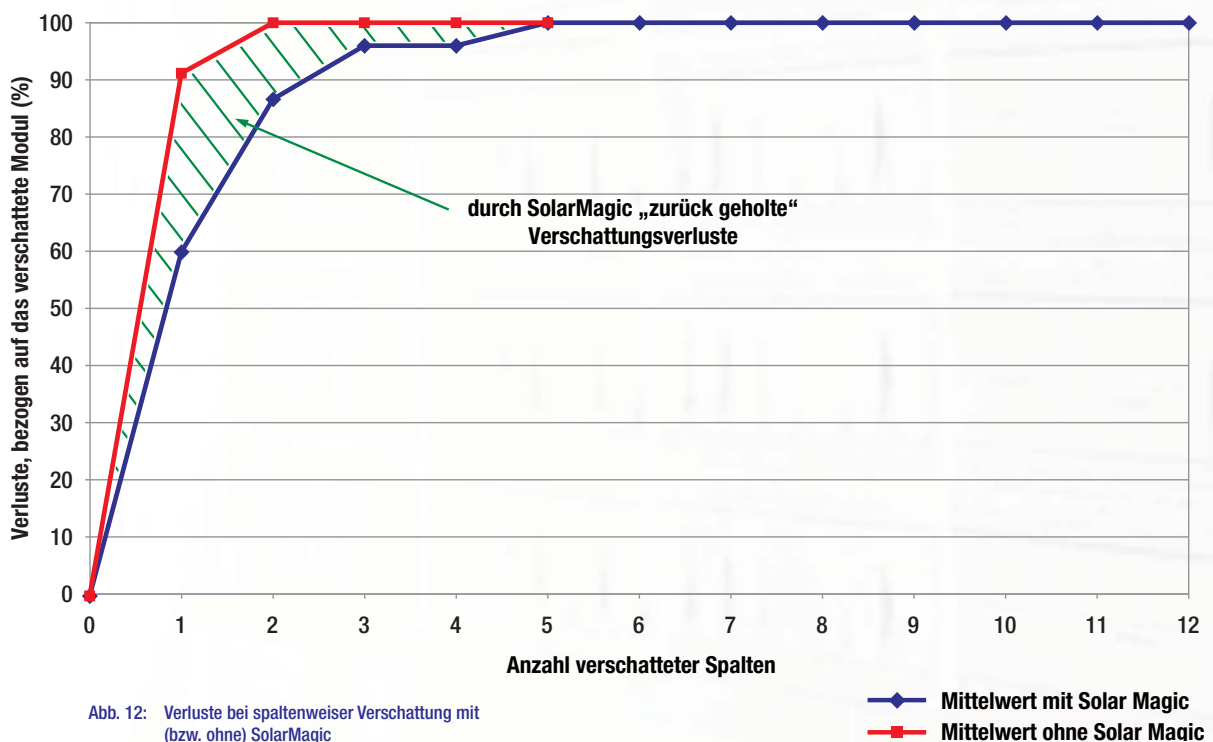
Man erkennt deutlich:

Grundsätzlich werden bei einer einzigen verschatteten Spalte an jedem der 3 Stringteile bereits 2 Zellen verschattet. Dies ist bedingt durch den Aufbau des Moduls (siehe auch Abb. 2 und Abb. 4). Aus diesem Grund gehen bei einer einzigen verschatteten Spalte, ohne SolarMagic, schon ca. 90 % der Modulleistung verloren. Bei mindestens 2 verschatteten Spalten beträgt der Leistungsverlust 100 %.

Bei Verwendung des SolarMagic liegt der Leistungsverlust bei Verschattung einer Spalte bei ca. 60 %. Also wesentlich geringer (ca. 30 %) als ohne SolarMagic.

Erst bei einer Verschattung von 2 Spalten mit SolarMagic bewegt sich der Leistungsverlust in einer Größenordnung von ca. 90 %. Bei Verschattung von sowohl 3 als auch 4 Spalten ist immerhin noch eine Restleistung von ca. 5 % gegeben. Ab mindestens 5 verschatteten Spalten liegt der Leistungsverlust des Moduls (Betrieb mit SolarMagic) bei 100 %.

**Verluste, bezogen auf das verschattete Modul (%)**  
**Reihenweise Abschattung eines Moduls (von 6 Modulen im String)**  
**Mittelwert ohne und mit Solar Magic**



### Reihenweise Verschattungen ohne und mit SolarMagic

Aus Abb. 13 ist zu erkennen, dass bei Verschattung sowohl der 1. als auch der 2. Reihe – beide Reihen bilden gemeinsam das erste Stringteil – Leistungsverluste von ca. 40 bis 50 % am Modul auf treten. Dabei fällt auf, dass bei dieser Art des Schattenfalls die Leistungsverluste bei Betrieb mit SolarMagic höher sind, als bei Betrieb ohne SolarMagic. Die Unterschiede sind zwar nicht groß, dennoch sind sie deutlich messbar und liegen bei ca. 15%.

Sind mehr als 2 Reihen (also mehr als 1 Stringteil) verschattet, so treten die Vorteile des SolarMagic klar hervor. Während bei

Betrieb ohne SolarMagic bereits ab 3 verschatteten Reihen ein 100 %iger Leistungsverlust auftritt, beträgt der Leistungsverlust bei Betrieb mit SolarMagic bei 3 oder 4 verschatteten Reihen (also bei 2 verschatteten String-Teilen) lediglich 70 %.

Sogar bei 5 verschatteten Reihen (wenn also nur noch ein halber Stringteil aktiv arbeitet) ist noch eine Restleistung von ca. 5 % messbar.

