

**Untersuchungen an verschatteten PV-Modulen
ohne und mit dem sogenannten Leistungsoptimierer
SolarMagic der Firma *National Semiconductor***

Autor:
Dipl. Ing. (FH) Eberhard Zentgraf
Elektroingenieur
im TEC-Institut für technische Innovationen

An Planung, Aufbau, Messungen und Auswertung beteiligtes wissenschaftliches
Team:
E. Zentgraf, A. Höfling, Mo. Göde, J. Meidhof, A. Zentgraf

Inhalt

1. Vorwort	3
2. Aufbau und Durchführung der Versuche	4
3. Messergebnisse	11
4. Auswertungen	12
5. Ausblick	13
6. Equipment	14

1. Vorwort

Im Rahmen verschiedener technischer Untersuchungen an Photovoltaik-Systemen (PV-Systemen), führte das TEC-Institut für technische Innovationen im Jahre 2009 auch Untersuchungen an verschatteten Modulen durch. Hintergrund war das neu auf den Markt gekommene Gerät SolarMagic der Firma *National Semiconductor* (siehe Abb. 0). Laut Herstellerangaben können angeblich bis zu 50 Prozent der Verschattungsverluste eines PV-Moduls mit Hilfe des SolarMagic vermieden werden. Während der Durchführung unserer Testreihen veröffentlichte die Fachzeitschrift *Photon Profi* die Ergebnisse einer Untersuchung zum selben Thema, unter dem Titel „Seltener Zauber“ (Ausgabe August 2009). Weder den Kollegen von *Photon* noch den Mitarbeitern des *TEC-Institutes* war bekannt, dass die jeweils andere Seite an diesem Thema arbeitete. Da Art und Methode der beiden Untersuchungen naturgemäß voneinander abwichen, können sich die Ergebnisse gegenseitig ergänzen.



Abb. 0: SolarMagic von Fa. *National Semiconductor*

2. Aufbau und Durchführung der Versuche:

Messverfahren:

Die Untersuchungen am *TEC-Institut* wurden mit handelsüblichen, monokristallinen Modulen der Marke „ANTARIS ASM 180“ im Netz-Einspeisebetrieb durchgeführt. Für den Versuchsaufbau wurden 6 Module (von je 180 Wp Nennleistung) zu einem String - also in Reihe - verschaltet und an den Wechselrichter „SMA Sunny Boy SB 1100“ angeschlossen. Siehe auch Abb. 1:

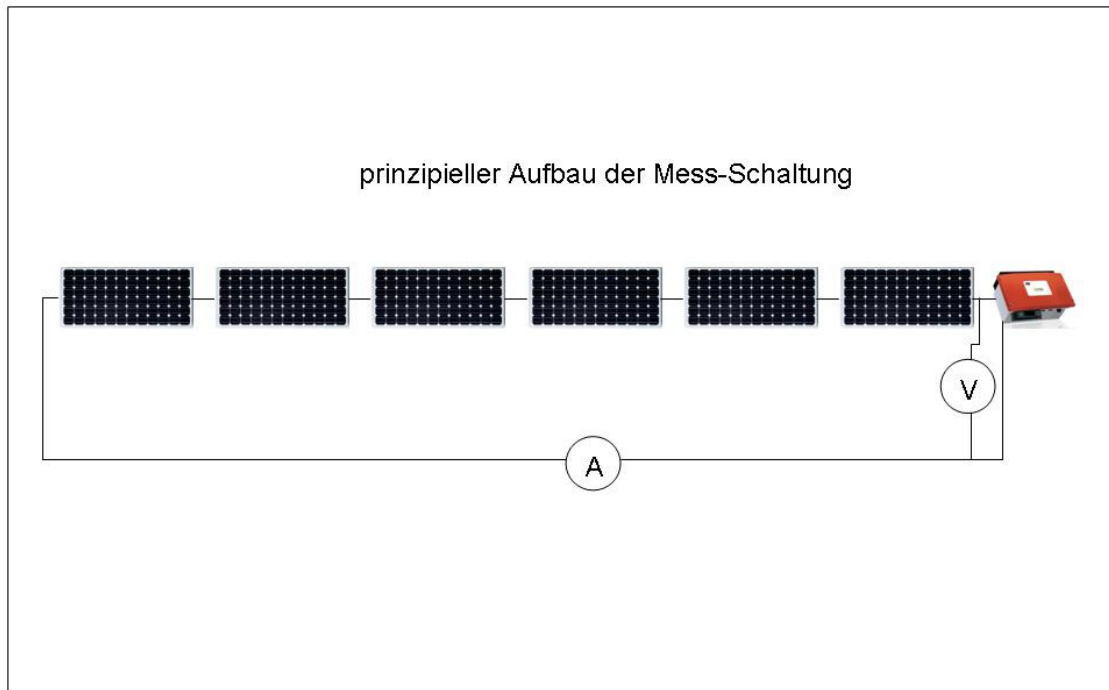


Abb. 1: prinzipieller Aufbau der Mess-Schaltung

Vorbetrachtungen:

Die Module des Messaufbaus wurden unter einem Neigungswinkel von ca. 30 Grad nach Süden ausgerichtet.

Wie in Abb. 1 dargestellt, wurden Gesamtstrom und Gesamtspannung auf der Gleichspannungsseite mit Digitalmultimetern erfasst. Die gemessenen Strom- und Spannungswerte wurden einem Messrechner zugeleitet und protokolliert. Daraus konnten anschließend die Gleichstromleistung und der Gleichstromertrag des Aufbaus errechnet werden. Der Messtakt betrug eine Minute.

Um die später dargestellten Messergebnisse korrekt interpretieren zu können, wird die innere Zellenverschaltung eines der verwendeten PV-Module in Abb. 2 exemplarisch skizziert.

- Jedes Modul besteht aus 72 in Reihe geschalteten monokristallinen Zellen, dem sog. String.
- Jeweils 24 Zellen werden mit einer Bypass-Diode geschützt.
- Jedes Modul besitzt daher 3 Bypass-Dioden.
- Aus Platzgründen wird jede 24-er Gruppe in zwei 12-er Gruppen angeordnet.
- Die 3 Bypass-Dioden teilen den String in drei Stringteile auf.