### Verluste, bezogen auf das verschattete Modul (%) Reihenweise Abschattung eines Moduls (von 6 Modulen im String) Mittelwert ohne und mit Solar Magic

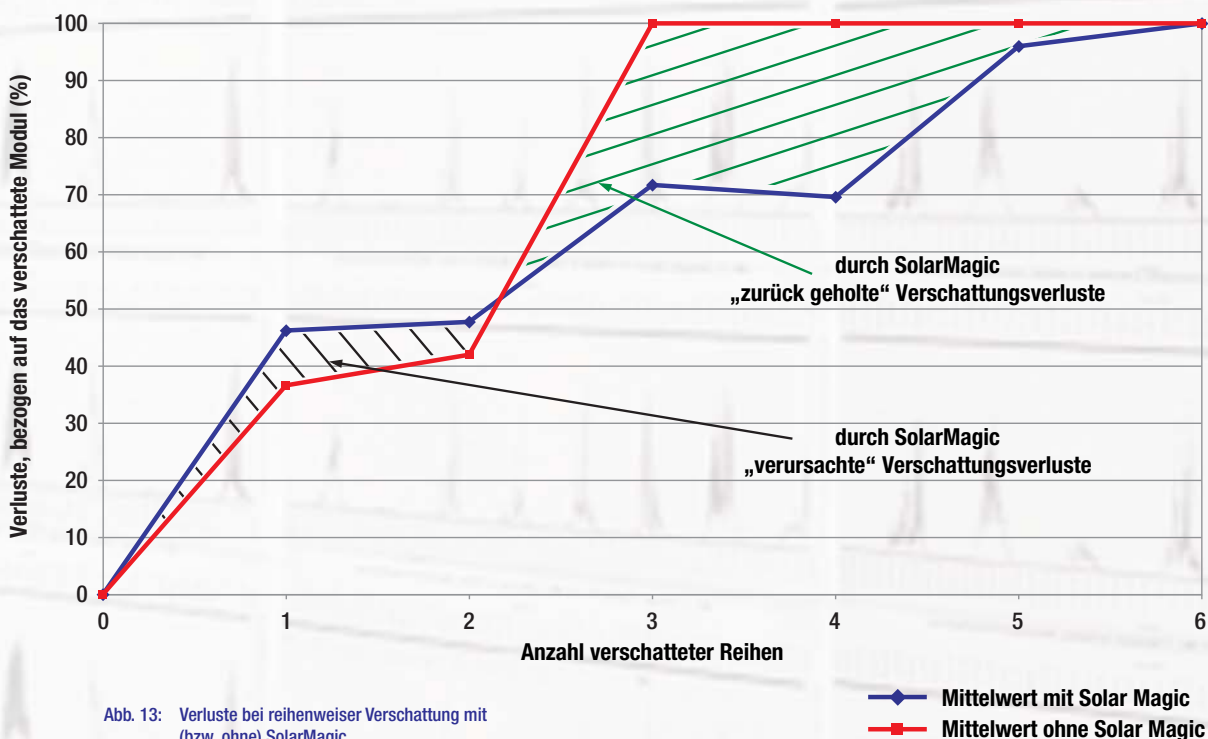


Abb. 13: Verluste bei reihenweiser Verschattung mit (bzw. ohne) SolarMagic

### Hält das Produktversprechen?

Anhand der Tests sollte herausgefunden werden, ob der SolarMagic:

- Generell Verschattungsverluste „zurück gewinnen“ kann und
- In welcher Größenordnung sich dieser Zurückgewinn bewegt.

Unsere Messungen haben ergeben, dass das Produkt SolarMagic des Herstellers National Semiconductor in verschiedenen Verschattungssituationen durchaus in der Lage ist Verschattungsverluste zu mindern.

Bei unseren Untersuchungen konnten in manchen Situationen ca. 30% vom verschatteten Modul zurück gewonnen werden. Wir haben jedoch nur zwei Verschattungsvarianten getestet, nämlich „spaltenweise“ und „reihenweise“ Verschattung. Tatsächlich gibt es jedoch unendlich viele Möglichkeiten, Module zu verschatten. Ein Schatten kann auch quer auf das Modul fallen, es können Schattenstreifen über das Modul wandern, und so weiter.

### Unser Fazit

Bei der Verminderung von Verschattungsverlusten sind sicher noch nicht alle Möglichkeiten ausgeschöpft. Entwicklungsbestrebungen verschiedener Unternehmen und Institutionen sind bekannt. Bleibt abzuwarten was zukünftige Ergebnisse bringen.

### Deshalb unser Tipp:

Empfehlenswert ist eine Kosten-/ Nutzen-Analyse, wenn bei teilverschatteten PV-Anlagen der Kauf von SolarMagic-Geräten erwogen wird.

Quellenangaben:

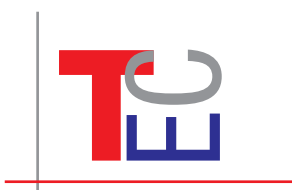
„Seltener Zauber“ In: PHOTON Profi. 8/2009, S.66-71





**Dipl.-Ing. (FH)  
Eberhard Zentgraf**

TEC-Institut  
für Technische Innovation GmbH & Co. KG  
Am Heerbach 5  
63857 Waldaschaff  
Tel.: +49 (0) 6095 999-666  
info@tec-institut.de



## **TEC-Institut für Technische Innovation GmbH & Co. KG**

Am Heerbach 5  
63857 Waldaschaff  
Tel.: +49 (0) 6095 999-666  
Fax: +49 (0) 6095 999-197  
Email: info@tec-institut.de  
Internet: www.tec-institut.de