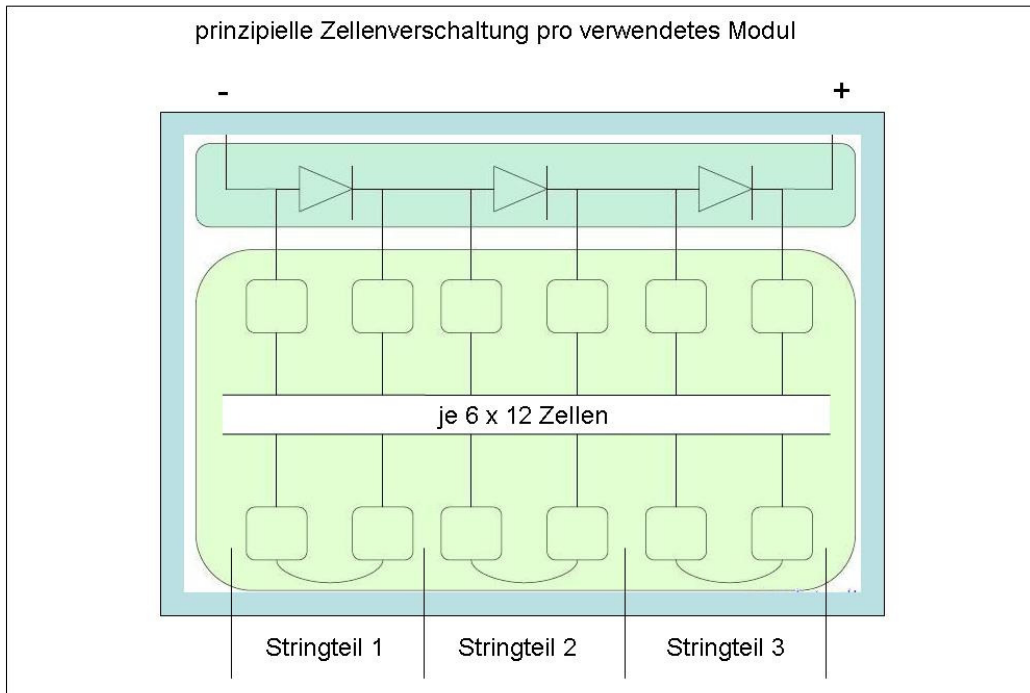


Abb.2: innere Zellenverschaltung eines verwendeten PV-Moduls

Die drei Bypass-Dioden erfüllen prinzipiell den Zweck, bei Verschattungen von Zellen eines Stringteils, dasselbe verschattete Stringteil 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 zu stark auf technische Details einzugehen, sei an dieser Stelle erwähnt, dass sich die Zellen eines teilverschatteten Strings ohne schützende Bypass-Dioden erhitzen. Dies rührt daher, dass die nicht verschatteten Stringteile dem teilverschatteten Stringteil ihren Strom gewissermaßen „aufzwingen“. Abb. 3 erläutert die Stringverteilung an einem der verwendeten Module:

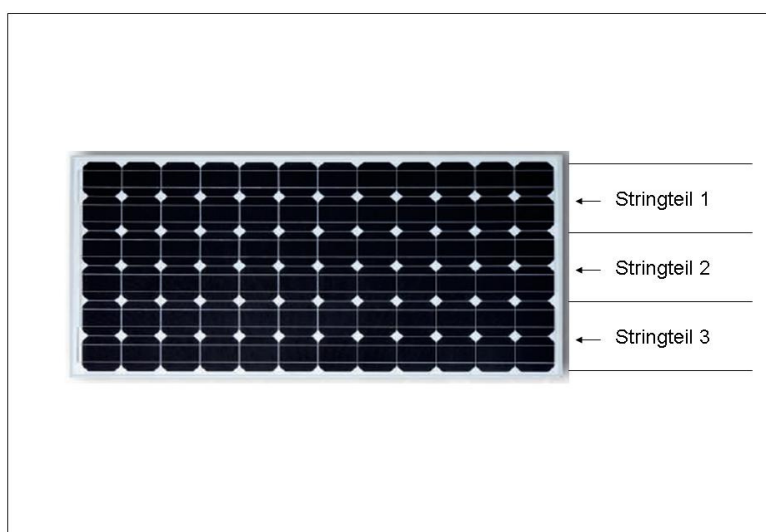


Abb. 3: reale Stringteilzuordnung pro verwendetes Modul

Im weiteren Verlauf dieses Berichtes wird von „*reihenweiser*“ und „*spaltenweiser Abschattung*“ gesprochen werden. Siehe Abb. 4.

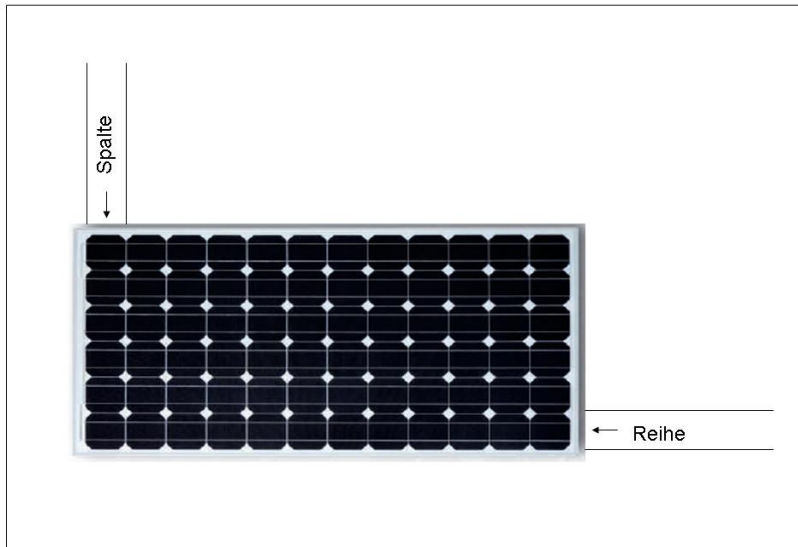


Abb. 4: Definition der Begriffe „Reihe“ und „Spalte“

Ein Beispiel für eine spaltenweise Verschattung ist auf Abb. 5 zu sehen. Hierbei werden die 6 rechten Spalten eines Moduls verschattet. Die restlichen 5 unverschatteten Module des Strangs (Reihenschaltung von Modulen), befinden sich links vom teilverschatteten Modul (nicht auf dem Foto sichtbar).



Abb. 5: Beispiel für spaltenweise Verschattung

Eine reihenweise Verschattung zeigt Abb. 6. 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 im Abb.5.



Abb. 6: Beispiel für reihenweise Verschattung

Anschluss des SolarMagic:

Die Firma *National Semiconductor* schlägt vor, alle Module eines Strangs mit einem SolarMagic zu versehen, siehe Abb. 7

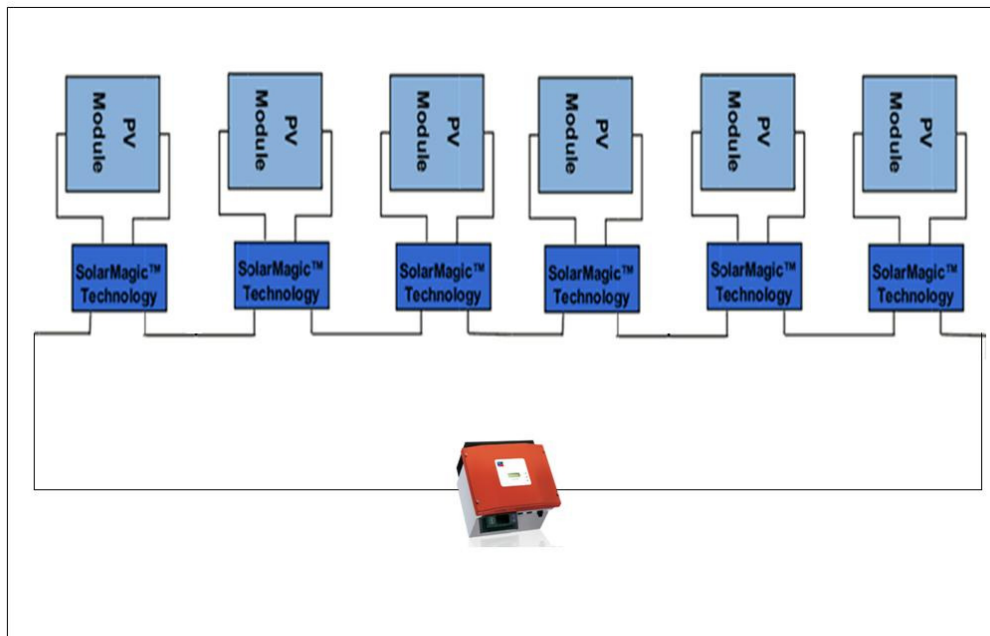


Abb. 7: Anschluss-Schema

Für unsere Untersuchungen wurde jedoch nur das Modul, das verschattet wurde, mit einem SolarMagic versehen. Siehe Abb. 8.

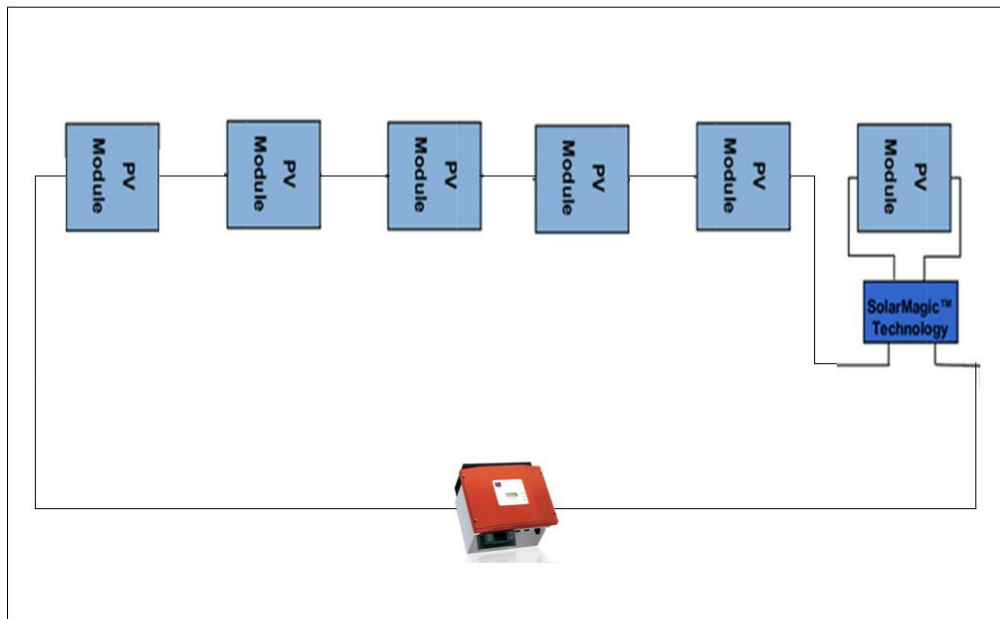


Abb. 8: Anschluss-Schema während der durchgeführten Versuchsreihen

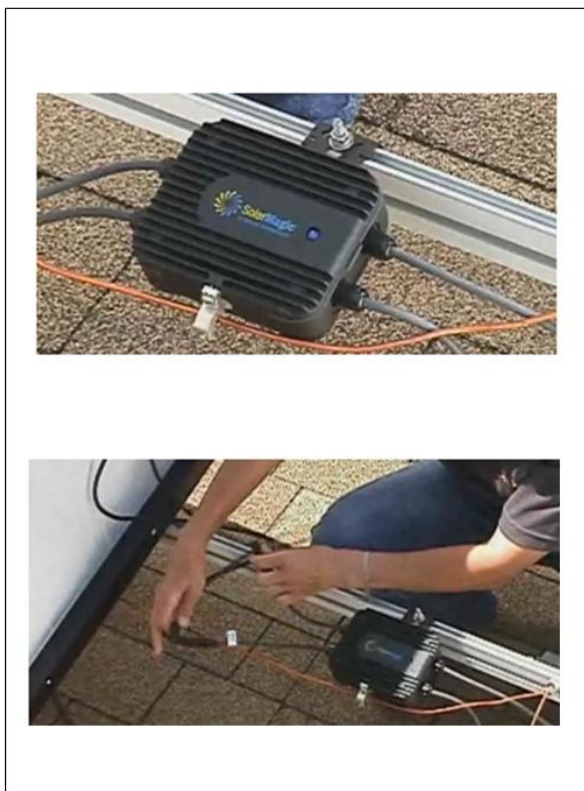


Abb. 9: Montage des SolarMagic (Werkfoto, Quelle: National Semiconductor)

Durchführung:

Wie bereits aus Abb. 8 zu ersehen, verschatteten wir während unserer Versuchsreihen lediglich 1 Modul.

Es wurde bei der Verschattung 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 (6 Module) dar. Der rot schraffierte Bereich zeigt den Leistungsverlust, der entstanden ist nachdem an dem Modul (an das der SolarMagic angeschlossen war) zunächst eine, dann zwei, drei und schließlich vier Spalten verschattet wurden.

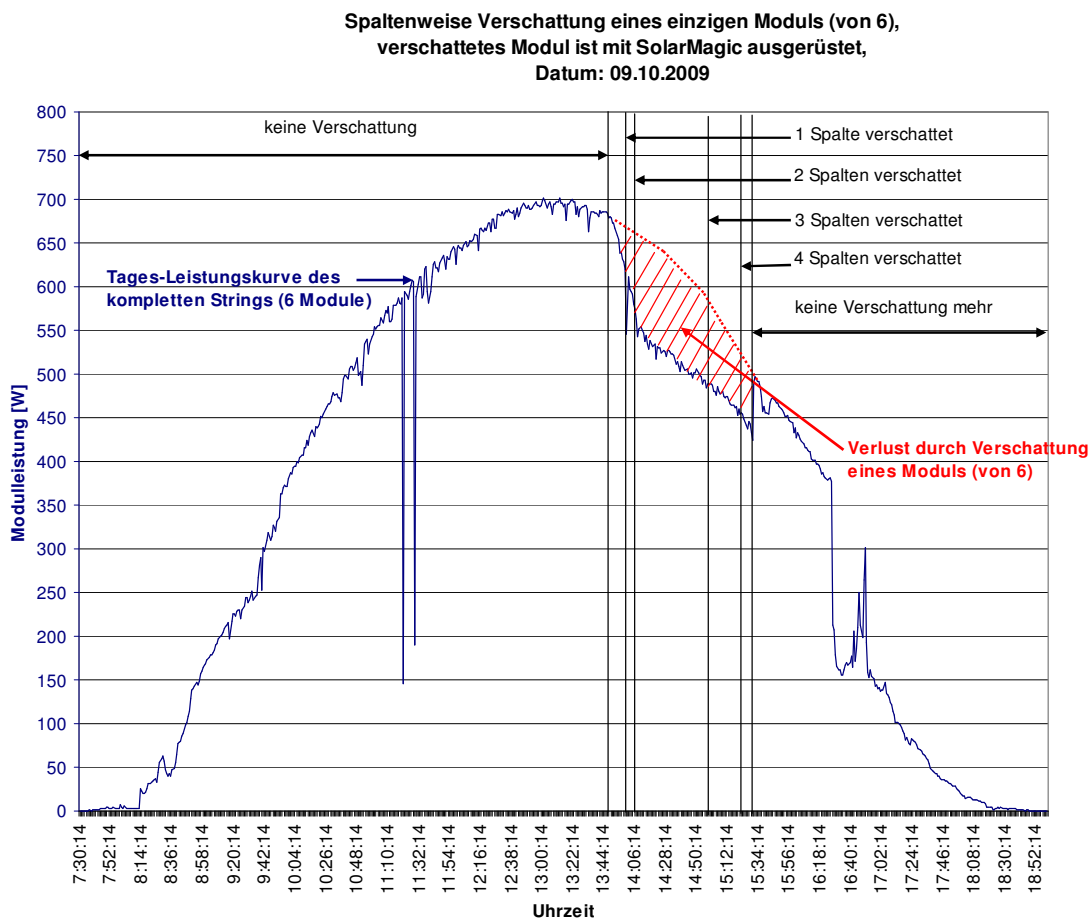


Abb. 10: spaltenweise Verschattung eines Moduls mit SolarMagic

Die unter 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 Werte 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 Messaufbaus.

Um aussagekräftige und belastbare Ergebnisse zu erhalten, wurde darauf geachtet, dass die Messreihen (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.

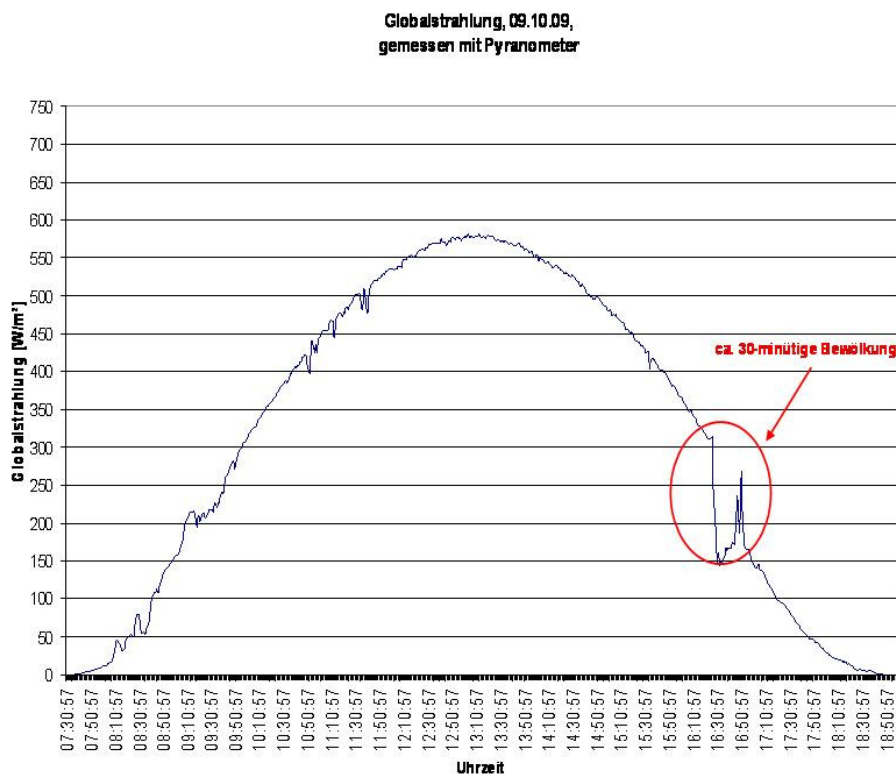


Abb. 11: Globalstrahlungskurve vom 09.10.2009

3. Messergebnisse:

Ergebnisse der Messreihen:

In den folgenden zwei Diagrammen Abb. 12 und Abb. 13 sind die Ergebnisse unserer Messreihen dargestellt. Beide Diagramme zeigen die Verluste des Moduls, welches mit (bzw. ohne) SolarMagic verschattet wurde.

Spaltenweise Verschattungen ohne und mit SolarMagic:

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

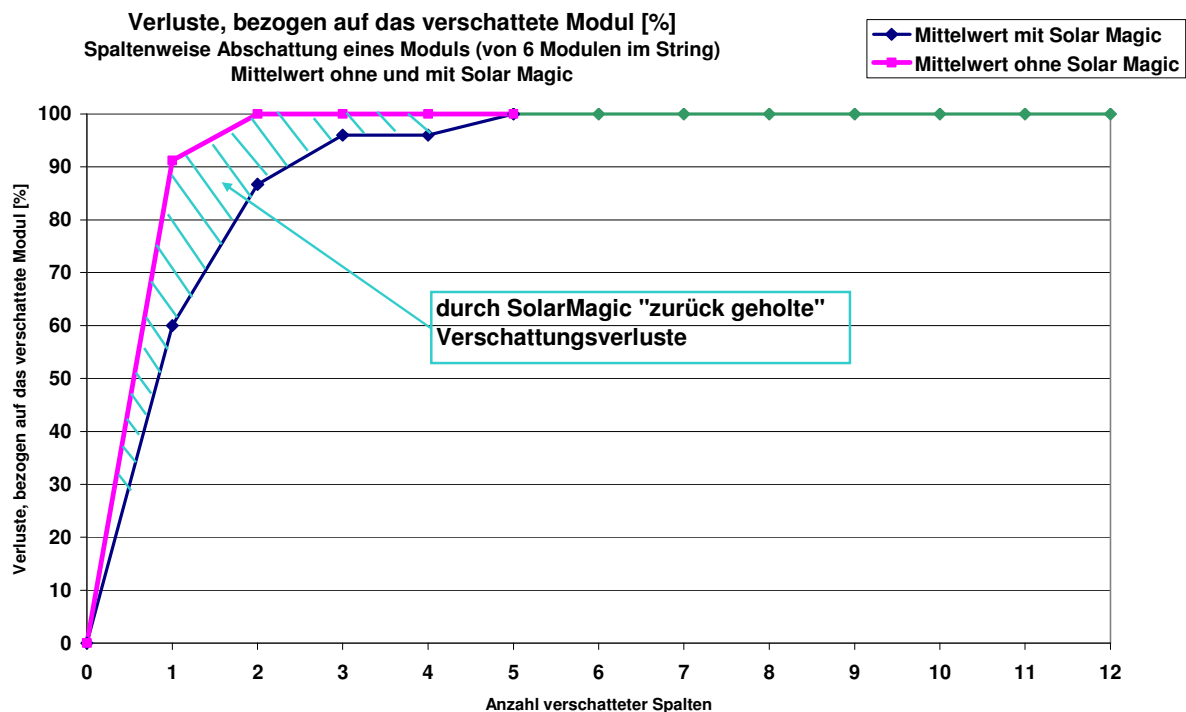


Abb. 12: Verluste bei spaltenweiser Verschattung

Reihenweise Verschattungen ohne und mit SolarMagic:

Abb. 13 stellt die Verluste der reihenweisen Verschattung dar:

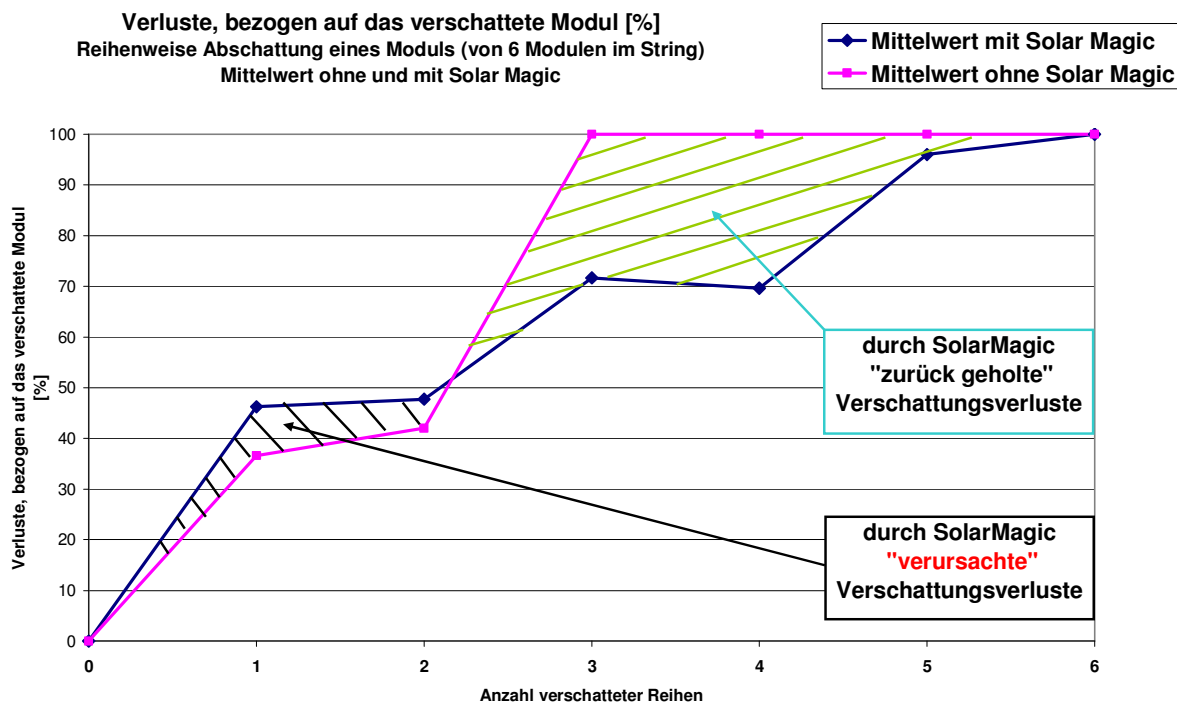


Abb. 13: Verluste bei reihenweiser Verschattung

4. Auswertungen:

Auswertung: Spaltenweise Verschattungen ohne und mit SolarMagic:

Aus Abb. 12 ist Folgendes zu erkennen:

- 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).
- Hier liegt auch der Grund weshalb bei einer einzigen verschatteten Spalte, ohne SolarMagic, schon ca. 90 % der Modulleistung verloren gehen. Bei mindestens 2 verschatteten Spalten beträgt der Leistungsverlust 100 %.
- Bei Verwendung des SolarMagic liegt der Leistungsverlust bei Verschattung einer Spalte bei ca. 60 %, ist 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 %.

Auswertung: Reihenweise Verschattungen ohne und mit SolarMagic:

Aus Abb. 12 ist zu erkennen:

- Bei Verschattung sowohl der 1. als auch der 2. Reihe - beide Reihen bilden gemeinsam das erste Stringteil - treten am Modul Leistungsverluste von ca. 40 bis 50 % auf. 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 Stringteilen) lediglich 70 %.
- Sogar bei 5 verschatteten Reihen (wenn also nur noch ein halber Stringteil aktiv arbeitet) ist noch eine Restleistung von ca. 5 % messbar.

Fazit:

- 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 vom verschatteten Modul ca. 30 % 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.
- Prinzipiell ging es darum zu testen, ob der SolarMagic
 - o generell Verschattungsverluste „zurück gewinnen“ kann und
 - o in welcher Größenordnung sich dieser Zurückgewinn bewegt
- Empfehlenswert ist eine Kosten-/ Nutzen-Analyse, wenn bei teilverschatteten PV-Anlagen der Kauf von SolarMagic-Geräten erwogen wird.

5. Ausblick:

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.

6. Equipment

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

Quellenangaben:

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

Waldaschaff, 11.02.2010

Eberhard Zentgraf
Dipl.-Ing. (FH) Elektrotechnik
TEC-Institut für technische Innovationen